

**UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**  
**DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**SÉRGIO LUCIANO GALATTO**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA**  
**DE USO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO**  
**ARARANGUÁ, SUL DE SANTA CATARINA**

**CRICIÚMA, SC**

**2023**

**SÉRGIO LUCIANO GALATTO**

**CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA  
DE USO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO  
ARARANGUÁ, SUL DE SANTA CATARINA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul  
Catarinense - UNESC, como requisito parcial para a  
obtenção do título de Doutor em Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

**CRICIÚMA, SC**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G146c Galatto, Sérgio Luciano.

Contribuição para o estabelecimento de critérios de outorga de uso de água superficial na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, Sul de Santa Catarina / Sérgio Luciano Galatto. - 2023.  
244 p. : il.

Tese (Doutorado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2023.

Orientação: Álvaro José Back.

1. Recursos hídricos - Santa Catarina, Região Sul. 2. Outorga. 3. Araranguá, Rio, Bacia (SC). 4. Água - Uso. 5. Vazão de referência. 6. Desenvolvimento de recursos hídricos - Santa Catarina, Região Sul. I. Título.

CDD 23. ed. 333.91098164

Bibliotecária Eliziane de Lucca Alosilla - CRB 14/1101  
Biblioteca Central Prof. Eurico Back - UNESC



UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE  
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação, Inovação e Extensão  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação Stricto Sensu  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais

---

## PARECER

Os membros da Comissão Examinadora homologada pelo Colegiado de Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais reuniram-se para realizar a arguição da Tese de Doutorado apresentada pelo candidato SÉRGIO LUCIANO GALATTO, sob o título: “CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTABELECIMENTO DE CRITÉRIOS DE OUTORGA DE USO DE ÁGUA SUPERFICIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARARANGUÁ, SUL DE SANTA CATARINA”, para obtenção do grau de DOUTOR EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Após haver analisado o referido trabalho e arguido o candidato, os membros são de parecer pela “APROVAÇÃO” da Tese.

Criciúma/SC, 28 de agosto de 2023.

Documento assinado digitalmente  
 WILLIAM DE OLIVEIRA SANT'ANA  
Data: 13/09/2023 13:53:03-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. William De Oliveira Sant'Ana**  
Primeiro Examinador

Documento assinado digitalmente  
 FERNANDO MAINARDI FAN  
Data: 13/09/2023 09:39:37-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Fernando Mainardi Fan**  
Segundo Examinador

Documento assinado digitalmente  
 MELISSA WATANABE  
Data: 13/09/2023 08:31:43-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dra. Melissa Watanabe**  
Terceiro Examinador

Documento assinado digitalmente  
 CARLYLE TORRES BEZERRA DE MENEZES  
Data: 12/09/2023 16:08:31-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes**  
Quarto Examinador

Documento assinado digitalmente  
 ALVARO JOSE BACK  
Data: 29/08/2023 21:36:05-0300  
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

**Prof. Dr. Alvaro José Back**  
Presidente e Orientador



Aos meus filhos Aurora e Álvaro e à minha esposa  
Susimary que sempre me incentivaram, mostrando-  
me que o sucesso se conquista com muito empenho.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, proteção e saúde para viver cada dia, iluminando meu caminho e possibilitando vencer mais um desafio com a realização deste trabalho.

Ao orientador Prof. Dr. Álvaro José Back, pela confiança, disponibilidade, sugestões e contribuições, o que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, por compartilhar sua experiência em pesquisa e pelo profissionalismo na orientação.

Ao Parque Científico e Tecnológico (Iparque) e à Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), pelo apoio recebido.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Unesc pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Ives Fiegenbaum pelo auxílio nos trabalhos de campo, aos colegas José Alfredo, Bruna Borsatto e Renato Pereira pelas sugestões e a Bruna Borges pelo auxílio nos trabalhos em geoprocessamento.

Aos demais colegas do Centro de Pesquisa e Estudos Ambientais (CPEA) do Iparque, pelo companheirismo e pela ajuda sempre benvinda.

À minha esposa Susimary e aos meus filhos Álvaro e Aurora, pela compreensão nos momentos em que o trabalho exigia maior dedicação.

A todas as pessoas que de alguma maneira colaboraram para a realização desta tese.

“Há água suficiente para satisfazer as crescentes necessidades do mundo, mas não sem mudar a forma de geri-la.”

Organização das Nações Unidas (ONU)

## RESUMO

Os conflitos de alocação de recursos hídricos entre usuários múltiplos têm se intensificado na bacia do rio Araranguá, sul de Santa Catarina, Brasil. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos de gestão e gerenciamento que permite ao órgão gestor o controle do uso da água. A análise do processo de outorga de uso de água necessita contemplar questões técnicas, legais e políticas como forma de gerir os conflitos pela disputa dos recursos hídricos. A determinação de vazões mínimas sazonais contribui para a melhor alocação da água a fim de minimizar os conflitos pelo uso. Assim, a adoção de técnicas de análise multicriterial tem sido adotada para melhor gerir os recursos hídricos. Dessa forma, o objetivo desta pesquisa é desenvolver uma proposta para avaliação da emissão de outorga de uso de água superficial na bacia do rio Araranguá com base em critérios técnico, econômico, legal, social e ambiental. Para tal, foram determinadas as vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ ) com base em períodos mensal, trimestral e anual, ajustando as diferentes distribuições de probabilidade e analisada a aderência dos dados pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. O método Promethee foi utilizado na análise multicriterial considerando cinco dimensões e oito critérios. Em termos de disponibilidade hídrica, os resultados apontam para o aumento efetivo nas vazões da  $Q_{90}$  na bacia em 5,45% (trimestral) e 44,12% (mensal). As vazões de permanência (trimestral e mensal) da  $Q_{90}$  das seis estações fluviométricas tiveram aumento de 6,6% e 22,5%, respectivamente, em relação a  $Q_{90}$  anual. Os usos não consuntivos identificados na bacia foram a aquicultura, lançamento de efluente, drenagem e desassoreamento de cursos de água. Verificou-se que, dos usos consuntivos, 76,51% se destinam ao consumo agrícola, sendo mais intensivos nas bacias do Itoupava, Manoel Alves e Mãe Luzia, em que a média anual da demanda hídrica superficial na bacia é de 13,19 m<sup>3</sup>/s. O estudo proporcionou flexibilização na disponibilidade hídrica na  $Q_{90}$  mensal e trimestral, o que pode corroborar no processo de outorga em períodos de maior demanda hídrica. O método multicriterial Promethee mostrou-se eficaz no auxílio à tomada de decisão para avaliação do grau de importância dos critérios testados com base nos pesos atribuídos pelos decisores. A ordenação das alternativas foi obtida pela análise multicriterial considerando os pesos dos critérios estabelecidos pelos decisores. Disponibilidade hídrica, qualidade da água e dependência hídrica foram os critérios mais prioritários. A proposta de avaliação do processo de outorga procurou inserir uma abordagem mais participativa de atores da bacia a partir do uso de critérios em diferentes dimensões.

**Palavras-chave:** Vazão mínima de referência. Sazonalidade. Critérios de outorga. Análise multicriterial.

## ABSTRACT

Water resource allocation conflicts between multiple users have intensified in the Araranguá river basin, south of Santa Catarina, Brazil. The granting of the right to use water resources is one of the management instruments that allows the managing body to control the use of water. The analysis of the process of granting the use of water needs to consider technical, legal and political issues as a way of managing conflicts over disputes over water resources. The determination of minimum seasonal flows contributes to a better allocation of water, minimizing conflicts over use. Thus, the adoption of multicriteria analysis techniques has been adopted to better manage water resources. The objective of this research was to develop a proposal for evaluating the issuance of authorization for the use of surface water in the Araranguá river basin based on technical, economic, legal, social and environmental criteria. To this end, the minimum reference ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  and  $Q_{90}$ ) were determined based on monthly, quarterly and annual periods, adjusting the different probability distributions and the adherence of the data was analyzed using the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling. The Promethee method was used in the multicriteria analysis considering five dimensions and eight criteria. In terms of water availability, the results point to an effective increase in the  $Q_{90}$  flows in the basin by 5.45% (quarterly) and 44.12% (monthly). The permanence flows (quarterly and monthly) of the  $Q_{90}$  of the six fluviometric stations, had an increase of 6.6% and 22.5%, respectively, in relation to the annual  $Q_{90}$ . The non-consumptive uses identified in the basin were aquaculture, effluent release, drainage and desilting of watercourses. It was found that of the consultative uses, 76.51% are intended for agricultural consumption, being more intensive in the Itoupava, Manoel Alves and Mãe Luzia basins. The annual average surface water demand in the basin is 13.19 m<sup>3</sup>/s. The study provided flexibility in water availability in the monthly and quarterly  $Q_{90}$ , which can corroborate the granting process in periods of greater water demand. The Promethee multicriteria method proved to be effective in helping decision-making to assess the degree of importance of the tested criteria based on the weights attributed by the decision makers. The ordering of the alternatives was obtained by multicriteria analysis considering the weights of the criteria established by the decision makers. Water availability, water quality and water dependence were the highest priority criteria. The proposal for evaluating the granting process sought to insert a more participatory approach by actors in the basin based on the use of criteria in different dimensions.

**Keywords:** Minimum reference flow. Seasonality. Grant criteria. Multicriteria analysis.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 1 - Estrutura típica de um SSD.....                                                                                                                                                                                               | 53  |
| Figura 2 - Estrutura sequencial para análise multicriterial. ....                                                                                                                                                                        | 56  |
| Figura 3 - Sequência das etapas para determinação da disponibilidade hídrica.....                                                                                                                                                        | 67  |
| Figura 4 - Localização espacial das seções hidrológicas de referência e dos rios que compõem os subsistemas dos rios Mãe Luzia e Araranguá na bacia do rio Araranguá.....                                                                | 70  |
| Figura 5 - Localização espacial das estações de amostragem e limites das SHR para avaliação da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Araranguá. ....                                                                          | 71  |
| Figura 6 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Araranguá destacando os rios principais e as estações fluviométricas. ....                                                                                                  | 76  |
| Figura 7 - Sequência das etapas para determinação da demanda hídrica. ....                                                                                                                                                               | 83  |
| Figura 8 - Estrutura do modelo de análise multivariada para testar as alternativas adaptado do método Promethee. ....                                                                                                                    | 92  |
| Figura 9 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Araranguá destacando os rios principais. ....                                                                                                                               | 101 |
| Figura 10 - Hierarquização da ordem do sistema de drenagem na bacia do rio Araranguá..                                                                                                                                                   | 103 |
| Figura 11 - Hipsometria da bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                                                                                                  | 107 |
| Figura 12 - Variação mensal da precipitação pluviométrica média (A) e da temperatura média em superfície (B) na bacia do rio Araranguá.....                                                                                              | 108 |
| Figura 13 - Classificação de uso e cobertura do solo na bacia do rio Araranguá.....                                                                                                                                                      | 110 |
| Figura 14 - Áreas mapeadas pela ação civil pública impactadas pela mineração de carvão..                                                                                                                                                 | 111 |
| Figura 15 - Box-Plot do pH, turbidez, CE, SST, SDT, ST, Cálcio, Magnésio, Potássio, Ferro total, Manganês e Alumínio, nas 49 estações de amostragem nas duas campanhas (menos chuvosa (inverno) e chuvosa (verão)). ....                 | 116 |
| Figura 16 - Box-Plot de sulfatos, acidez total, nitrogênio total, turbidez, DBO, fósforo, coliformes termotolerantes, OD, ORP e salinidade, nas 49 estações de amostragem durante as duas campanhas (inverno e verão).....               | 118 |
| Figura 17 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Mãe Luzia. ....    | 121 |
| Figura 18 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Manoel Alves. .... | 123 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 19 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as duas campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Itoupava. ....                                                                                                                              | 124 |
| Figura 20 - Índice de qualidade das águas nas estações de amostragem que integram as seções hidrológicas de referência seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens. ....                                                                                                                                                                              | 127 |
| Figura 21 - Classificação das estações de amostragem, conforme Resolução CONAMA n. 357/2005 seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.....                                                                                                                                                                                                          | 131 |
| Figura 22 - Classificação da rede de drenagem que integram as 25 SHR, conforme Resolução CONAMA n. 357/2005 seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.....                                                                                                                                                                                          | 132 |
| Figura 23 - Distribuição dos parâmetros analíticos em ambiente de comparação. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 133 |
| Figura 24 - Vazões médias mensais e anuais nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000), Turvo (84949000), Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000). ....                                                                                                                                                              | 137 |
| Figura 25 - Vazões médias mensais das seis estações fluviométricas.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 139 |
| Figura 26 - Vazões médias mensais dos subsistemas da bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 140 |
| Figura 27 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000) e Turvo (84949000).....                                                                             | 148 |
| Figura 28 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000).....                                                                           | 150 |
| Figura 29 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000), Turvo (84949000), Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000). .... | 151 |
| Figura 30 - Vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas. .                                                                                                                                                                                                                                                                     | 152 |
| Figura 31 - Vazão mínima ( $Q_{98}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas. ...                                                                                                                                                                                                                                                                     | 153 |
| Figura 32 - Vazão mínima ( $Q_{95}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas. ...                                                                                                                                                                                                                                                                     | 153 |
| Figura 33 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas. ...                                                                                                                                                                                                                                                                     | 154 |
| Figura 34 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) anual das seis estações fluviométricas. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 154 |
| Figura 35 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) mensais, trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                                       | 157 |
| Figura 36 - Vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.....                                                                                                                                                                                                                                                                             | 159 |

|                                                                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 37 - Vazão mínima ( $Q_{98}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.....                                                                     | 160 |
| Figura 38 - Vazão mínima ( $Q_{95}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.....                                                                     | 161 |
| Figura 39 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.....                                                                     | 162 |
| Figura 40 - Usos consuntivos e não consuntivos registrados na bacia do rio Araranguá por finalidade. ....                                                    | 168 |
| Figura 41 - Demanda total mensal por subsistema na bacia do rio Araranguá. ....                                                                              | 179 |
| Figura 42 - Demanda média anual ( $m^3/s$ ) por subsistema na bacia do rio Araranguá.....                                                                    | 179 |
| Figura 43 - Proporção da demanda de água superficial nos meses de junho e novembro por finalidade para cada subsistema. ....                                 | 180 |
| Figura 44 - Avaliação dos decisores quanto ao grau de importância das dimensões dos critérios. ....                                                          | 186 |
| Figura 45 - Peso médio dos decisores por dimensão dos critérios. ....                                                                                        | 187 |
| Figura 46 - Peso médio dos grupos por dimensão dos critérios. ....                                                                                           | 189 |
| Figura 47 - Fluxos positivo (A) e negativo (B) das alternativas por decisor.....                                                                             | 189 |
| Figura 48 - Fluxo líquido das alternativas (A) e ranking de preferência (B) das alternativas por decisor.....                                                | 190 |
| Figura 49 - Consistência dos resultados simulados no visual Promethee para critérios e alternativas.....                                                     | 191 |
| Figura 50 - Ranking global das alternativas (A) e influência dos critérios na análise do ranking global (B).....                                             | 192 |
| Figura 51 - Influência dos critérios da dimensão econômica no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão econômica (B).....  | 194 |
| Figura 52 - Influência dos critérios da dimensão técnica no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão técnica (B).....      | 195 |
| Figura 53 - Influência dos critérios da dimensão social no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão social (B).....        | 196 |
| Figura 54 - Influência dos critérios da dimensão ambiental no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão ambiental (B). .... | 197 |
| Figura 55 - Influência dos critérios da dimensão legal no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão legal (B). ....         | 198 |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira.....                                                                     | 40  |
| Tabela 2 - Classificação da bacia do rio Araranguá conforme os sistemas de codificação estabelecidos por órgãos da federação nacional. ....                                               | 65  |
| Tabela 3 - Fontes de consulta utilizada para elaboração da base cartográfica. ....                                                                                                        | 65  |
| Tabela 4 - Índices físicos das 25 seções hidrológicas de referência (sub-bacias) agrupadas a partir das 4ª e 5ª ordens da bacia do rio Araranguá. ....                                    | 68  |
| Tabela 5 - Métodos de análise e limites de detecção para os parâmetros físicos, químicos e biológicos avaliados nas amostras de água superficial.....                                     | 72  |
| Tabela 6 - Classificação do IQA. ....                                                                                                                                                     | 75  |
| Tabela 7 - Dados básicos das estações fluviométricas na bacia do rio Araranguá.....                                                                                                       | 77  |
| Tabela 8 - Trimestres, utilizados para segmentação das séries históricas de vazão.....                                                                                                    | 81  |
| Tabela 9 - Vazão “per capita” no meio rural, conforme os estados considerados. ....                                                                                                       | 89  |
| Tabela 10 - Consumo de referência diário de água por animal. ....                                                                                                                         | 89  |
| Tabela 11 - Coeficientes de retorno para algumas finalidades de uso.....                                                                                                                  | 90  |
| Tabela 12 - Dimensão, critérios e atributos considerados na análise multicriterial para testar as alternativas.....                                                                       | 93  |
| Tabela 13 - Detalhamento das funções de preferência definidas no método Promethee. ....                                                                                                   | 95  |
| Tabela 14 - Estrutura da matriz de avaliação das alternativas, critérios e parâmetros para a análise multicriterial. ....                                                                 | 98  |
| Tabela 15 - Índices físicos da bacia do rio Araranguá e dos subsistemas de rios principais. ....                                                                                          | 104 |
| Tabela 16 - Parâmetros morfométricos estimados relativos à forma da bacia, sistema de drenagem e relevo da bacia do rio Araranguá. ....                                                   | 105 |
| Tabela 17 - Classificação de uso e cobertura do solo nas áreas das estações fluviométricas e na bacia do rio Araranguá. ....                                                              | 109 |
| Tabela 18 - Índice de qualidade das águas das estações de amostragem que integram as seções hidrológicas de referência seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens. .... | 126 |
| Tabela 19 - Classificação dos pontos de amostragem na bacia do rio Araranguá seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens. ....                                           | 129 |
| Tabela 20 - Análise multivariada permutacional da variância (PERMANOVA) das comparações das variáveis físico-químicas entre as estações amostrais na bacia do rio Araranguá. ....         | 133 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 21 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para as vazões médias mensais nas estações fluviométricas.....                                                                                    | 135 |
| Tabela 22 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando o teste de aderência Anderson-Darling para as vazões médias mensais nas estações fluviométricas. ....                                                                                     | 136 |
| Tabela 23 - Vazões médias mensais nos subsistemas das bacias dos rios Manoel Alves, Mãe Luzia, Itoupava, Porcos/Baixo Araranguá e na bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                | 138 |
| Tabela 24 - Modelos de regressão das vazões médias e de longo termo associadas a cada subsistema das bacias dos rios Mãe Luzia, Manoel Alves, Itoupava e Porcos/Baixo Araranguá) e na bacia do rio Araranguá. ....                                               | 138 |
| Tabela 25 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a $Q_{7,10}$ de cada estação fluviométrica nos períodos anual e trimestral. ....                       | 143 |
| Tabela 26 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a $Q_{7,10}$ de cada estação fluviométrica no período de janeiro e junho. ....                         | 144 |
| Tabela 27 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a $Q_{7,10}$ de cada estação fluviométrica no período de julho a dezembro. ....                        | 145 |
| Tabela 28 - Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ) anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex). .... | 146 |
| Tabela 29 - Vazões de referência ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) estimadas neste estudo para os subsistemas e na bacia do rio Araranguá com base anual, trimestral e mensal.....                                                                 | 155 |
| Tabela 30 - Vazões de referência anual ( $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ , $Q_{90}$ ) estimadas neste estudo e no estudo Piava Sul (2011) para os subsistemas e a bacia do rio Araranguá. ....                                                                  | 156 |
| Tabela 31 - Comparação de valores de $Q_{7,10}$ (anual) de diferentes estudos desenvolvidos na bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                                                      | 163 |
| Tabela 32 - Comparação dos valores de $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ e $Q_{90}$ para cada trimestre com as $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ e $Q_{90}$ anual das seis estações fluviométricas. ....                                                            | 164 |
| Tabela 33 - Comparação dos valores de $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ e $Q_{90}$ para cada mês com as $Q_{7,10}$ , $Q_{98}$ , $Q_{95}$ e $Q_{90}$ anual das seis estações fluviométricas. ....                                                                  | 165 |
| Tabela 34 - Número de registro e consumo para a categoria aquicultura na bacia do rio Araranguá. ....                                                                                                                                                            | 167 |

|                                                                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 35 - Informações de uso da água por número de registro e consumo na bacia do rio Araranguá. ....                                                                            | 168 |
| Tabela 36 - Demandas municipais para consumo humano e retiradas de água superficial na bacia do rio Araranguá. ....                                                                | 171 |
| Tabela 37 - Demanda de água para criação animal nos municípios da bacia do rio Araranguá. ....                                                                                     | 174 |
| Tabela 38 - Demanda mensal, total e média anual para cada SHR e subsistema na bacia do rio Araranguá para finalidade de irrigação de arroz. ....                                   | 177 |
| Tabela 39 - Demanda média para manejo da cultura do arroz irrigado na bacia do rio Araranguá. ....                                                                                 | 178 |
| Tabela 40 - Demanda hídrica superficial mensal, total e média anual ( $m^3/s$ ) para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.....                                                | 178 |
| Tabela 41 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo ( $m^3/s$ ) considerando as vazões médias mensais estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá. ....  | 181 |
| Tabela 42 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo ( $m^3/s$ ) considerando 50% da $Q_{90}$ mensal estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.....     | 182 |
| Tabela 43 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo ( $m^3/s$ ) considerando 50% da $Q_{90}$ trimestral estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá..... | 182 |
| Tabela 44 - Estimativa de balanço hídrico superficial acumulado ( $m^3/s$ ) considerando 50% da $Q_{90}$ mensal estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.....       | 183 |
| Tabela 45 - Estimativa de balanço hídrico superficial acumulado ( $m^3/s$ ) considerando 50% da $Q_{90}$ trimestral estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.....   | 184 |
| Tabela 46 - Índice de retirada de água para os exultórios dos subsistemas da bacia do rio Araranguá. ....                                                                          | 185 |
| Tabela 47 - Pesos normalizados dos critérios, atribuídos pelo decisor 1, a título de exemplo. ....                                                                                 | 187 |
| Tabela 48 - Resultados dos pesos normalizados para os 15 decisores. ....                                                                                                           | 188 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|          |                                                                      |
|----------|----------------------------------------------------------------------|
| ABNT     | Associação Brasileira de Normas Técnicas                             |
| ANA      | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico                        |
| AD       | Anderson-Darling                                                     |
| ANEEL    | Agência Nacional de Energia Elétrica                                 |
| BH       | Bacia Hidrográfica                                                   |
| BHRA     | Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá                                  |
| BPM      | Business Process Management                                          |
| CBH      | Comitê de Bacia Hidrográfica                                         |
| CE       | Condutividade Elétrica                                               |
| CETESB   | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                           |
| CEURH/SC | Cadastro Estadual de Usuários de Recursos Hídricos de Santa Catarina |
| CERH     | Conselho Estadual de Recursos Hídricos                               |
| CNRH     | Conselho Nacional de Recursos Hídricos                               |
| CONAB    | Companhia Nacional de Abastecimento                                  |
| CONAMA   | Conselho Nacional de Meio Ambiente                                   |
| CPEA     | Centro de Pesquisa e Estudos Ambientais                              |
| CPRM     | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais                           |
| CWA      | Clean Water Act                                                      |
| DAM      | Drenagem Ácida de Mina                                               |
| DBO      | Demanda Bioquímica de Oxigênio                                       |
| DRHS     | Diretoria de Recursos Hídricos e Saneamento                          |
| EPA      | Agência Norte Americana de Meio Ambiente                             |
| EPAGRI   | Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina  |
| EUA      | Estados Unidos da América                                            |
| GM       | Gumbel Mínima                                                        |
| IBGE     | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                      |
| IDHM     | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal                           |
| IES      | Instituição de Ensino Superior                                       |
| IRA      | Índice de Retirada de Água                                           |
| IMASC    | Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina                         |
| IQA      | Índice de Qualidade da Água                                          |
| IPARQUE  | Parque Científico e Tecnológico                                      |

|           |                                                               |
|-----------|---------------------------------------------------------------|
| IPAT      | Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas              |
| IRA       | Índice de Retirada de Água                                    |
| KS        | Kolmogorov-Smirnov                                            |
| LM        | Método dos L-Momentos                                         |
| MAUT      | Multipli Attribute Utility Theory                             |
| MAUT      | Multiple Attribute Utility Theory                             |
| MDT       | Modelo Digital do Terreno                                     |
| MGB       | Modelo Hidrológico para Grandes Bacias                        |
| MM        | Métodos do Momentos                                           |
| MV        | Método da Máxima Verossimilhança                              |
| OD        | Oxigênio Dissolvido                                           |
| OMM       | Organização Meteorológica Mundial                             |
| ONSE      | Organização Nacional do Sistema Elétrico                      |
| ORP       | Potencial Redóx                                               |
| PERHSC    | Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina         |
| PIB       | Produto Interno Bruto                                         |
| PNRH      | Política Nacional de Recursos Hídricos                        |
| PRHBH     | Plano de Recurso Hídrico da Bacia Hidrográfica                |
| PROMETHEE | Preference Ranking Method for Enrichment Evaluation           |
| QMLT      | Vazão Média de Longo Termo                                    |
| SAD       | Sistema de Apoio a Decisão                                    |
| SAFE      | Drinking Water Act                                            |
| SDE       | Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável |
| SDT       | Sólidos Dissolvidos Totais                                    |
| SDPLAN    | Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento                |
| SGB       | Serviço Geológico Brasileiro                                  |
| SHR       | Seção Hidrológica de Referência                               |
| SIG       | Sistema de Informação Geográfica                              |
| SIOUT-SC  | Sistema de Outorga de Água de Santa Catarina                  |
| SNIS      | Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento              |
| SNRH      | Sistema Nacional de Recursos Hídricos                         |
| SRH       | Secretaria de Recursos Hídricos                               |
| SSD       | Sistema de Suporte a Decisão                                  |
| SST       | Sólidos Suspensos Totais                                      |

|       |                                               |
|-------|-----------------------------------------------|
| ST    | Sólidos Totais                                |
| TNC   | The Nature Conservancy                        |
| UF    | Unidade da Federação                          |
| UNESC | Universidade do Extremo Sul Catarinense       |
| USEPA | United States Environmental Protection Agency |
| WEI   | Water Exploitation Index                      |
| WRPA  | Water Rights Analysis Package                 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                                 | <b>23</b> |
| CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DA PESQUISA .....                                                                   | 23        |
| JUSTIFICATIVA .....                                                                                                     | 26        |
| HIPÓTESE .....                                                                                                          | 29        |
| OBJETIVOS .....                                                                                                         | 30        |
| <b>Geral .....</b>                                                                                                      | <b>30</b> |
| <b>Específicos .....</b>                                                                                                | <b>30</b> |
| <b>1 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                                      | <b>31</b> |
| 1.1 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS .....                                                                                  | 31        |
| <b>1.1.1 Conflitos pelo uso da água .....</b>                                                                           | <b>31</b> |
| <b>1.1.2 Modelos de gestão da água no âmbito internacional.....</b>                                                     | <b>35</b> |
| <b>1.1.3 Critérios de outorga do uso da água .....</b>                                                                  | <b>38</b> |
| 1.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E OUTORGA.....                                                                              | 45        |
| <b>1.2.1 A variável hidrológica vazão .....</b>                                                                         | <b>45</b> |
| <b>1.2.2 Vazão de outorga qualitativa.....</b>                                                                          | <b>48</b> |
| 1.3 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS .....                                                             | 51        |
| <b>1.3.1 Análise multicriterial no gerenciamento dos recursos hídricos .....</b>                                        | <b>54</b> |
| <b>1.3.2 Experiências no uso de SSD em outorga de uso de água .....</b>                                                 | <b>56</b> |
| 1.3.2.1 Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos e Sistema de Suporte a Decisão do Estado de Santa Catarina ..... | 59        |
| <b>1.3.3 Método PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation .....</b>                  | <b>61</b> |
| 1.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....                                                                                           | 63        |
| <b>2 METODOLOGIA.....</b>                                                                                               | <b>65</b> |
| 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA REGIÃO DE ESTUDO .....                                                                     | 65        |
| 2.2 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....                                                                          | 66        |
| <b>2.2.1 Caracterização da qualidade das águas superficiais .....</b>                                                   | <b>68</b> |
| 2.2.1.1 Hierarquização fluvial .....                                                                                    | 68        |
| 2.2.1.2 Estações e períodos de amostragem .....                                                                         | 71        |
| 2.2.1.3 Coleta das amostras e medição de vazão .....                                                                    | 72        |
| 2.2.1.4 Metodologia de análise das variáveis físicas, químicas e biológicas .....                                       | 72        |
| 2.2.1.5 Índice de qualidade de água .....                                                                               | 74        |

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.1.6 Análise e tratamento dos dados .....                                                    | 75         |
| <b>2.2.2 Disponibilidade e análise de dados hidrológicos.....</b>                               | <b>75</b>  |
| <b>2.2.3 Estimativa das vazões mínimas de referência nas estações fluviométricas.....</b>       | <b>78</b>  |
| 2.2.3.1 Cálculo da vazão média ( $Q_{med}$ ).....                                               | 78         |
| 2.2.3.2 Cálculo da $Q_{7,10}$ .....                                                             | 79         |
| 2.2.3.3 Curva de permanência e cálculo da $Q_{90}$ , $Q_{95}$ e $Q_{98}$ .....                  | 80         |
| <b>2.2.4 Estimativa das vazões mínimas e médias nas seções hidrológicas de referência .....</b> | <b>81</b>  |
| <b>2.2.5 Comparação entre as vazões mínimas de base mensal, trimestral e anual .....</b>        | <b>81</b>  |
| <b>2.3 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA.....</b>                                                   | <b>82</b>  |
| <b>2.3.1 Vazões de retirada e consumida por segmentos de usuários .....</b>                     | <b>84</b>  |
| 2.3.1.1 Estimativa para agricultura de irrigação .....                                          | 84         |
| 2.3.1.2 Estimativa de abastecimento urbano e rural .....                                        | 85         |
| 2.3.1.3 Estimativa de abastecimento animal.....                                                 | 89         |
| 2.3.1.4 Abastecimento industrial, mineração e saneamento.....                                   | 90         |
| <b>2.3.2 Estimativa de balanço hídrico .....</b>                                                | <b>90</b>  |
| <b>2.4 ANÁLISE MULTICRITERIAL À DECISÃO EM OUTORGA DE USO DE ÁGUA.....</b>                      | <b>91</b>  |
| <b>2.4.1 Definição de alternativas avaliadas.....</b>                                           | <b>92</b>  |
| <b>2.4.2 Identificação de dimensões, critérios e atributos.....</b>                             | <b>93</b>  |
| <b>2.4.3 Definição das funções de preferência.....</b>                                          | <b>94</b>  |
| <b>2.4.4 Escolha dos especialistas .....</b>                                                    | <b>96</b>  |
| <b>2.4.5 Estruturação da matriz de análise .....</b>                                            | <b>97</b>  |
| <b>3 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO .....</b>                                                    | <b>101</b> |
| <b>3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....</b>                                                        | <b>102</b> |
| <b>3.1.1 Hidrografia.....</b>                                                                   | <b>102</b> |
| <b>3.1.2 Análise morfométrica .....</b>                                                         | <b>103</b> |
| <b>3.1.3 Regime climático.....</b>                                                              | <b>107</b> |
| <b>3.1.4 Uso e ocupação do solo .....</b>                                                       | <b>109</b> |
| <b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS .....</b>                                                 | <b>113</b> |
| <b>4.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....</b>                                                         | <b>113</b> |
| <b>4.1.1 Disponibilidade hídrica qualitativa.....</b>                                           | <b>113</b> |
| <b>4.1.2 Disponibilidade hídrica quantitativa .....</b>                                         | <b>134</b> |
| 4.1.2.1 Vazões médias ( $Q_{med}$ ).....                                                        | 134        |
| 4.1.2.2 Vazões mínimas de referência .....                                                      | 141        |
| <b>4.1.3 Comparação entre as vazões de referência .....</b>                                     | <b>163</b> |



|                                                                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2 DEMANDA HÍDRICA .....                                                                                                                                                               | 165 |
| 4.2.1 Avaliação dos usos não consuntivos .....                                                                                                                                          | 166 |
| 4.2.2 Avaliação dos usos consuntivos .....                                                                                                                                              | 167 |
| 4.2.2.1 Usos regularizados.....                                                                                                                                                         | 167 |
| 4.2.2.2 Usos estimados .....                                                                                                                                                            | 169 |
| 4.2.2.2.1 Demanda para consumo humano .....                                                                                                                                             | 170 |
| 4.2.2.2.2 Demanda para criação animal.....                                                                                                                                              | 173 |
| 4.2.2.2.3 Demanda para agricultura de irrigação.....                                                                                                                                    | 176 |
| 4.2.2.3 Resumo da demanda hídrica superficial dos usos consuntivos e não consuntivos ....                                                                                               | 178 |
| 4.3 ESTIMATIVA DE BALANÇO HÍDRICO ENTRE AS DISPONIBILIDADES E AS DEMANDAS HÍDRICAS DE ÁGUA SUPERFICIAL AVALIADAS .....                                                                  | 181 |
| 4.3.1 Balanço hídrico superficial instantâneo .....                                                                                                                                     | 181 |
| 4.3.2 Balanço hídrico superficial acumulado .....                                                                                                                                       | 183 |
| 4.3.3 Indicador de escassez .....                                                                                                                                                       | 184 |
| 4.4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL PELO MÉTODO PROMETHEE .....                                                                                                       | 185 |
| 4.4.1 Resultados da análise dos decisores e por grupo .....                                                                                                                             | 185 |
| 4.4.2 Análise por decisor e grupo .....                                                                                                                                                 | 189 |
| 4.3.3 Análise do ranking global .....                                                                                                                                                   | 190 |
| 4.3.2 Análise global por dimensão .....                                                                                                                                                 | 193 |
| CONCLUSÃO.....                                                                                                                                                                          | 200 |
| Recomendações da pesquisa .....                                                                                                                                                         | 203 |
| REFERÊNCIAS .....                                                                                                                                                                       | 204 |
| APÊNDICE(S) .....                                                                                                                                                                       | 221 |
| APÊNDICE A - FORMULÁRIO DE PESQUISA .....                                                                                                                                               | 222 |
| APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS NAS ESTAÇÕES DE AMOSTRAGEM, CLASSIFICADOS CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA N° 357/2005.....                           | 227 |
| APÊNDICE C - PARÂMETROS DOS TESTES ESTATÍSTICOS DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E ANDERSON-DARLING OBTIDOS DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAS NAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS.....                              | 230 |
| APÊNDICE D - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR ADOTADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE REFERÊNCIA NOS SUBSISTEMAS DOS RIOS MÃE LUZIA, ITROUPAVA, MANOEL ALVES E PORCOS/BAIXO ARARANGUÁ..... | 237 |

|                                                                                                                                                          |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>APÊNDICE E - EQUAÇÕES DE REGRESSÃO LINEAR ADOTADAS PARA DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA NAS SEÇÕES HIDROLÓGICAS DE REFERÊNCIA .....</b> | <b>241</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|

## INTRODUÇÃO

A utilização criteriosa da água e a sua distribuição de forma justa e adequada, tanto em quantidade como em qualidade, é um grande desafio aos órgãos gestores de recursos hídricos. A crescente demanda de água para atender aos múltiplos usos tem contribuído para o aumento de seu consumo e, conseqüentemente, dos conflitos entre usuários de diversas bacias hidrográficas do Brasil. (MARQUES, 2006; ANA, 2018). Todavia, gerir os recursos hídricos é uma necessidade premente, onde se procura ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais pela água a níveis sustentáveis, permitindo, sem conflitos, a convivência dos usos atuais e futuros da água.

Cada nação, de acordo com suas características, deve providenciar o uso sustentável dos recursos hídricos, assim como adaptá-lo ao processo de desenvolvimento, evitando, dessa forma, a maximização das variáveis que condicionam o risco da escassez. (SILVA; HERREROS; BORGES, 2017). A trajetória da sustentabilidade é complexa (PINSKY et al., 2013; BENITES; POLO, 2013) e deve considerar, em seu local de promoção, elementos estratégicos de gerenciamento deste recurso.

## CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E PROBLEMA DA PESQUISA

No Brasil, de acordo com ANA (2019a), a demanda por uso de água é crescente, com aumento estimado de cerca de 80% no total retirado de água nas últimas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 24%. As regiões mais críticas são o Sudeste, destacando-se o uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, seguida da região Sul, em que é expressiva a retirada de água para irrigação de lavouras de arroz pelo método de inundação.

Nos trabalhos de Lopes; Freitas (2007) e Curtarelli et al. (2018), a alocação eficiente de água tem se tornado cada vez mais um desafio para a gestão integrada de recursos hídricos. No processo de alocação de água devem ser mediados diversos conflitos entre múltiplos usuários, considerando incertezas sobre a disponibilidade e demanda hídrica, diversidade e distância espacial dos múltiplos usuários numa mesma bacia.

As preocupações da sociedade com problemas ligados ao uso e manejo das águas levaram a debates e inovações nas últimas décadas. Expressões como gestão de águas, gerenciamento de recursos hídricos e uso racional passaram a fazer parte do cotidiano das pessoas. (CAMPOS; STUDART, 2003). Apesar das diferenças de entendimento, há algo novo

nascendo na sociedade, que é a aceitação de que devemos mudar o modo de tratar os recursos hídricos, conservando-os para o uso atual e das futuras gerações.

A gestão dos recursos hídricos diz respeito ao planejamento, desenvolvimento, captação e distribuição. (ANA, 2002; ANA, 2019b). Pereira (2015) enfatiza em seu trabalho que o gerenciamento dos recursos hídricos e, conseqüentemente, a execução de projetos de usos de água em uma bacia hidrográfica, dependem do conhecimento da quantidade e da qualidade da água disponível. Portanto, o gerenciamento de recursos hídricos disciplina o uso eficiente e sustentável da água (instrumento de outorga), a qualidade da água dentro dos padrões adequados (instrumento de enquadramento) e o aumento da resiliência aos eventos extremos, com vistas à segurança hídrica. (CURTARELLI et al., 2018).

Nesse contexto, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) instituída em 08 de janeiro de 1997, através da Lei n. 9.433, visa proporcionar meios para que a água seja usada de forma racional e justa para o conjunto da sociedade. (BRASIL, 1997). Gestores, usuários e pesquisadores têm desenvolvido estudos como forma de contribuir na gestão integrada dos recursos hídricos, motivados pela crescente demanda de água, em cenários de escassez relativa cada vez mais evidente. (MACHADO; GALVÃO; SOUZA FILHO, 2012).

Em um sistema de gerenciamento de recursos hídricos, considerando a estrutura legal e institucional estabelecida pela Lei n. 9.433/97, deve-se considerar duas prerrogativas importantes: a disponibilidade (oferta) e a demanda (consumo) hídrica. A oferta hídrica varia no tempo e no espaço e é estimada a partir da avaliação do regime hidrológico da bacia, sendo essa atividade de responsabilidade do Estado, proprietário das águas. O Estado, por sua vez, deve estabelecer ações para garantir maior disponibilidade hídrica, tanto quantitativa como qualitativa. A demanda hídrica, atual e futura (MOURA; RIGHETO; LIMA, 2011), pode ser estimada ou por meio de cadastro de usuários, sendo este processo dinâmico e contínuo com o tempo.

A vazão outorgável deve ser estabelecida pelos planos de bacias. Essa vazão outorgável (vazão de referência) é o estabelecimento de um valor de vazão que passa a representar o limite superior de utilização de água em um curso de água e é, também, um dos principais problemas à implementação de um sistema de outorga. No Estado de Santa Catarina, para bacias hidrográficas que não possuem plano de recurso hídrico, é adotado a  $Q_{98}$  como vazão de referência, com percentual máximo outorgável de 50%. (SDS, 2008a; 2008b). Entende-se que a vazão com 98% de permanência adotada no Estado é muito restritiva, resultando em muitas situações, como o não atendimento às demandas hídricas locais nas regiões hidrográficas.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá (BHRA), segundo o Plano de Recursos Hídricos (PRHBRA, 2014a), o cenário hídrico em termos quantitativos indicou que o período de maior disponibilidade hídrica natural (janeiro a março) coincide com o período de maior demanda. No entanto, os grandes volumes demandados são do setor de irrigação entre os meses de setembro a janeiro devido, principalmente, a cultura de arroz, seguido do abastecimento humano. O cultivo do arroz pelo sistema pré germinado utiliza volume médio anual de demanda por hectare, com variação entre 7.500 a 8.000 m<sup>3</sup>, totalizando uma demanda entre os meses de agosto a fevereiro de 57 milhões de m<sup>3</sup>/mês e que poderá variar conforme o manejo da cultura. (PBHRA, 2015). Nas safras de 2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015, na área da Associação de Drenagem e Irrigação Santo Izidoro (ADISI) na bacia do rio Araranguá, o consumo médio de água foi de 8.065,90 m<sup>3</sup>/ha, 10.330,52 m<sup>3</sup>/ha e 8.996,84 m<sup>3</sup>/ha, respectivamente. (ADISI, 2015 *apud* SILVA, 2015).

Em termos de qualidade da água, o plano aponta insuficiências quanto ao número de estações e frequência de amostragem e indicadores analíticos monitorados. Essa situação é acentuada especialmente nas unidades de gestão do Itoupava, Manoel Alves e Dos Porcos/Baixo Araranguá (PRHBRA, 2014a), onde não se dispõem de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais.

A situação da disponibilidade e demanda hídrica apontada no plano de recursos hídricos da bacia do rio Araranguá (PRHBRA, 2014b) colocou quatro cenários: i) um cenário com diferentes garantias de atendimento considerando-se a garantia inicial de 98%; ii) e três cenários com vazões de referência únicas de Q<sub>90</sub>, Q<sub>95</sub> e Q<sub>98</sub>, com vazão mínima garantida de 50% das Q<sub>90</sub>, Q<sub>95</sub> e Q<sub>98</sub>, para manutenção dos ecossistemas. Observou-se que as demandas são atendidas com vazões de permanência entre 95% e 98% do tempo nas unidades de gestão do Mãe Luzia, Dos Porcos/Baixo Araranguá e Manoel Alves. Por outro lado, na unidade de gestão do Itoupava, várias ottobacias possuíam demandas equivalentes às vazões de referência de 25% a 50% devido a densidade elevada de usuários do setor de irrigação e em alguns casos de criação animal.

Observou-se nas simulações de balanço hídrico na bacia do rio Araranguá que as vazões de permanência Q<sub>90</sub> apresentaram os melhores resultados de atendimento das demandas hídricas por ottobacia, considerando-se apenas os aspectos quantitativos quando comparados à simulação com a vazão de permanência Q<sub>98</sub> adotada no Estado. Com base no balanço hídrico, o plano estabeleceu e indicou a vazão de referência Q<sub>90</sub> anual (com 90% de permanência) e percentual máximo outorgável de 50% da Q<sub>90</sub>. (PRHBRA, 2015). O plano traz, ainda, a

necessidade de se estabelecer novas vazões de referência, tanto para captação de água como de lançamento de efluente, além de definir critérios claros ao processo de outorga de uso da água.

Nesse contexto, verifica-se a necessidade de aprimorar o gerenciamento dos recursos hídricos da bacia do rio Araranguá para se promover uma alocação mais eficaz. Trabalhos na literatura têm utilizado técnicas de análise multiobjetivo ou multicriterial como um recurso significativo no apoio à tomada de decisão, especialmente de interesse econômico e social. (BALTAR et al., 2003; SILVINO et al., 2013).

Carvalho et al. (2009) citam que os sistemas de suporte à decisão (SSD) têm sido utilizados como ferramenta para auxiliar a resolução de problemas. Existem alguns SSD que simulam com eficiência sistemas complexos de recursos hídricos, assim como modelos que calculam a demanda de irrigação total ou suplementar. Baltar et al. (2003) colocam que a definição de critérios a serem adotados na alocação de água deve alcançar objetivos pactuados entre todos os atores envolvidos.

No Brasil, apesar da avaliação de projetos ser orientada basicamente pela análise benefício-custo, a mudança de enfoque para uma análise multicriterial, contemplando critérios sociais e ambientais, além dos técnicos e econômicos, pode auxiliar num melhor planejamento dos recursos hídricos. No trabalho de Santos (2010, p.4), o “modelo de alocação de água amplamente adotado no Brasil tem, como padrão, a manutenção de uma vazão mínima no corpo hídrico, sem preocupação quanto aos prejuízos de montante ou quanto à possibilidade de uso de parte da água excedente”.

A outorga, enquanto instrumento de direito de uso da água (com relação à quantidade, qualidade e distribuição espacial e temporal), necessita contemplar questões técnicas (hidrologia, ecologia, qualidade), questões legais (competências, direitos e responsabilidades dos usuários) e políticas (mobilização social, acordos em prol do desenvolvimento da bacia, articulação institucional). (CARDOSO DA SILVA; MONTEIRO, 2004). A adoção de técnicas de análise multicriterial para definição de critérios para o processo de emissão de outorga de uso de água tem sido tema de pesquisa em regiões no Brasil e em outros países como forma de corroborar no gerenciamento dos recursos hídricos.

## JUSTIFICATIVA

Está previsto na Constituição Federal de 1988, em seu artigo 20, inciso III e artigo 26, inciso I, que as águas de lagos, lagoas, rios e subterrâneas constituem bens ou da União ou dos Estados. Portanto, é responsabilidade do poder público, estadual ou federal, a sua

administração. Assim, qualquer que seja a intervenção que se queira fazer em um corpo de água, é suscetível a autorização por parte do poder público competente. À luz da legislação vigente, essa autorização é chamada de outorga de direito de uso de recursos hídricos.

A Lei Federal n. 9.433/1997 instituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH) com o objetivo de conservar e recuperar os recursos hídricos degradados, assim como evitar impactos danosos na qualidade. (BRASIL, 1997). Esta legislação incorpora as recomendações da Agenda 21, definindo a água como um recurso natural de disponibilidade limitada e, portanto, possuindo valor econômico. Assim, o acesso à água deve ser um direito das atuais e futuras gerações, devendo-se, para isso, garantir a sua preservação em termos de qualidade e quantidade. (PEREIRA, 2015). A mesma lei disponibiliza, também, um conjunto de instrumentos jurídico-político-administrativos com abertura de espaço para a participação direta da sociedade por meio dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH).

O Estado de Santa Catarina foi um dos pioneiros ao criar o seu Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) em 1983. Porém, mesmo após a publicação da Lei Federal 9.433/1997, que instituiu a PNRH e criou o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH), Santa Catarina ainda não conseguiu adequar a sua legislação à legislação nacional, o que dificulta a implantação dos instrumentos da PNRH, entre eles o enquadramento em classes de uso, a outorga e a cobrança de uso da água.

No Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC, 2017), a região hidrográfica RH 10, onde se encontra inserida a bacia do rio Araranguá e afluentes do Mampituba, apresenta um acentuado déficit hídrico. O PERH de SC aponta que o balanço hídrico quali-quantitativo da referida região hidrográfica apresenta condições péssimas em cenários de curto (2019), médio (2023) e longo prazo (2027).

Em relação às atividades econômicas, a bacia do rio Araranguá apresenta na unidade de gestão do rio Mãe Luzia diferentes setores industriais, como a mineração e beneficiamento de carvão, cerâmica de revestimento, couro e confecções, metalmecânica e agroindústria. Também possui atividades agropastoril, com destaque a produção de arroz irrigado. A porção ao sul da bacia, junto às unidades de gestão dos rios Manoel Alves e Itoupava, são essencialmente ocupadas por atividades agrícolas, destacando arroz, milho, banana e fumo. (PERH/SC, 2017). Deve-se considerar ainda outros setores, como pecuária, pesca e seguimentos ligados ao turismo. (SANTA CATARINA, 2006a).

Dentre os programas propostos pelo PERH de SC para a bacia do rio Araranguá, chama atenção o Programa 3, que tem como objetivo a implementação de uma rede de PD&I integrada

com os gestores de recursos hídricos para que sejam desenvolvidas soluções inovadoras com o intuito de implementar no estado e auxiliar as ações do plano. Das ações previstas para alcançar este objetivo, é proposto o desenvolvimento de modelos e instrumentos de gestão voltados à outorga de uso de água. (PERH/SC, 2017).

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Araranguá (PRHBRA, 2014c), nas unidades de gestão do Itoupava e Mãe Luzia é crescente os conflitos relacionados à disponibilidade hídrica. Nessas duas unidades, a demanda por água destinada à irrigação de lavouras de arroz é acentuada, havendo em época de escassez, conflitos de uso entre este setor e demais usuários na bacia, exigindo tanto o aumento de reservas hídricas como a racionalização de uso.

Além dessa situação, o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Araranguá (PRHBRA, 2015, p.14) prevê seis metas e 32 ações estratégicas. A meta seis trata em “racionalizar demandas hídricas” e possui sete ações, sendo duas de curto prazo. Uma das ações de curto prazo é “estabelecer critérios de outorga para a bacia do rio Araranguá e implementar a outorga de direito de uso da água”, conforme prioridades a serem propostas pelo comitê de bacia.

Portanto, o estabelecimento de critérios claros à outorga de uso da água é fundamental para legitimar a utilização da água e possibilitar o uso racional. Cabe destacar que o Decreto Estadual nº. 4.778, de 11 de outubro de 2006, regulamentou esse instrumento, estabelecendo critérios para a concessão, “licença de uso”, “autorização” e para a dispensa de outorga de uso de água. (SANTA CATARINA, 2006b).

Ferraz; Braga Jr (1998) e Marques (2006), colocam que o instrumento de emissão de outorga de uso da água deve ser orientado no sentido de maximização do bem-estar social e da administração de conflitos entre usuários numa mesma bacia. Para a sua implementação, é necessário definir critérios e regras claras e objetivas de distribuição da água, considerando a hierarquização de prioridades dos vários usos, dependente das características de ocupação e do desenvolvimento socioeconômico de cada região hidrográfica.

No trabalho apresentado por Silva; Marques; Lemos (2011), a adoção de uma vazão mínima anual nos critérios de outorga pôde se tornar restritiva em bacias com elevada demanda do recurso e em períodos chuvosos, e pôde ser eventualmente insuficiente para a manutenção do meio biótico nos períodos de escassez. Os autores enfatizam a necessidade de evoluir nos critérios de outorga com estudos aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização de vazões e adoção de novas vazões mínimas de referência sazonais.

Estudos realizados por Catalunha (2004), buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, revelaram que a utilização do período trimestral para a determinação das vazões



mínimas de referência apresentou-se mais adequada quando comparada às vazões obtidas para o período anual.

Marques (2006), ao desenvolver um sistema online de gestão de outorgas, obteve vazões mínimas de referência com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ), e vazões mínimas associadas às permanências de 90% e 95% ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ), com base no período trimestral. O autor concluiu que o período trimestral proporcionou um aumento de até 89% nas vazões mínimas de referência no trimestre mais chuvoso (janeiro-fevereiro-março) e uma redução de até 15%, no trimestre mais seco (julho-agosto-setembro).

Nesse contexto, trabalhos relacionados ao tema outorga de uso da água contribuem para aumentar o nível de informação sobre a gestão de recursos hídricos tanto aos profissionais técnicos como aos comitês de bacia, associação de agricultores, concessionárias de água e aos diversos usuários numa bacia. Portanto, o tema dessa pesquisa pode incentivar e corroborar, servindo de base para encaminhamento de outros assuntos importantes para a bacia do Araranguá, como o enquadramento dos corpos hídricos em classes de uso.

O desafio desta pesquisa está na busca pelo estabelecimento de critérios na análise do processo de outorga de uso da água superficial que contemple, além da disponibilidade (vazão de referência), aspectos de ordem econômica, social, legal e ambiental.

Esta pesquisa torna-se uma oportunidade para a academia dar um retorno à sociedade por meio da proposição de soluções para a resolução do problema complexo e real e que pode ter aplicação imediata aos municípios da bacia e aos usuários de água, podendo subsidiar trabalhos futuros em outras regiões hidrográficas. O instrumento de outorga induz à ordem no uso dos recursos hídricos, trazendo uma certa tranquilidade aos usuários, pois estes, uma vez possuidores do direito de uso, poderão realizar investimentos em um ambiente mais organizado.

## HIPÓTESE

Diante da contextualização do tema e problema, alguns questionamentos são levantados nesta pesquisa:

- É possível proporcionar um aumento da disponibilidade hídrica por meio de novas vazões mínimas de referência sazonais com intuito de minimizar os conflitos existentes entre múltiplos setores usuários de água?
- Cabe propor critérios no processo de análise de outorga de uso de água superficial que incorpore aspectos técnico, econômico, legal, social e ambiental?

- É possível estruturar um modelo multicriterial que contribua na tomada de decisão para emissão de outorga de uso de água superficial?

Como resposta a esses questionamentos e considerando as teorias que suportam a hipótese, é possível construir um modelo multicriterial para avaliação da emissão de outorga de uso da água superficial que contemple ao mesmo tempo as dimensões técnico, econômico, legal, social e ambiental e os valores dos decisores locais envolvidos no processo de gerenciamento dos recursos hídricos.

Dessa maneira, esta pesquisa busca responder a esses questionamentos propondo a integração de mecanismos que promovam a alocação mais eficaz dos recursos hídricos superficiais na bacia do rio Araranguá.

## OBJETIVOS

### **Geral**

Desenvolver uma proposta multicriterial para aprimoramento na emissão de outorga de uso de água superficial na bacia do rio Araranguá que incorpore os valores dos decisores locais envolvidos no seu processo de gestão.

### **Específicos**

- Determinar vazões mínimas de referência sazonais (mensal, trimestral e anual) para minimizar os conflitos entre usuários na bacia;
- Estimar a demanda hídrica sazonal por finalidade de uso para avaliar o comprometimento hídrico na bacia;
- Identificar os aspectos considerados importantes pelos decisores para propor critérios ao processo de outorga de água superficial;
- Caracterizar os pesos dos critérios e subcritérios determinados pelos decisores na análise multicriterial das alternativas associando as dimensões técnica, econômica, legal, social e ambiental;
- Demonstrar a aplicação da proposta de avaliação do processo de emissão de outorga de uso de água superficial na bacia do rio Araranguá.

## **1 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1.1 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

A água é bem de consumo final ou intermediário na quase totalidade das atividades humanas. É um mineral essencial à vida, sendo considerado um bem de consumo renovável, o que permite a sustentabilidade da biodiversidade, e tem sua aplicabilidade relacionada ao grau de qualidade que apresenta. (FERNANDES et al., 2008; OKANA; POLETO, 2014; TUCCI; SILVEIRA, 2015). O direito à água é um direito universal, sendo o maior vetor da sua gestão, ou seja, do direito de água, que busca proteger os recursos hídricos. (D'ISEP, 2006).

Estimativas realizadas até o ano de 2050 apontam que mais de 2 bilhões de pessoas no mundo estarão sem água disponível para suas necessidades mais básicas. (ANA, 2005). Embora o Brasil possua cerca de 12% das águas doces superficiais do mundo (DAEE, 2006), é afetado tanto pela escassez quanto pela degradação da qualidade dos recursos hídricos oriundos da poluição de origem doméstica e industrial. Estudos realizados por Tundisi (2003) citado por Cabral (2015), apontam que um dos fatores que agrava a situação dos recursos hídricos são as interferências antrópicas sobre o ciclo hidrológico, podendo chegar à diminuição da vazão de água em cerca de 70% em alguns países.

Lanna (2015) estabelece que a gestão de recursos hídricos é uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes, ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões que têm por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos recursos hídricos.

Nesse aspecto, planejar o desenvolvimento de um município, estado ou região hidrográfica, exige levar em conta a inclusão de espaços de armazenagem de água e preservação de mananciais para garantir a disponibilidade da água para múltiplos usos. Com o aumento da intensidade e variedade desses usos, ocorrem conflitos entre usuários. Tucci e Silveira (2015) apontam que uma forma eficiente de administrar os conflitos entre usuários de uma mesma bacia, é estabelecer a gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos.

#### **1.1.1 Conflitos pelo uso da água**

De acordo com Brito (2013) e Tucci; Silveira (2015), a água, sendo o recurso natural mais utilizado no planeta, atende à diversas demandas simultaneamente, podendo ser destacados: abastecimento humano, dessedentação animal, industrial, irrigação e geração de

energia, na pesca, navegação, recreação e preservação da flora e fauna. Esses usos estão inseridos em três classes: infraestrutura social; indústria; agricultura, florestamento e aquicultura. (TUCCI; SILVEIRA, 2015).

Em relação à forma de utilização da água, existem três possibilidades: Consuntivos (C), Não-consuntivos (NC) e Local (L).

Consuntivos (C): referem-se aos usos que retiram a água de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades espacial e temporalmente.

Não-consuntivo (NC): referem-se aos usos que retornam à fonte de suprimento, praticamente a totalidade da água utilizada, podendo haver alguma modificação no seu padrão temporal de disponibilidade.

Local (L): refere-se aos usos que aproveitam a disponibilidade de água em sua fonte sem qualquer modificação relevante, temporal ou espacial, de sua disponibilidade. (TUCCI; SILVEIRA, 2015, p.735).

Nas últimas décadas, diversos autores de diferentes áreas do conhecimento têm ampliado e intensificado discussões e debates às pesquisas e publicações na temática recursos hídricos e água. Embora esses dois temas sejam muitas vezes utilizados como sinônimos, São Paulo (2014, p.26) apresenta diferenças conceituais: “recursos hídricos é a água como bem econômico possível de utilização com tal fim, enquanto a água é um recurso natural desvinculado de qualquer uso ou utilização, e que está no planeta há milhões de anos [...]”.

Todo recurso hídrico é água, mas nem toda água é recurso hídrico; nem sempre seu uso possui viabilidade econômica. A apropriação da água para atingir um fim nas atividades econômicas e no trabalho envolve sua transformação em bem econômico, que passa a ser considerado como recurso hídrico. Água e recurso hídrico são termos comumente empregados com o mesmo significado.

De acordo com Okana; Poletto (2014) e Tucci; Silveira (2015), o uso dos recursos hídricos nas últimas décadas tem se intensificado com o desenvolvimento econômico tanto no que se refere ao aumento da quantidade demandada para determinada utilização quanto à variedade dessas utilizações. Para os autores, o conflito pelo uso da água está centrado nos diferentes usos que ela pode proporcionar.

A escassez hídrica está associada à indissociabilidade entre a quantidade e a qualidade, o que conduz a um cenário de conflito pelo uso. (ANA, 2019a). Ela pode ser gerada por eventos isolados, como uma seca prolongada, por exemplo, mas em geral ocorre devido a uma conjuntura de fatores cujos efeitos podem agravar uma situação já crítica em termos de disponibilidade hídrica.

Existem algumas tendências que podem ser consideradas como as principais causas das crises hídricas mundiais, sendo que algumas já ocorrem há anos, como aponta Siegel

(2015). O autor destaca cinco dessas causas: o crescimento populacional, a mudança climática, a poluição da água, perdas no sistema de abastecimento de água e a ascensão da classe média. Por outro lado, o autor afirma que essas tendências às crises hídricas podem ser superadas quando há o apoio dos setores públicos e privados, o conhecimento técnico e acesso a recursos financeiros.

Nas últimas décadas, as questões relacionadas a conflitos decorrentes da alocação de recursos hídricos entre múltiplos usuários têm despertado interesse. Para Wang; Huang (2011), a competição entre os usuários da água tem se intensificado devido ao crescimento populacional, alteração na disponibilidade específica e temporal da água, variações das condições naturais e deterioração da qualidade da água.

Fatos relatados por Kremer (2012) mostram que os conflitos locais relacionados à água provavelmente estão crescendo em número e intensidade. As disputas pela água não produziram guerra global em larga escala, mas as lutas regionais e as batalhas locais costumam usar a água como parte de um estratagema para promover objetivos políticos. Para o autor, as disputas de má alocação e indisponibilidade de água propriamente dita instigou confrontos em várias regiões no mundo, sendo chamadas de “disputas de desenvolvimento”.

Estudos realizados no Oriente Médio por Mohammadinezhad; Ahmadvand (2020, p.2) apontam que a questão do conflito pela água é a maior ameaça à vida humana. Os autores enfatizam que a “próxima guerra será uma guerra pela água” ou “a próxima guerra no Oriente Médio será pela água”. Ainda segundo os autores, as partes interessadas de usos múltiplos pela água são os principais obstáculos para a maioria dos conflitos não mitigados. No Irã, o principal conflito identificado pelo uso da água está entre o setor agrícola e o governo para atendimento ao abastecimento público.

Welch (2018) discutiu as causas e consequências da crise hídrica na Cidade do Cabo e elencou algumas localidades que foram ou são afetadas por eventos de crise hídrica nas últimas décadas, dentre elas estão: Cidade do México, Melbourne, Jacarta, sul da Califórnia, diversas cidades da Índia, Somália, Arábia Saudita e a cidade de São Paulo.

De acordo com a OCDE (2015), não há uma solução universal para todos os tipos de desafios no âmbito dos recursos hídricos. As soluções propostas devem ser adaptadas à contextos e especificidades territoriais. A melhoria na governança dos recursos hídricos, segundo a OCDE (2015), depende de três mudanças no debate político: i) o papel crucial dos estados na gestão integrada dos recursos hídricos, ou seja, a governança em uma bacia hidrográfica dificilmente ocorrerá sem o fortalecimento dos estados; ii) o engajamento das partes interessadas e a mobilização social generalizada não devem excluir os sólidos

conhecimentos técnicos e o exercício da autoridade pública; iii) o reconhecimento de que abordagens de “baixo para cima” precisam ser complementadas por um processo de “cima para baixo” para garantir o cumprimento das metas nacionais e dos objetivos a longo prazo.

De modo geral, as partes interessadas pelo uso da água incluem vários centros de formulação de políticas públicas, como autoridades governamentais, departamentos de agricultura, departamentos de gestão de água (a jusante e seções de rio a montante), sistemas de abastecimento de água potável, irrigação, geração de energia, outras partes interessadas na agricultura e indústrias. (FOSTER; GARDUÑO, 2004; BIJANI; HAYATI, 2011; CHANYA et al., 2014; TARIGAN et al., 2014).

Para Setti et al. (2000); Tucci; Silveira (2015), os tipos de conflitos pelo uso da água são decorrentes de disponibilidade qualitativa, quantitativa e destinação de uso:

Conflitos de destinação de uso: essa situação ocorre quando a água é utilizada para destinações outras que não aquelas estabelecidas por decisões políticas, fundamentadas ou não em anseios sociais, que as reservariam para o atendimento de necessidades sociais, ambientais e econômicas; por exemplo, a retirada de água de reserva ecológica para a irrigação.

Conflitos de disponibilidade qualitativa: situação típica de uso em corpos de água poluídos. Existe um aspecto vicioso nesses conflitos, pois o consumo excessivo reduz a vazão de estiagem deteriorando a qualidade das águas já comprometidas pelo lançamento de poluentes. Tal deterioração, por sua vez, torna a água ainda mais inadequada para consumo.

Conflitos de disponibilidade quantitativa: situação decorrente do esgotamento da disponibilidade quantitativa devido ao uso intensivo. (TUCCI; SILVEIRA, 2015, p.740-741).

Portanto, os problemas relacionados aos conflitos com escassez de água no mundo confirmam a necessidade de maior controle em sua utilização. Neste aspecto, a gestão atual dos recursos hídricos passa por um processo de transição em que a descentralização, a gestão por bacias hidrográficas, o monitoramento permanente e a disponibilização de informações para a sociedade são pontos fundamentais. (FERNANDES et al., 2008). Para que essa integração tenha foco, sugere-se que a gestão esteja baseada em unidades territoriais ou nas bacias hidrográficas. (WMO, 1992; PORTO; PORTO, 2008; TUCCI; SILVEIRA, 2015).

Devido as suas dimensões continentais, no Brasil encontram-se casos distintos de problemas de escassez de água que são gerados pela crescente demanda pelo recurso, entretanto, é nas regiões Nordeste e Sudeste onde esses problemas ocorrem de forma mais intensa. Getirana (2005) descreve que muitos dos casos de conflitos em torno da água estão relacionados ao setor agrícola, pelo consumo de expressiva parcela do total disponível, seguido de geração de energia elétrica. (SILVA, 2019).

Nos municípios brasileiros, a alta vulnerabilidade resultante de um balanço hídrico desfavorável associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica e períodos de precipitações abaixo da média, contribui para o agravamento da situação de escassez, resultando em períodos prolongados de crise hídrica e, por consequência, a geração de conflitos entre múltiplos usuários. (ANA, 2017).

Nas últimas décadas, os conflitos de disponibilidade hídrica mais incisivos foram observados na bacia do Alto Tietê na Região Metropolitana de São Paulo (gerida pelo Sistema Cantareira que é responsável pelo abastecimento de água de cerca de 8,8 milhões de habitantes residentes), dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ) no interior de São Paulo, do rio Jacuí no Rio Grande do Sul, em algumas sub-bacias do médio e baixo São Francisco, bacias do Atlântico Leste e do Atlântico Nordeste Oriental, entre outras. (ANA, 2005; ANA, 2017).

Segundo informações obtidas da Sala de Situação da ANA, o Sistema Cantareira é o maior produtor de água da Região Metropolitana de São Paulo. Ele produz  $33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a partir da transposição entre duas bacias hidrográficas, importando água da bacia do rio Piracicaba para a bacia do Alto Tietê (ANA, 2017) em atendimento à elevada demanda dos múltiplos usuários.

Oliveira et al. (2013) relatam que na bacia do Paracatu, situada no Médio São Francisco, devido a grande expansão da agricultura irrigada desde a década de 70, sérios conflitos de uso da água têm surgido, principalmente nas sub-bacias do Ribeirão Entre Ribeiros e do rio Preto. Essa situação também é vivenciada na bacia do rio Araranguá, sul de Santa Catarina, devido a expansão de área cultivada com arroz irrigado, o que tem exigido grandes volumes de água para o manejo dessa cultura. Dessa forma, a bacia do rio Araranguá tem apresentado um acentuado déficit hídrico, gerando muitos conflitos de uso. (PERH/SC, 2017).

A solução de conflitos aos usuários de água requer, de maneira geral, a organização da gestão do sistema hídrico com viés coletivo, procurando, na medida do possível, evitar soluções individuais que possam implicar danos a outros usuários de uma mesma bacia hidrográfica.

### **1.1.2 Modelos de gestão da água no âmbito internacional**

Nesse capítulo procurou-se discorrer sobre algumas experiências internacionais em termos de gestão de recursos hídricos a partir de aspectos jurídicos institucionais. Assim, serão apresentados os modelos francês, alemão, norte americano e na república de Mendonça na Argentina com o propósito de subsidiar o tema desta tese e identificar possíveis influências na gestão de uso múltiplo da água na bacia do rio Araranguá.

Na França, o modelo de gestão das águas prevê a participação da sociedade desde 1964, onde a partir da Lei das Águas (Lei n. 1245/1964) foram delimitadas seis áreas territoriais para gerenciamento de águas com base nas bacias hidrográficas do país. Para cada área de gestão foram implementados um comitê e uma agência financeira de bacia, essa última renomeada em novembro de 1991 como “Agência de Água”. (JACOBI, 2009). A Lei das Águas possibilitou a gestão das dimensões técnica, política, econômica e financeira, todas de forma simultânea. Além disso, permitiu que a França pudesse planejar a gestão dos recursos hídricos através dos objetivos de qualidade, possibilitando investimentos em estações de tratamento no final de cada rede de esgoto. (RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 1964).

Em 1992 surgiu uma segunda lei que manteve os principais princípios da Lei das Águas de 1964. Esta nova legislação (Lei n. 3/1992) descentralizou o sistema de recursos hídricos na França. Dessa forma, instituiu-se um procedimento de planejamento por meio da elaboração de planos diretores de aproveitamento e de gestão das águas que levam em consideração os programas definidos pelas coletividades públicas. (RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 1992).

Nesse sentido, um sistema de planificação da gestão foi criado a fim de instituir dois instrumentos: o SDAGE (Esquema Diretor de Planejamento e de Gestão das Águas), na escala das seis grandes bacias hidrográficas, elaborado pelo Comitê de Recursos Hídricos para um período de 10 a 15 anos; e o SAGE (Esquema de Planejamento das Águas), na escala de sub-bacias, elaborado por uma Comissão Local da Água. (RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 1992).

O terceiro marco legal de gestão de águas na França foi através da Lei n. 1772 de 2006, composta por 102 artigos e que propõe uma reforma dos vários códigos existentes numa única legislação. A lei procurou responder às exigências do “bom estado” das águas e do meio aquático até o ano de 2015 e determinado pela Diretiva da União Europeia em 2000. (RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 2006).

Na Alemanha, os problemas dos recursos hídricos não estavam associados à quantidade de água, mas especialmente à poluição das águas pela mineração de carvão, pelos despejos industriais, pela agricultura, lançamento de esgotos domésticos, entre outras fontes de poluição. (ADAM, 2008). Desde 1880, a região carbonífera de Ruhr, em função do agravamento da poluição, levou os usuários de água, o governo e a comunidade local a discutirem a possibilidade da gestão integrada dos recursos hídricos.

A partir da década de 50, na República Democrática da Alemanha, a gestão dos recursos hídricos passou a ser feita pelo governo central sem a participação das comunidades



locais e usuários de água, dificultando as necessidades locais. Essa medida acarretou o aumento da poluição dos rios. Por outro lado, na República Federativa da Alemanha a gestão da água era descentralizada e participativa, sendo a bacia utilizada como unidade ideal de gerenciamento. Com a reunificação da Alemanha em outubro de 1990, a gestão dos recursos hídricos na ex República Democrática da Alemanha passou a ser exercida por instituições municipais e sindicatos intermunicipais. (BARRAQUÉ, 1996 *apud* ADAM, 2008).

Percebe-se que o funcionamento do modelo alemão de gestão hídrica está pautado na gestão de bacia hidrográfica com ênfase na participação social e dos órgãos federados na composição de Comitê de Bacia. Esse modelo assemelha-se ao Francês na forma de gerenciamento, considerando a bacia como unidade de gestão.

No modelo dos Estados Unidos da América (EUA), diferentemente do Brasil não há uma “lei de água”, e sim várias legislações que orientam o manejo desse recurso. No âmbito federal, existe o *Clean Water Act* (CWA), que orienta no controle da contaminação das águas superficiais e o *Safe Drinking Water Act* (SDWA), que ajuda a garantir a qualidade da água potável nas residências norte-americanas. (TRINDADE; HOORNBECK, 2020).

Segundo Trindade e Hoornbeek (2020), o modelo Norte-Americano de gestão dos recursos hídricos é variado e com diversas legislações nacionais. Ele é focado no papel dos governos estaduais na gestão das águas e não exige o engajamento social na gestão hídrica. No entanto, mesmo não havendo obrigatoriedade legal para a existência dos “*watershed groups*” (nome dado aos grupos de bacias hidrográficas nos EUA), eles surgiram no início dos anos 1990 para colaborar no controle das fontes difusas de poluição exigida pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e com apoio financeiro concedido pelo governo federal. (CHAFFIN et al., 2012). Para o repasse de fundos do governo federal aos estados, é necessário que o Estado tenha um plano de bacia hidrográfica.

Portanto, muitos estados norte-americanos têm discutido e praticado o modelo de gestão colaborativa por meio de maior participação dos grupos das bacias hidrográficas, seja na elaboração e na implantação dos planos de bacias, como também na implementação dos esforços para a redução da carga de poluição. (TRINDADE; HOORNBECK, 2020).

Na província de Mendonça, na Argentina, a árida província central tem aprofundado o debate sobre os problemas de escassez de água, associado a falta de investimento em infraestruturas hídricas, a utilização inadequada por parte da população e das diversas atividades econômicas que utilizam a água como bem público e privado. (GROSSO, 2012).

O uso e a gestão da água na província de Mendoza, segundo Gomes et al., (2022), principalmente para irrigação e uso habitacional, é centrada no recurso superficial, embora

utilizam-se as águas subterrâneas quando as águas superficiais são escassas. As águas superficiais são a principal fonte, originando-se na camada de neve e nas geleiras de cabeceiras de grande altitude. (DUSSAILLANT et al., 2019; MASIOKAS et al., 2019). Para os autores, os glaciares são o principal foco da atenção nacional e internacional no que diz respeito aos recursos de água doce, enquanto o papel dos aquíferos é largamente subestimado, apesar da interligação das águas superficiais e subterrâneas.

A gestão da água em Mendoza produz um território claramente fragmentado no qual os oásis de irrigação artificial ocupam apenas 3% da superfície de Mendoza. Nas terras secas irrigadas (oásis), 98,5% de um total de 1.579.651 habitantes que vivem na província, praticam as suas actividades formando núcleos agro-urbanos-industriais. O restante do território provincial, aproximadamente 97% da superfície, é uma área de planícies desérticas e cordilheiras onde vive 1,5% da população. (GROSSO, 2012).

### **1.1.3 Critérios de outorga do uso da água**

O disciplinamento da outorga de uso de água no Brasil tornou-se evidente a partir da criação da Lei das Águas, o que proporcionou um aumento da necessidade da determinação de variáveis hidrológicas. (JUNIOR et al., 2003). Levando isso em consideração, o conhecimento da vazão disponível em um curso d'água é parte fundamental para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. (TUCCI; SILVEIRA, 2015). Por meio desse conhecimento é possível alocar valores para abastecimento público, na indústria, agropecuária e demais usos dependentes desse recurso.

A preocupação com aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos no Brasil começou a surgir com o processo de industrialização do país e aumentou com o crescimento da demanda de água pelos diversos setores de usuários, tais como a produção de alimentos e de biocombustíveis. (OLIVEIRA et al., 2013). Esses setores têm forte impacto na disponibilidade de água, sobretudo nos aspectos quantitativos, enquanto o crescimento industrial e a produção de minérios causam impacto mais relevante nos aspectos qualitativos.

Nesse aspecto, a outorga de direito de uso da água é um dos instrumentos adotados pela PNRH para dar suporte à gestão dos recursos hídricos, que tem por finalidade assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso à mesma. (BRASIL, 1997). Condicionado à disponibilidade hídrica, o direito de uso dos recursos hídricos é conferido aos usuários por meio da outorga, sendo o elemento central

do controle para o uso racional dos recursos hídricos, o que dá garantia ao usuário outorgado o direito de acesso à água, uma vez que regulariza o seu uso em uma bacia. (ANA, 2011).

Por isso, a outorga é considerada um valioso instrumento de gestão e sua efetiva implementação depende do compromisso de todo usuário. Esse instrumento de regulação pública é compatível com os objetivos estabelecidos nos planos de recursos hídricos estaduais e nos respectivos enquadramentos de corpos d'água. Além da outorga de direito de uso, existe na legislação federal outras duas categorias de outorga: a outorga preventiva e a declaração de reserva de disponibilidade hídrica.

É passível de outorga qualquer uso que altere o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente nos corpos d'água, sejam eles superficiais ou subterrâneos, com exceção daqueles usos que independem de outorga, mas que necessitam de cadastramento junto à autoridade outorgante, de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica. (SCHVARTZMAN et al., 2002). Trata-se, portanto, de um ato administrativo a qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado o direito de uso de recursos hídricos por prazo determinado nos termos e condições expressas no respectivo ato.

Oliveira et al. (2013) relatam que a competência para a emissão dos atos de outorga obedece a dominialidade constitucionalmente estabelecida (artigos 20, III; 26, I c/c 32 § 1º Constituição Federal de 1988). Portanto, a outorga das águas superficiais é de competência da União, dos Estados ou do Distrito Federal, enquanto a das águas subterrâneas, dos Estados e do Distrito Federal.

Nos rios de domínio da União, a ANA detém a competência legal para conceder a outorga de direito de uso aos usuários. Nos rios de domínio dos Estados, os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais são competentes para outorgar o uso de suas águas. Entretanto, muitos estados brasileiros não estabelecem a vazão máxima outorgável, sendo que, quando ela é definida, esses órgãos baseiam-se no uso de uma porcentagem da vazão mínima de referência. (RODRIGUES et al., 2009).

A vazão mínima de referência para o processo de outorga é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso de água e que, normalmente, é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação. Assim, apenas certo percentual dessas vazões deve ser utilizado, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (vazão ecológica, ambiental ou sanitária). (OLIVEIRA; FIOREZE, 2011).

Ainda de acordo com Oliveira; Fioreze (2011), a análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem (períodos críticos) define a disponibilidade natural dos

recursos hídricos, enquanto a disponibilidade potencial é determinada pela vazão média de longa duração. As vazões mínimas, caracterizadas pela magnitude, duração e frequência utilizadas na concessão de outorga a fio d'água, são normalmente representadas pela vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) ou através das vazões cujas probabilidades de superação são de 90% ( $Q_{90}$ ) ou 95% ( $Q_{95}$ ). (ANA, 2011).

De acordo com Cruz (2001), a ANA utiliza como critério de outorga o uso de até 70% da  $Q_{95}$ , podendo variar em função das peculiaridades de cada região, não ultrapassando o limite de 20% para cada usuário individual. Nos estados, considerando aqueles que adotam critérios para outorga, cada um tem usado valores particulares para estabelecimento das vazões de referência.

Marques et al. (2009), descrevem que a adoção de vazões mínimas de referência que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica, conduz a situações de vazões restritivas aos usos múltiplos, uma vez que restringe a quantidade de água passível de ser utilizada, principalmente nos períodos chuvosos, quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada.

Os critérios de outorga com base nas vazões de referência para a federação e alguns estados brasileiros são listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira. (continua)

| Unidade da federação | Órgão gestor                                                           | Legislação que institui a política de recursos hídricos | Vazão máxima outorgável em cursos d'água superficiais                                                                               | Legislação referente a vazão máxima outorgável                              |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| União                | <sup>(1)</sup> Agência Nacional de Água e Saneamento Básico            | Lei nº 9.433/1997                                       | 70% da $Q_{95}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região.<br>Outorgado no máximo 20% para cada usuário individual | Não existe, em função das peculiaridades do País, podendo variar o critério |
| Acre                 | Instituto de Meio Ambiente do Acre (IMAC)                              | Lei nº 1500/2003                                        | -                                                                                                                                   | -                                                                           |
| Alagoas              | Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) | Lei nº 5.965/1997                                       | 90% da $Q_{90}$ de permanência                                                                                                      | Decreto Estadual nº 06/2001                                                 |
| Amapá                | Secretaria de Meio Ambiente do Amapá                                   | Lei nº 686/2002                                         | -                                                                                                                                   | -                                                                           |

Fonte: <sup>(1)</sup> ANA - Caderno de Recursos Hídricos (2005); <sup>(2)</sup> ALMEIDA (2017).

Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira.  
(continuação)

| Unidade da federação | Órgão gestor                                                            | Legislação que institui a política de recursos hídricos | Vazão máxima outorgável em cursos d'água superficiais                                                                                                                                                                     | Legislação referente a vazão máxima outorgável |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Amazonas             | Secretaria de Mineração, Geodiversidade e Recursos Hídricos (SEMGRH)    | Lei nº 2.712/2001                                       | -                                                                                                                                                                                                                         | -                                              |
| Bahia                | Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA-BA)               | Lei nº 11.612/2009                                      | 80% da $Q_{90}$ de permanência diária se não há barramento                                                                                                                                                                | Decreto Estadual nº 6.296 de 21/03/1997        |
|                      |                                                                         |                                                         | 80% da $Q_{90}$ regularizada por barramentos em mananciais perenes                                                                                                                                                        |                                                |
|                      |                                                                         |                                                         | 95% da $Q_{90}$ regularizada por barramentos em mananciais intermitentes ou com fins para abastecimento humano                                                                                                            |                                                |
| Ceará                | Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH-CE)          | Lei nº 14.844/2010                                      | Máximo de 20% da vazão de referência para cada usuário individual                                                                                                                                                         | Decreto Estadual nº 23.067/1994                |
|                      |                                                                         |                                                         | 90% da $Q_{90}$ regularizada quando há barramento                                                                                                                                                                         |                                                |
| Distrito Federal     | Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal (ADASA-DF) | Lei nº 2.725/2001                                       | 33% da $Q_{90}$ regularizada em lagos territoriais ou lagoas                                                                                                                                                              | Decreto Estadual n. 22.359/2001                |
|                      |                                                                         |                                                         | 80% da $Q_{90}$ ou $Q_{7,10}$ ou $Q_{mli}$                                                                                                                                                                                |                                                |
| Espírito Santo       | Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA-ES)       | Lei nº 5.818/1998                                       | 90% da $Q_{7,10}$ para abastecimento humano                                                                                                                                                                               | Instrução Normativa IEMA nº 010/2007           |
|                      |                                                                         |                                                         | 50% da $Q_{7,10}$ (exceto para os corpos d'água na Região Hidrográfica do Rio Itaúnas, do Rio São Mateus, do Rio Barra Seca e em cursos de água intermitentes, que a vazão de referência a ser considerada é a $Q_{90}$ ) |                                                |

Fonte: <sup>(1)</sup> ANA - Caderno de Recursos Hídricos (2005); <sup>(2)</sup> ALMEIDA (2017).

Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira.  
(continuação)

| Unidade da federação        | Órgão gestor                                                                              | Legislação que institui a política de recursos hídricos | Vazão máxima outorgável em cursos d'água superficiais                                                                                                                                                                                                                                       | Legislação referente a vazão máxima outorgável                                                       |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Goiás                       | Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH-GO)                               | Lei nº 13.123/1997                                      | 70% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Resolução SEMARH nº 09/2005                                                                          |
|                             |                                                                                           |                                                         | 50% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                      |
| Maranhão                    | Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA-MA)                       | Lei nº 8.149/2004                                       | 20% da Q <sub>90</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Decreto nº 27.845/2011                                                                               |
| <sup>(1)</sup> Mato Grosso  | Secretaria de Estado de Meio Ambiente / Superintendência de Recursos Hídricos (SURH/SEMA) | Lei nº 6.945/1997                                       | 70% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Resolução CERH nº 27/2009                                                                            |
| Mato Grosso do Sul          | Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL)                                 | Lei nº 2.406/2002                                       | 70% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Resolução CERH/MT nº 25/2014                                                                         |
| <sup>(1)</sup> Minas Gerais | Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)                                              | Lei nº 13.199/1999                                      | 50% da Q <sub>7,10</sub> (30% da Q <sub>7,10</sub> nas bacias dos rios Jequitai, Pacuí, Urucuia, Pandeiros, Verde Grande, Pará, Paraopeba e Velhas, exceto as áreas consideradas pelo IGAM como de conflito pelo uso da água, que será outorgado até o limite de 50% da Q <sub>7,10</sub> ) | Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548/2012                                                           |
| Pará                        | Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA)                                   | Lei nº 6.381/2001                                       | 70% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Diário Oficial nº 31770/2010<br>Secretaria de Estado de Meio Ambiente Instrução Normativa nº 55/2010 |
| <sup>(2)</sup> Paraíba      | Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA-PB)                      | Lei nº 6.308/1996                                       | 90% da Q <sub>90</sub> regularizável anual                                                                                                                                                                                                                                                  | Decreto Estadual nº 19.260/1997                                                                      |
|                             |                                                                                           |                                                         | 33% da Q <sub>90</sub> regularizada em lagos territoriais ou lagoas                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                      |
| <sup>(2)</sup> Paraná       | Instituto das Águas do Paraná (IAP)                                                       | Lei nº 12.726/1999                                      | 50% da Q <sub>95</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                      | Decreto Estadual nº 4.646/2001                                                                       |

Fonte: <sup>(1)</sup> ANA - Caderno de Recursos Hídricos (2005); <sup>(2)</sup> ALMEIDA (2017).

Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira.  
(continuação)

| Unidade da federação               | Órgão gestor                                                                      | Legislação que institui a política de recursos hídricos | Vazão máxima outorgável em cursos d'água superficiais                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Legislação referente a vazão máxima outorgável     |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <sup>(1)</sup> Pernambuco          | Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC)                                      | Lei nº 11.426/1997                                      | 80% da Q <sub>90</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -                                                  |
| <sup>(1)</sup> Piauí               | Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Piauí (SEMAR-PI)      | Lei nº 5.165/2000                                       | 80% da Q <sub>95</sub> (Rios) e 80% da Q <sub>90</sub> (Açudes)                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Não existe legislação específica                   |
| <sup>(1)</sup> Rio de Janeiro      |                                                                                   |                                                         | 50% da Q <sub>7,10</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Portaria SERLA nº 307/2002                         |
| <sup>(2)</sup> Rio Grande do Norte | Secretaria de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SERHID-RN)                | Lei nº 6.908/1996                                       | 90% da Q <sub>90</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Decretos Estaduais nº 13.283/1997 e nº 13.284/1997 |
| Rio Grande do Sul                  | Secretaria do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (SEMA-RS)                        | Lei Estadual nº 10.350/1994                             | Não está definido                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | -                                                  |
| <sup>(1)</sup> Rondônia            | Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM)                         | Lei Complementar 255/2002                               | 30% da Q <sub>7,10</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Não há legislação específica                       |
| Roraima                            | Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia de Roraima (FEMACT)      | Lei nº 547/2006                                         | 80% da Q <sub>7,10</sub> ou Q <sub>90</sub> ou Q <sub>mlp</sub> ou ainda, na ausência das anteriores, vazões instantâneas medidas pelo usuário pelo menos os meses de janeiro, fevereiro, março e abril que corresponde ao período seco do estado (no caso de abastecimento humano e dessedentação de animais, os limites poderão atingir até 90% da Q <sub>7,10</sub> ) | Decreto 8.123/2007                                 |
| Santa Catarina                     | Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHESC) | Lei nº 9.748/1994                                       | 50% da Q <sub>98</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Portaria SDS nº 36/2008                            |
| <sup>(1)</sup> São Paulo           | Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE)                                   | Lei 7.663/1991                                          | 50% da Q <sub>7,10</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Lei nº 9.034/94                                    |

Fonte: <sup>(1)</sup> ANA - Caderno de Recursos Hídricos (2005); <sup>(2)</sup> ALMEIDA (2017).

Tabela 1 - Critérios de outorga adotados para captação de águas superficiais em unidades da federação brasileira. (conclusão)

| Unidade da federação   | Órgão gestor                                                   | Legislação que institui a política de recursos hídricos | Vazão máxima outorgável em cursos d'água superficiais                                                    | Legislação referente a vazão máxima outorgável |
|------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <sup>(2)</sup> Sergipe | Secretaria de Estado do Planejamento de Sergipe (SEPLANTEC/SE) | Lei n° 3.870/1997                                       | 90% da $Q_{90}$                                                                                          | Resolução CONERH n° 01/2001                    |
|                        |                                                                |                                                         | Máximo de 30% da $Q_{90}$ para cada usuário individual                                                   |                                                |
|                        |                                                                |                                                         | 10% da $Q_{90}$ a jusante para derivações ou captações de corpo hídrico superficial para vazão ambiental |                                                |
| Tocantins              | Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS)                   | Lei n° 1.307/2002                                       | 75% da $Q_{90}$                                                                                          | Decreto Estadual n° 2.432/2005                 |

Fonte: <sup>(1)</sup> ANA - Caderno de Recursos Hídricos (2005); <sup>(2)</sup> ALMEIDA (2017).

O Estado de Santa Catarina, por meio da Portaria SDS n° 36, de 29 de julho de 2008, estabeleceu os critérios de natureza técnica para outorga de direito de uso de recursos hídricos para captação de água superficial em rios de domínio do Estado. Em seu artigo 2º, é determinado que para a análise de disponibilidade hídrica para captação ou derivação de cursos d'água de seu domínio, fica adotada como vazão mínima de referência a  $Q_{98}$  (vazão de permanência por 98% do tempo), sendo a vazão outorgável equivalente a 50% da  $Q_{98}$ . (SDS, 2008a). O uso deste critério pode dificultar, em alguns períodos, o deferimento de processos em que ainda há grande disponibilidade hídrica.

Na bacia do rio Araranguá, o plano de recursos hídricos definiu como vazão de referência a  $Q_{90}$  (anual) (com 90% permanência), sendo outorgável 50% da  $Q_{90}$  anual. (PRHBRA, 2015). No entanto, existem muitos conflitos entre usuários de água, carecendo, portanto, da necessidade em definir novas vazões de referência sazonal buscando com isso minimizar os conflitos existentes e maximizar o uso da água.

Ao analisar uma solicitação de outorga, são consideradas as prioridades de uso estabelecidas no plano de recursos hídricos. A correta aplicação do instrumento da outorga, mais do que um ato de regularização ambiental, se destina a disciplinar a demanda crescente das águas superficiais e subterrâneas entre os diversos usos concorrentes e ainda indicar aos usuários a necessidade da adoção de práticas modernas e conservacionistas de manejo.



## 1.2 DISPONIBILIDADE HÍDRICA E OUTORGA

### 1.2.1 A variável hidrológica vazão

O estabelecimento de uma boa rede hidrológica e a sua manutenção ininterrupta são peças fundamentais na condução de estudos hidrológicos, uma vez que a precisão das estimativas de variáveis hidrológicas depende da disponibilidade de dados primários confiáveis. (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Cupak (2017), a vazão é um parâmetro necessário para a realização de estudos voltados à gestão de recursos hídricos e que se constitui pelo volume de água que passa, por unidade de tempo, em uma determinada seção transversal do corpo hídrico. Arnold et al. (1998) descrevem que a vazão é o processo base para realização da calibração de um modelo hidrológico, pois é componente do balanço hídrico na fase terrestre.

Tucci (2002); Oliveira (2008) relatam em seus trabalhos que a vazão pode ser estudada em termos de sua probabilidade de ocorrência e de períodos de retorno devido a sua variação natural no decurso do tempo, destacando-se as vazões máximas, médias e mínimas.

Nesse sentido, a vazão máxima é entendida como o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. (TUCCI; SILVEIRA, 2015). Ela é utilizada na previsão e controle de enchentes numa determinada área e no dimensionamento de obras hidráulicas, tais como, condutos, canais, bueiros e galerias pluviais. (MATIAS, 2018). Vale salientar que a estimativa dessa vazão tem importância decisiva nos custos e na segurança de projetos de engenharia.

A estimativa de vazões máximas associadas a um determinado risco de ocorrência é importante para a determinação de áreas sujeitas à inundação. (EUCLYDES et al., 2001; BACK et al., 2023). Nessa mesma linha, Merz et al. (2010) apresentam que a estimativa adequada da magnitude e frequência dos eventos hidrológicos máximos é um fator limitante na viabilidade econômica de projetos de estruturas hidráulicas e gestão de recursos hídricos. Portanto, pode-se dizer que a regionalização da vazão máxima envolve a estimativa da curva de probabilidade para locais sem dados ou com dados escassos.

Oliveira (2008) descreve que a vazão média de longa duração corresponde à máxima vazão possível de ser regularizada, desconsiderando as perdas por evaporação e infiltração, sendo que esta permite quantificar a disponibilidade de água e volume regularizado na bacia hidrográfica.

O conhecimento das vazões de referência em bacias hidrográficas é incontornável em estudos de disponibilidade hídrica, pois estão vinculadas a períodos críticos de oferta de água

pelo curso d'água que condiciona a demanda, uma vez que são as vazões de referência que caracterizam a garantia de água nos mananciais. (SANTOS; CUNHA, 2013). Quando se trata da efetividade da implantação do instrumento de outorga, faz-se necessário o conhecimento do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, especialmente na determinação das vazões de referência ao processo decisório. (FIOREZE; OLIVEIRA, 2010).

Pruski et al. (2015) descrevem que o conhecimento da disponibilidade hídrica natural, caracterizada pelas vazões mínimas, é essencial para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. O termo “vazão mínima” foi definido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) em 1974 como “a vazão que escoar em uma determinada seção de um rio durante um período prolongado de seca”. Tucci (2002); Gasques et al. (2018) apresentam em seus estudos que a vazão mínima diária é pouco útil por não ser representativa do período de estiagem. Assim, usualmente se utilizam vazões mínimas com durações médias entre sete e 30 dias associadas a um determinado período de retorno.

As vazões mínimas são aquelas que ocorrem nos períodos de estiagem pelo esgotamento de reservas do subsolo que afloram nas fontes e nos talvegues dos cursos d'água. Podem ser consideradas como variáveis aleatórias nas quais se aplicam técnicas estatísticas para avaliar sua probabilidade de ocorrência determinada pelo seu valor, duração e probabilidade de ocorrência.

A determinação da vazão mínima, segundo Tucci (2002); Oliveira (2008); Rego (2013); Lisboa et al. (2014), caracterizada pela duração, magnitude e frequência, é utilizada na avaliação da disponibilidade hídrica, na elaboração de projetos de irrigação e de energia, além da concessão de uso da água para uma dada finalidade. Todavia, Almeida; Curri (2016) relatam que as vazões mínimas são as mais aplicadas como vazão de referência, pois são vazões de elevada permanência no tempo, calculadas de forma estatística a partir de dados históricos de estações fluviométricas, sendo que as mais empregadas são as  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ , comumente adotadas pelos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil. (SANTOS et al., 2006).

As vazões mínimas adotadas para concessão de outorgas nas licenças ambientais e na avaliação de impacto ambiental de obras hidráulicas, segundo Silva et al. (2006); Santos et al. (2006); Oliveira (2008); Rego (2013); Luiz et al. (2013); Lisboa et al. (2014); Pruski et al. (2015) são:  $Q_{90}$ ;  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ , sendo a  $Q_{7,10}$  o menor valor da vazão média de sete dias de duração em um período de retorno de 10 anos. Para Reis et al. (2008), a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  são os menores valores de vazão que ocorrem, respectivamente, em 90% ou 95% do tempo. Em outras palavras, representa uma “garantia” de que um determinado valor de vazão esteja presente em 90% ou 95% do tempo em uma determinada seção do curso d'água. Enquanto a  $Q_{7,10}$  indica uma

situação de estado mínimo, ou seja, a cada dez anos, em média, espera-se que ocorra sete dias seguidos com essa vazão mínima. Portanto, a  $Q_{7,10}$  reflete uma situação crítica de escassez, sendo normalmente adotada como referência em projetos de captação para abastecimento público, haja visto que a sua adoção praticamente eliminaria o risco de suspensão dos usos outorgados na bacia.

A adoção de uma vazão mínima anual nos critérios de outorga, segundo Silva et al. (2011), pode se tornar restritiva em bacias com elevada demanda do recurso (em períodos chuvosos) e insuficiente à manutenção do meio biótico (em períodos de escassez). Essa situação é encontrada na bacia do rio Araranguá, uma vez que os conflitos entre os usuários de água são intensificados no período de manejo da cultura de arroz irrigado. (PRHBRA, 2014a). O Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá sugere a necessidade de se evoluir nos critérios de outorga com estudos aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização das vazões ou a adoção de novas vazões de referência.

Na literatura, vários trabalhos têm avaliado a sazonalidade nas vazões de referência para estimativa de vazões mínimas. (CATALUNHA, 2004; MARQUES, 2006; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2015). Os resultados dos trabalhos destes autores revelaram que a utilização do período trimestral para determinação de vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga. Marques (2006) trabalhou com vazões mínimas de referência ( $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{7,10}$ ) para períodos mensal, bimestral, trimestral e anual. Ele identificou no período mais chuvoso e sazonalidade trimestral (janeiro-fevereiro e março) um aumento de até 89% e uma redução de até 15% no trimestre mais seco (julho-agosto-setembro). Silva et al. (2011), considerando a sazonalidade trimestral para disponibilidade hídrica, verificaram aumento de vazão outorgável de 379% (primeiro trimestre), 174,5% (segundo trimestre), 36,1% (terceiro trimestre) e 14,7% (quarto trimestre).

Na bacia do rio Paraopeba, Silva et al. (2015) evidenciaram diferenças relativas expressivas entre as vazões mínimas de referência sazonais e as de base anual, nos quadrimestres normal e chuvoso e no semestre chuvoso. O uso de critérios baseados no comportamento hídrico sazonal potencializou melhor a utilização da água, flexibilizando as vazões outorgáveis na bacia, permitindo maior uso de água no período em que há disponibilidade e restringindo no período crítico.

Dessa forma, em seus trabalhos publicados, muitos autores sugerem considerar a sazonalidade no estabelecimento das vazões mínimas de referência e apontam como um dos ganhos a diminuição da pressão pela captação e alocação da água nos períodos com maior

disponibilidade hídrica. (CRUZ, 2001; CATALUNHA, 2004; EUCLYDES et al., 2006; MARQUES et al., 2006; SILVA et al., 2011; SILVA et al., 2015).

### **1.2.2 Vazão de outorga qualitativa**

O aumento da população mundial e a constante intervenção antrópica no meio ambiente alteram a cada dia a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, fazendo com que elas recebam elevadas descargas poluidoras, o que degrada cada vez mais os escassos recursos hídricos. (FONSECA; SALVADOR, 2005; RODRIGUES et al., 2009).

Brierley (2010) enfatiza que a qualidade das águas é reflexo das múltiplas atividades e processos ocorrentes em escala de bacias hidrográficas, incluindo processos geomorfológicos, climáticos, vegetação e usos antropogênicos da terra. No Brasil, a qualidade das águas tem sido prejudicada com a expansão urbana, já que nem todos os municípios possuem um sistema de tratamento de esgoto adequado (BAUCKE et al., 2016), uma vez que apenas a metade da população possui algum tipo de tratamento de esgoto. (VON-SPERLING, 2016).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, representa um grande avanço na área de gestão de recursos hídricos, já que consegue promover no plano legal a conciliação dos instrumentos de gestão principalmente no que diz respeito ao enquadramento, metas, objetivos e lançamento de efluentes. (BRASIL, 2005). Ela permite que as ações necessárias ao alcance dos objetivos finais estabelecidos no enquadramento sejam implantadas de forma gradativa, o que possibilita a avaliação continuada da qualidade da água e da eficácia das ações por meio de metas de curto e de médio prazo.

Ainda segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005), devem ser selecionados parâmetros prioritários para o enquadramento, enquanto as metas de qualidade da água devem ser atingidas em regime de vazão de referência, excetuados os casos em que a determinação hidrológica dessa vazão não seja possível (ex.: reservatórios). Para Melo (2006), essa resolução flexibiliza a maneira de escolha da vazão de referência, anteriormente fixada como a  $Q_{7,10}$ , e permite que estudos possam ser feitos em função da realidade local e das prioridades estabelecidas nos planos de bacias.

Portanto, o enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes flexibiliza a junção entre a gestão da quantidade e da qualidade da água assegurando, assim, água com qualidade compatível aos usos mais exigentes da bacia. (RODRIGUES; SILVA, 2007). Para os autores, a outorga de direito de uso de recursos hídricos tem como objetivos

assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água associado a uma garantia.

Para que os processos de outorga e cobrança pelo uso da água sejam geridos em quantidade e qualidade (RODRIGUES; SILVA, 2007), faz-se necessário considerar de forma articulada o enquadramento em classes de uso preponderante, o regime de vazões e a capacidade de autodepuração do corpo hídrico, tudo isto diante do cenário real da bacia hidrográfica. Para estes autores, existe a necessidade de se trabalhar com um modelo de qualidade da água que possibilite a entrada de dados de qualidade e quantidade da água simultaneamente.

Nesse aspecto, Tucci (1998) descreve que os modelos matemáticos são técnicas que podem representar alternativas propostas e simular condições reais que poderiam ocorrer dentro de um limite de incertezas inerentes ao conhecimento científico. Os modelos se tornam uma ferramenta importante para extrapolar as informações no curto prazo para outras escalas temporais e podem variar de simples aplicações a modelos mais complexos que necessitam de um grande número de dados de entrada. (SCARIOT, 2008).

Os modelos de qualidade de água usualmente utilizados em rios são unidimensionais, pois simulam processos considerando somente uma direção no espaço e representam o escoamento através da velocidade média na seção transversal, desprezando as variações vertical e transversal. (TUCCI, 1998).

Streeter e Phelps (1925) apresentaram o modelo de qualidade em rios considerando o escoamento permanente uniforme e representando os parâmetros DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e OD (Oxigênio Dissolvido), considerando somente o efeito advectivo do transporte de massa e a fase carbonácea de consumo de oxigênio na água, desprezando, portanto, a demanda pela camada bentônica e as reações constituintes.

O modelo de Streeter-Phelps pressupõe mistura imediata (GOMES; SIMÕES, 2014), portanto, as concentrações de mistura do OD e da DBO são alcançadas pelo balanço de massa. Embora esse modelo apresente limitações advindas dessas misturas, como: i) pressuposto de mistura imediata; ii) descon sideração da dispersão; iii) descon sideração das características hidráulicas do corpo hídrico; iv) só considera a decomposição aeróbia; v) não inclui a reoxigenação pela fotossíntese; vi) não inclui a sedimentação da matéria orgânica; e vii) não inclui a demanda pela camada bentônica (RODRIGUES, 2005), é ainda largamente utilizado por pesquisadores na área da engenharia ambiental e sanitária, servindo de suporte a outros modelos mais robustos que se sucederam. (VON SPERLING, 1998).

Azevedo; Porto e Porto (1998) relatam que um modelo de simulação de qualidade da água superficial amplamente utilizado e aceito é o QUAL2E, desenvolvido pela Agência Norte Americana de Meio Ambiente (EPA). Esse modelo é bastante completo e versátil, permitindo simular até 15 variáveis de qualidade da água (GOMES; SIMÕES, 2014): DBO, OD, temperatura, alga (clorofila a), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico, fósforo inorgânico dissolvido, coliformes, variável não-conservativa arbitrária e três variáveis conservativas arbitrárias.

O QUAL2E utiliza o método das diferenças finitas para a solução da equação unidimensional do transporte (advecção e dispersão) e de reação dos constituintes. (GOMES; SIMÕES, 2014). Permite, ainda, a incorporação de descargas pontuais, tributários, captações e de incrementos de vazão e poluentes relacionados às fontes difusas. (USEPA, 1987). Pode ser utilizado em regime permanente ou não permanente (AZEVEDO; PORTO; PORTO, 1998), sendo desenvolvido para auxiliar o processo de planejamento e gerenciamento de qualidade de água em uma rede de drenagem, sendo largamente utilizado por pesquisadores de todo o mundo com centenas de trabalhos publicados.

Dessa forma, o processo de outorga qualitativa constitui um uso não-consuntivo, que preserva um volume de água que ficará no rio, mas indisponível para outros usos consuntivos. (CRUZ, 2001). Assim, pode ser considerada, nos cálculos de balanço hídrico, como um uso consuntivo.

Lisboa (2014) descreve que a emissão de outorgas de diluição deve respeitar a classe de enquadramento do curso d'água por meio de limites para parâmetros de qualidade das águas, como DBO, concentrações de fósforo e nitrogênio, de forma que esse padrão seja respeitado mesmo após as diluições dos efluentes.

Cruz (2001) enfatiza que existem algumas dificuldades operacionais na gestão da qualidade da água no Brasil, pois nem todos os parâmetros de qualidade seguem uma mesma linha de tendência. Em períodos de cheia, por exemplo, as variações da qualidade da água são mais significativas, pois são adicionadas as contribuições dos escoamentos superficiais e subsuperficiais, onde uma variável de poluentes é incorporada ao longo do deslocamento da água pelo solo. Segundo a autora, o pico da concentração do poluente não ocorre na seção de lançamento, mas a jusante.

Esse fator deve ser considerado no processo de emissão de outorga de superfície, uma vez que é necessário conhecer os trechos dos rios com maior concentração de poluentes, haja visto que ao longo do rio, possivelmente, outros lançamentos serão outorgados bem como outorgas de retiradas de águas.

Piazi et al. (2018) verificaram que a modalidade de outorga de lançamento de efluentes nas bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais trata-se de um processo relativamente recente e pouco aplicado. Os autores analisaram a relação entre a qualidade das águas e as outorgas superficiais emitidas no trecho alto da bacia do médio Rio das Velhas. Utilizando uma matriz de atribuição, foram relacionados a qualidade da água por meio do parâmetro DBO e a quantidade de água em diversos cenários. Os autores verificaram que em locais com mais concessões de outorga apresentam piores níveis de qualidade das águas, demonstrando situações de exploração intensiva dos recursos hídricos e áreas potenciais de conflitos entre usos e usuários na bacia.

Vale ressaltar que excetuando-se o procedimento de outorga de lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, com o fim de diluição pelos estabelecimentos industriais e concessionárias de saneamento distribuídos em alguns estados brasileiros, poucos estudos e pesquisas que tratam da utilização da qualidade da água como critério para emissão de outorga de uso de água são encontrados na literatura. Notadamente, se verifica em larga escala a adoção do critério de disponibilidade por meio de vazões mínimas de referência.

Portanto, as considerações acima descritas evidenciam que a questão da emissão de outorga qualitativa é muito pouco estudada e aplicada, sendo bastante complexa, especialmente na avaliação das cargas poluidoras nos trechos de referência de um curso de água. Assim, esse assunto carece de novas pesquisas para nortear o estabelecimento de parâmetros analíticos da legislação vigente com intuito de gerir melhor os recursos hídricos.

Embora os critérios de outorga quantitativa sejam naturalmente diferentes da outorga qualitativa, nessa pesquisa, buscar-se-á estudar e analisar a relação entre esses dois critérios, sendo um dos desafios desta pesquisa de tese.

### 1.3 SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

O termo “sistema de suporte à decisão - SSD, ou sistema de apoio a decisão - SAD”, tem sido amplamente usado no contexto de recursos hídricos para denominar ferramentas computacionais que representam, de alguma forma, cenários para auxiliar na tomada de decisão quanto a problemas de gerenciamento de recursos hídricos. (BRAGA; GHELLRE, 1998; PEREIRA, et al., 2012; COLLISCHONN, 2014; ALMEIDA, 2017; SILVA, 2021).

A tomada de decisão envolvendo problemas de gerenciamento de recursos hídricos é bastante complexa. A eficácia dos SSD decorre de vários decisores envolvidos no processo, a

qualidade de informações disponíveis, a inclusão de critérios, entre outros fatores. (RAMOS, 2005; SANTOS, 2009; CARVALHO, 2013; GARCIA et al., 2018). Em geral, dentro do processo de decisão, são estabelecidos conflitos de interesse a partir de distintas opiniões dos decisores, sejam estas de ordem econômica, ambiental, política, social e legal. (CARVALHO et al., 2013).

Os problemas de decisão, segundo Silva (2016) normalmente envolvem um grande conjunto de alternativas múltiplas, viáveis e conflitantes; e critérios de difícil avaliação. Assim, as alternativas são geralmente avaliadas por um número de indivíduos (tomadores de decisão), que são normalmente caracterizados pela preferência em relação à importância relativa dos critérios com base em que as alternativas são avaliadas. As decisões e alternativas podem ser avaliadas e ordenadas de acordo com sua conveniência.

Silva et al. (2017) colocam que os Estados brasileiros e a União adotam metodologias distintas na avaliação de pedidos de outorga de água. Alguns estados da federação têm adotado metodologias de SSD para auxiliar na avaliação do pleito de outorga. Heinzle et al. (2010) destacam que os SSD possibilitam gerar cenários permitindo comparar, analisar, simular e apoiar a seleção de alternativas. Kharabsheh et al. (2019) enfatizam que os SSD têm sido usados na gestão de recursos hídricos por serem capazes de capturar os diferentes fatores que influenciam nas decisões relacionadas a uma tarefa tão complexa.

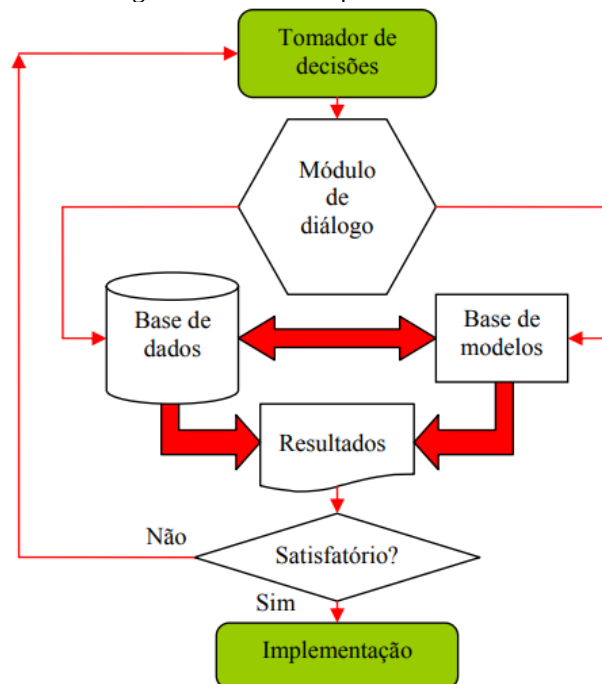
Um marco para teoria da decisão, segundo Tsoukias (2008), ocorreu em 1976, quando os autores Keeney e Raiffa publicaram um livro registrando a teoria da decisão com a presença de múltiplos critérios. A partir desta data, outros métodos foram surgindo com intuito na resolução de problemas de decisão de múltiplos critérios com abordagens diferenciadas.

Mckinney (2004) coloca que a gestão de recursos hídricos utiliza, basicamente, quatro técnicas para análise e à tomada de decisão: Sistema de Informação Geográfica, modelos de Simulação e Otimização, sistemas Especialistas e análise Multiobjetivo. No trabalho de Zorzal (2009), o SSD é considerado uma metodologia computacional que permite conduzir a solução de problemas de gerenciamento de recursos hídricos de forma mais rápida e eficiente, auxiliando os tomadores de decisão a refletirem sobre seus problemas de forma mais clara e objetiva.

Braga; Ghellre (1998); Zorzal (2009) consideram que o SSD é constituído por três componentes: diálogo, dados e modelos. O diálogo é a interface entre o usuário e o sistema, os dados servem de suporte ao sistema e os modelos proporcionam os recursos para análises. Na Figura 1 consta a representação dos componentes de um SSD.



Figura 1 - Estrutura típica de um SSD.



Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004) *apud* por Zorzal (2009).

Azevedo et al. (2003), Schwab (2016) e Silva et al. (2021) descrevem que na aplicação em processos de outorgas, os SSD têm capacidade de automatizar as etapas da análise, onde se observa a transformação das relações entre as pessoas e os meios de produção e o papel do capital humano totalmente integrados com a tecnologia. Esses autores apresentaram metodologia sobre a concepção dos SSD, em que seus componentes principais são uma base de dados, modelos matemáticos e a interface de diálogo entre o usuário e o computador.

Portanto, o SSD tem se considerado como uma excelente ferramenta ao gerenciamento de recursos hídricos, pois leva em consideração na sua aplicação diferentes indicadores para cada critério avaliado. (MCKINNEY, 2004; SILVINO, 2008; CARVALHO et al., 2013). Essa ação permite alcançar uma solução ótima ao problema em questão considerando a maximização de benefícios socioeconômicos e a minimização de danos ambientais e sociais.

Na escala de bacia hidrográfica (MCKINNEY, 2004), um SSD tem de cumprir requisitos tais como:

- Integrar fatores físicos e políticos em um sistema que possa se adaptar às características socioeconômicas, ambientais, ecológicas e legais da bacia;
- Considerar a distribuição espacial e temporal de disponibilidade da água, assim como a de poluentes ambientais;
- Avaliar os benefícios econômicos na bacia;
- Incorporar instrumentos de políticas de gestão da água.

Todavia, os autores Azevedo et al. (2003); Alexandre et al. (2003) avaliam que a utilização de SSD como auxílio à decisão em relação ao instrumento da outorga pelo uso da água pode contribuir para entender melhor o comportamento dos corpos de água quanto aos aspectos de quantidade e qualidade.

### **1.3.1 Análise multicriterial no gerenciamento dos recursos hídricos**

Os métodos de análise multicritério tiveram o seu desenvolvimento mais significativo na década de 60, onde surgiram várias escolas de pesquisadores com diferentes técnicas e modos de apoio à decisão. (GONÇALVES et al., 2003; SILVA, 2016). Os métodos multicritério avaliam as ações considerando um conjunto de critérios, onde cada um com função matemática específica mede o desempenho das ações em relação a um determinado aspecto. (ENSSLIN et al., 2001 apud RAMOS, 2005).

A análise multicriterial pode incluir aspectos que promovem uma distribuição mais justa no processo de alocação de água quando considera critérios que fortalecem a equidade, a eficiência e a sustentabilidade, minimizando conflitos. (ALMEIDA, 2017). Tal ferramenta de análise multicritério vem sendo utilizada na resolução de problemas que envolvem o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. (SILVA, 2016).

O desenvolvimento das metodologias de análise multicriterial apresentou um crescimento significativo na década de 1970 por meio de duas escolas (VIERIA et al., 2015; ALMEIDA, 2017): a Escola Americana, também conhecida como a Multiple Attribute Utility Theory (MAUT), responsável pelas metodologias multicriteriais que segue a corrente do pensamento racionalista, e a Escola Europeia ou Francesa, que desenvolveu metodologias de apoio à decisão com base no construtivismo.

Ramos (2005) descreve que os métodos para análise multicriterial avaliam um conjunto de critérios em que cada um deles pertence a uma função matemática que, por sua vez, mede o desempenho das alternativas com relação a determinado aspecto. O autor desenvolveu um modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul, em Santa Catarina. Matzenauer (2003), utilizou nos seus trabalhos um método multicritério construtivo de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul. Na Paraíba, Monte (2013), aplicou o método multicriterial e multidecisor, baseado em relações não hierárquicas do Promethee II, para realizar uma análise comparativa do desempenho de pequenos açudes à montante do açude de Sumé.

Embora existam vários métodos em análise multicriterial e com diferentes características, de forma geral, estes estão classificados, segundo a Escola Americana, de acordo com as técnicas de resolução do problema. (ZUFFO et al., 2002). Elas apresentam características em comum (SILVINO, 2008): todas as alternativas são comparáveis; presunção de transitividade na relação de preferência (p) e de indiferença (q) e a construção de uma função síntese, que tem por objetivo agrupar os múltiplos critérios em um único critério.

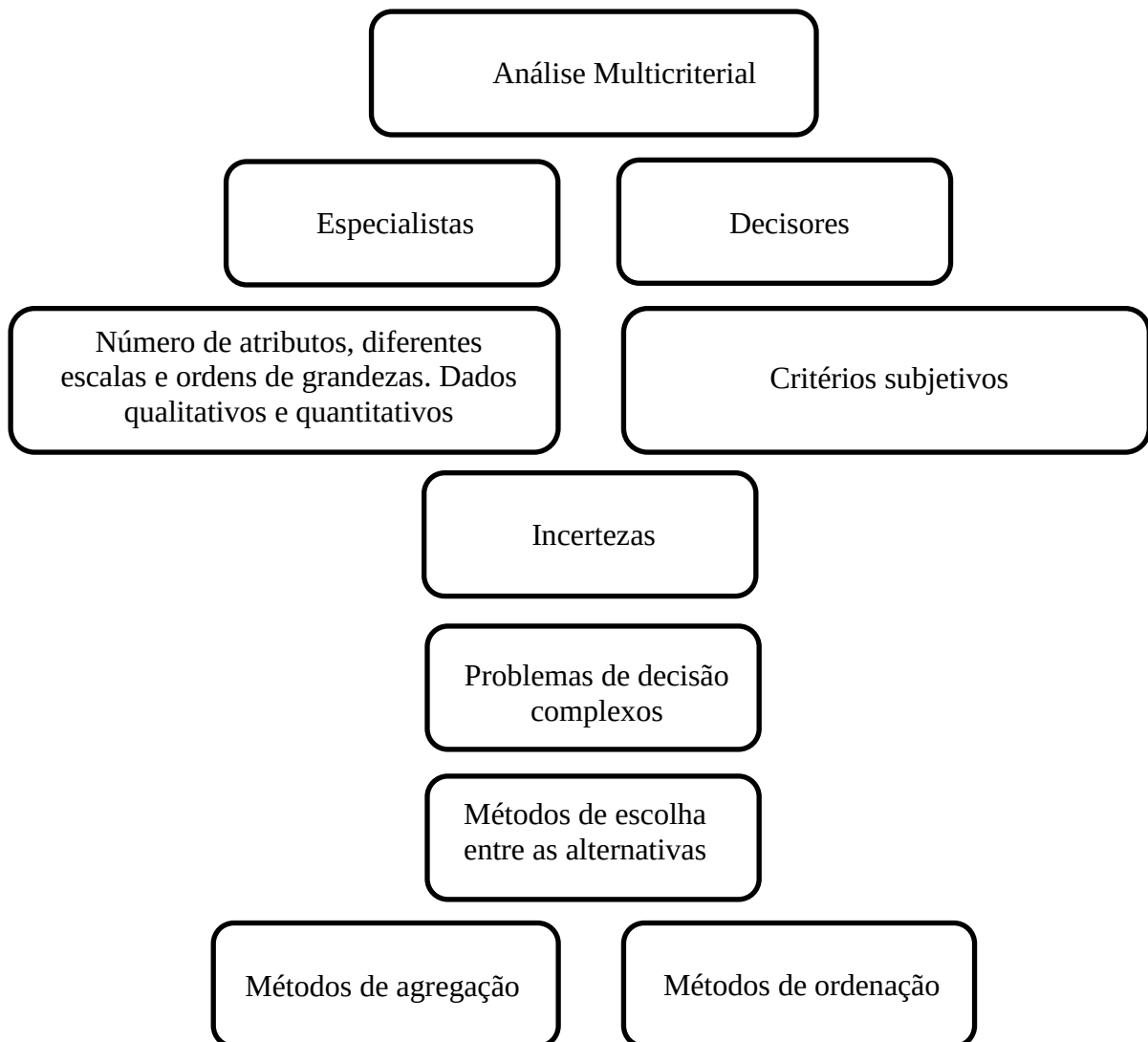
A Escola Europeia costuma classificá-los segundo o tipo de agregação. (ZUFFO et al., 2002). Dessa forma, ela se diferencia da corrente americana quanto ao caráter do uso e ao conceito dos métodos multicriteriais, passando a denominar essas ferramentas como “Métodos Multicriteriais de Auxílio à Decisão”. Ela busca solucionar com o melhor compromisso, não apenas adotando a solução mais racional como trabalha a vertente da Escola Americana.

Neste aspecto, e para lidar com problemas que envolvem vários objetivos simultâneos, os métodos multicriteriais de apoio à decisão “procuram ir ao encontro de uma perspectiva holística, agregando toda a informação disponível, incluindo a de natureza subjetiva”. (RANGEL, et al., 2009, p. 579).

Os objetivos da análise multicriterial concentram-se basicamente em estruturar o problema e no processo de escolha entre duas ou mais alternativas de decisão. (CARVALHO, 2013). Nesse aspecto, os maiores desafios na estruturação do problema estão na representação e organização formalizada do problema para aprendizagem, análise, discussão e busca da solução. Enquanto que na escolha entre duas ou mais alternativas, podem surgir situações distintas, gerando alguns problemas, como por exemplo: levar em consideração diferentes critérios; existir vários decisores e diferentes opiniões; incorporar os valores dos decisores; usar dados qualitativos ou quantitativos (até com diferentes ordens de grandeza); pode-se ter mais de uma solução ótima.

A Figura 2 traz a sequência dos passos para a análise multicriterial proposta por Curi e Curi (2010) apud Carvalho (2013).

Figura 2 - Estrutura sequencial para análise multicriterial.



Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

### 1.3.2 Experiências no uso de SSD em outorga de uso de água

De maneira geral, os SSD visam o planejamento e otimização para gestão de recursos hídricos (ANDREU et al., 1996; MYSLAKA et al., 2005), políticas de operação de sistemas de reservatórios de abastecimento (WURBS, 2005), bem como aos setores usuários de irrigação ou saneamento básico. (ZENG et al., 2012).

Na literatura, são poucos os trabalhos que utilizaram SSD para gestão de recursos hídricos. Pode-se destacar o Water Rights Analysis Package (WRPA), descrito por Wurbs (2001), que vêm sendo utilizado pelo órgão gestor de recursos hídricos no Estado do Texas, EUA. Esse sistema simula o cenário de outorga de direito de uso de água na bacia considerando séries históricas de vazão, mensurando tanto a frequência de desatendimento a um dado uso, quanto ao somatório de vazões não integradas.

Na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul (RS), Ramos (2005) formulou um modelo multicritério utilizando uma abordagem construtivista para avaliar potenciais candidatos a receberem a outorga de uso da água. O autor concluiu que o modelo construído pode dar suporte à tomada de decisão pelo poder público em relação às solicitações de outorga.

Barbosa (2008) utilizou o método Promethee e analisou a influência que o uso de métodos multicriteriais tem no procedimento da concessão de outorga de uso da água para escolha da melhor ordem de prioridades de atendimento às demandas hídricas do Sistema Curema - Mãe D'Água, na Paraíba.

Estudos realizados por Rodrigues et al. (2011) objetivaram aplicar um modelo linear de otimização para analisar a possibilidade de concessão ou não de vazão para outorga utilizando o conceito de sub-bacias de contribuições individuais por reservatório. A área de estudo foi a bacia do rio Piancó, na Paraíba. Tanto os pedidos de outorgas com vazões constantes quanto variáveis mensalmente foram considerados no estudo.

Mutikanga, Sharma e Vairavamoorthy (2011) utilizaram o método Promethee II para reduzir perdas na distribuição de água na cidade de Kampala, em Uganda. O estudo considera as preferências dos tomadores de decisão e adota critérios de avaliação caracterizados por aspectos econômico-financeiro, ambiental, de saúde pública, impactos técnicos e sociais. Os resultados indicaram que a teoria da decisão associada com as técnicas de pesquisa operacional pode ser aplicada na prática para solucionar a complexidade dos problemas de gerenciamento de recursos hídricos.

No trabalho de Pereira et al. (2012) propôs-se uma forma de facilitar a análise de pedidos de outorga de direito de uso da água na bacia do rio dos Sinos, no Rio Grande do Sul. Realizou-se a integração entre o Sistema de Informação Geográfica - SIG e a modelagem hidrológica utilizando o *software* ArcGis através das ferramentas ArcHydro. Já o cálculo da disponibilidade hídrica foi determinado pelo modelo chuva-vazão através do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias - MGB-IPH. Dessa forma, os autores descrevem que uma alternativa interessante para agilizar o processo de análise de pedidos de outorga é a utilização de SSD.

Roobahani, Zahraie e Tabesh (2012) desenvolveram um estudo no sistema de abastecimento de água em Melbourne, na Austrália, com intuito de avaliar um conjunto de regras de funcionamento em relação a oito critérios avaliados. Os resultados encontrados se mostraram mais alinhados a realidade local.

No trabalho de Silvino et al. (2013) foram aplicadas quatro abordagens de agregação de preferências de múltiplos decisores a um exemplo hipotético de ordenamento de prioridades

de pedidos de outorga de água de quatro usuários segundo a avaliação de nove critérios estruturados hierarquicamente por sete especialistas da área de recursos hídricos. O modelo VIP-Analysis foi utilizado para tratar com a indefinição dos pesos do problema, quando se considera apenas a ordem de preferência dos critérios. Os autores identificaram a necessidade de definir com os decisores a abordagem que melhor representa o pensamento do grupo. Concluíram que o trabalho pode fornecer um arcabouço matemático aos problemas hierárquicos e multi-decisores, uma vez que a aplicação somente é feita através de processo de negociação.

Carvalho et al. (2013) desenvolveram uma metodologia baseada na análise multicriterial e multidecisor composta por indicadores de gestão dos recursos hídricos sistematicamente estruturados para medir a performance dos municípios da bacia hidrográfica. O modelo foi desenvolvido em oito etapas e composto por quarenta indicadores distribuídos em seis dimensões. Empregou-se os métodos multicritério Promethee II e multidecisor de COPELAND para definir uma escala de avaliação das condições da gestão dos recursos hídricos nos municípios na região do médio curso de água do rio Paraíba, no Estado da Paraíba.

Salla et al. (2014) realizaram um planejamento e gerenciamento das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, MG, integrando a quantidade e qualidade de água. Foi utilizada a ferramenta computacional AQUATOOL (ANDREU et al., 1996) como SSD na escala da bacia. Essa ferramenta tem uma interface para a edição, simulação, revisão e análise de modelo de simulação de gestão de bacias hidrográficas, incluindo o módulo de simulação da qualidade da água em ambientes lênticos e lóticos, muito útil e adotado em países da Europa, África, Ásia e América Latina. (PAREDES-ARQUIOLA et al., 2010).

Julian et al. (2015) desenvolveram e aplicaram um SDD para gerenciamento de reservatórios para avaliar a planície de inundação e os benefícios e compensações socioeconômicas das alternativas de manejo de reservatórios na bacia hidrográfica do rio Connecticut nos Estados Unidos. Este sistema foi desenvolvido em uma associação entre The Nature Conservancy (TNC) e o Exército dos EUA no Projeto de Rios Sustentáveis do Corpo de Engenheiros (USACE).

Garcia et al. (2018) propuseram um avanço no modelo de SDD com objetivo de identificar os melhores locais para se investir em tratamento de efluentes, minimizando custos para implantação e maximizando os usos quantitativos. Esta solução é obtida com a geração de cenários de otimização do uso da água para a bacia ao integrar a análise quantitativa à qualitativa, custos de implantação de soluções de descontaminação e critérios estabelecidos para o uso da água.

Por fim, Silva et al. (2021) propuseram uma atualização do SSD para outorga de recursos hídricos superficiais utilizado no estado da Bahia, incluindo uma estratégia de mapeamento e proposição de melhorias ao processo de análise técnica de outorga. Para tanto, utilizou-se a abordagem Business Process Management (BPM).

#### 1.3.2.1 Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos e Sistema de Suporte a Decisão do Estado de Santa Catarina

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) por meio da Lei Estadual n. 9748/1994 de Santa Catarina trata sobre a implantação da cobrança pelo uso da água de forma gradativa, devendo ser implantados: programa de comunicação social, a implantação de um sistema de informações hidrometeorológicas e de cadastro de usuários de água e um sistema integrado de outorga do uso da água compatibilizado com sistemas correlacionados de licenciamento ambiental. (SANTA CATARINA, 1994).

A Lei Estadual nº 15.249/2010, que dispõem sobre a instituição, estruturação e organização do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos de Santa Catarina, é atribuída a competência às Agências de Bacia Hidrográfica (ABH) da gestão do sistema de informações sobre recursos hídricos em sua área de atuação. O Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina (SIRHESC) é administrado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE) e tem como princípios básicos de funcionamento a descentralização da obtenção e produção de dados, a coordenação unificada do sistema e o acesso à informação. (SANTA CATARINA, 2010).

No portal de informações do SIRHESC do estado de Santa Catarina é possível ter acesso às informações de diferentes sites de entes do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, tais como: Órgão gestor; Conselho Estadual de Recursos Hídricos e suas câmaras técnicas; Comitês de Bacias e suas câmaras técnicas; Agências de Bacias (entidades executivas). O Portal do SIRHESC busca ser ponto de referência para a gestão de recursos hídricos do estado; une os sites de todos os comitês de bacia do estado em um único lugar; divulga notícias e agenda das instituições do sistema de gerenciamento; dá maior visibilidade para as informações dos comitês.

No portal SRIHESC, o processo de solicitação da outorga foi recentemente aprimorado adotando-se o sistema de outorga denominado pela sigla SIOUT (Sistema de Outorgas de Águas de Santa Catarina), por meio da Secretaria Executiva do Meio Ambiente (SEMA), integrada a SDE. No portal do SIOUT, o sistema está permitindo a emissão de algumas outorgas

de forma autodeclarada em um sistema on-line. No SIOUT os casos de usos insignificantes e demais situações de dispensa de outorga já são emitidas pelo próprio sistema, sem a necessidade de validação de um técnico.

O SIOUT de Santa Catarina procurou modernizar e aperfeiçoar o gerenciamento das concessões e administração de atos inerentes às outorgas de uso de água, por meio de ferramentas inteligentes que exploram as informações relativas ao uso dos recursos hídricos de forma eletrônica. Para iniciar o processo o interessado deverá cadastrar o uso da água no Sistema de Outorgas de Águas de Santa Catarina no site <http://siout.aguas.sc.gov.br>. No módulo autodeclaratório, o sistema dá seguimento às seguintes modalidades: Autorização prévia para perfuração de poço; Declaração de uso insignificante; Dispensa de outorga; Transferência de titularidade; e Avaliação preliminar de disponibilidade hídrica.

Para as modalidades ainda não lançadas no sistema, como a outorga de direito de uso, a outorga preventiva ou a Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH), após o cadastramento do uso de água no SIOUT-SC, o requerimento e documentos necessários devem ser protocolados diretamente pelo portal.

Em relação ao SSD, o estado de Santa Catarina adotou o SDPLAN (Sistema de Apoio à Decisão para o Planejamento do uso dos Recursos Hídricos de Santa Catarina). Este sistema é um instrumento adotado para reunião de informações acerca dos recursos hídricos superficiais e levantamento dos cenários hídricos, atual e futuro. A principal função do SADPLAN é calcular balanços hídricos que equacionem a diferença entre a disponibilidade e as demandas hídricas, para cada trecho de drenagem de uma bacia hidrográfica.

O SADPLAN calcula diferentes métodos de balanços hídricos, como: i) ausência de controles - método das vazões remanescentes (QREM-alfa), em que todos os usuários atuam como se tivessem a mesma prioridade e a vazão mínima remanescente podendo chegar a zero; ii) outorga de captação implementada - método das vazões remanescentes (QREM-alfa), respeitadas as prioridades dos diferentes usuários de recursos hídricos e mantida na natureza a vazão mínima; iii) controle de qualidade da água - método das vazões remanescentes com indicadores de qualidade (sem decaimento) (QREDIL), método para enquadramento real dos corpos hídricos (com possibilidade de decaimento de alguns poluentes) (QQUALI) e método das vazões remanescentes com indicadores de qualidade (com decaimento de DBO) (QREDILDecai); iv) outorga de lançamento implementada - método das vazões remanescentes mínimas (QOUTORGADIL).



### 1.3.3 Método PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

A família do método Promethee é um dos métodos da análise multicritério de apoio à decisão mais recente que foi desenvolvido por Brans (1982) e aperfeiçoado por Vincke e Brans (1985), conforme citados por Almeida (2016).

De forma geral, o Promethee é de fácil entendimento, de modo que os conceitos e parâmetros envolvidos em sua aplicação têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. O método propicia a modelagem de preferência de forma simples e de fácil compreensão, usando um paradigma diferente de outras abordagens que agregavam critérios por meio de uma função aditiva. (VINCKE, 1992 apud ALMEIDA, 2016).

Segundo Moraes et al. (2006) apud Almeida (2016), as comparações entre alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares, através do estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos agentes decisores, buscando uma ordenação do conjunto de alternativas potenciais, através do conceito de dominância.

O método estabelece uma estrutura de preferência entre as alternativas discretas, tendo uma função de preferência entre as alternativas para cada critério. Essa função indica a intensidade da preferência de uma alternativa em relação à outra, com o valor variando entre 0 (indiferença) e 1 (preferência total). (BRANS et al. 1986; ARAÚJO e ALMEIDA, 2009).

Para Brans et al. (1986), a família Promethee tem sido aplicado em vários problemas, de diferentes naturezas, possuindo as seguintes versões:

- Promethee I: estabelece uma pré-ordem parcial entre as alternativas, utilizado para problemática de escolha;
- Promethee II: estabelece uma pré-ordem completa entre as alternativas, utilizado para problemática de ordenação;
- Promethee III: ampliação da noção de indiferença, com tratamento probabilístico dos fluxos (preferência intervalar);
- Promethee IV: estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizado para problemática de escolha e ordenação destinadas às situações em que o conjunto de soluções viáveis é contínuo;
- Promethee V: nesta implementação, após estabelecer uma ordem completa entre as alternativas, com o Promethee II, são introduzidas restrições, identificadas no problema, para as alternativas selecionadas; incorpora-se uma filosofia de otimização inteira;

- Promethee VI: estabelece uma pré-ordem completa ou parcial, utilizada para problemática de escolha e ordenação. Empregado em situações onde o decisor não consegue estabelecer um valor fixo de peso para cada critério;
- Promethee-Gaia: extensão dos resultados do Promethee, através de um procedimento visual e interativo. (MORAIS; ALMEIDA, 2006).

Braga e Gobetti (2002) apud Carvalho et al. (2013) descrevem que o Promethee estabelece uma estrutura de preferência entre alternativas discretas. Comumente, a estrutura de preferência é definida através das comparações aos pares de alternativas por:

$$aPb \text{ se } f(a) > f(b)$$

$$aIb \text{ se } f(a) = f(b)$$

Em que:

$f$ : critério particular de avaliação a ser minimizado;

$a, b$ : duas alternativas possíveis;

$P$  e  $I$ : denotam respectivamente preferência e indiferença;

São considerados seis tipos de função de preferência no método Promethee. Braga e Gobetti (2002) apud Carvalho et al. (2013), explicam cada uma das funções, sendo:

- Tipo I (Critério usual): Não existe preferência entre  $a$  e  $b$ , somente se  $f(a) = f(b)$ . Quando esses valores são diferentes, a preferência é toda para a alternativa com o maior valor;
- Tipo II (Quase-critério): Considera-se uma área de diferença constituída de todos os desvios entre  $f(a)$  e  $f(b)$  menores que  $q$ . Para os desvios maiores a preferência é total;
- Tipo III (Critério de preferência linear): A intensidade das preferências aumenta linearmente até o desvio entre  $f(a)$  e  $f(b)$  alcançar  $p$ . Além deste valor, a preferência é total;
- Tipo IV (Critério nível): Não existem preferências entre  $a$  e  $b$ , quando o desvio entre  $f(a)$  e  $f(b)$  não excede  $q$ ; entre  $q$  e  $p$ , é considerado um valor de preferência médio (0,5); depois de  $p$  a preferência é total;
- Tipo V (Critério de preferência linear com zona de indiferença): Entre  $q$  e  $p$  a intensidade das preferências aumenta linearmente. Fora deste intervalo, as preferências são iguais ao caso anterior;

- Tipo VI (Gaussiana): A intensidade das preferências aumenta continuamente e sem descontinuidade, ao longo de  $x$ . O parâmetro  $s$  é a distância entre a origem e o ponto de inflexão da curva.

Esse método tem sido bem aceito e utilizado na resolução de problemas envolvendo análise multicriterial, pois é um método não compensatório, favorecendo alternativas balanceadas. Além dessas vantagens, e segundo Morais e Almeida (2006), objetiva constituir uma ordenação completa das alternativas, evitando qualquer incomparabilidade.

Dessa forma, selecionou-se o método Prométhée II para trabalhar a problemática de estudo desta tese na análise multicriterial, pois apresenta vantagem em requerer uma informação adicional muito clara, que pode ser facilmente obtida e gerenciada tanto pelo decisor como pelo analista, destacando suas características intrínsecas de objetividade e flexibilidade.

Além dessa abordagem, este método apresenta-se de fácil entendimento para os tomadores de decisão (GILLIAMS; RAYMAEKERS; MUYS, 2005), oferecendo dois graus de liberdade ao decisor: o primeiro relativo à seleção do tipo de função de preferência; e o segundo os limiares a definir. (BRANS et al., 1986; MORAIS e ALMEIDA, 2006).

#### 1.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A revisão da literatura conduz a necessidade de novas formas de gerir o uso da água tanto para aumentar a disponibilidade e eficiência como para minimizar os conflitos existentes entre múltiplos usuários de água.

A determinação de novas vazões de referência a nível sazonal propicia a potencialização no uso da água para diferentes finalidades. Na literatura são identificados trabalhos que propõem vazões mínimas de referência sazonais (mensal, trimestral, quadrimestral e semestral) como critério técnico para flexibilização do uso da água. Por outro lado, não é comum o uso de critérios nas dimensões econômica, social, legal e ambiental na análise do processo de outorga de uso de água. No geral, o que se considera para a concessão de outorga de uso de água é o atendimento à vazão mínima de referência no trecho da rede de drenagem a ser retirada. Outro fator a ser considerado diz respeito à limitação da retirada de água dos recursos hídricos a partir do estabelecimento de vazões mínimas de referência anual.

Nesse sentido, a proposição de estudar critérios para análise do processo de outorga de uso de água pode corroborar de forma assertiva na tomada de decisão. Na literatura são encontradas dimensões e critérios variados na gestão de recursos hídricos, conforme aponta

Morais e Almeida (2006), Santos (2009) e Almeida (2016), podendo ser destacado alguns: na dimensão ambiental, critérios como o índice de qualidade da água (IQA), índice de qualidade da água para proteção da vida aquática (IVA), índice de estado trófico (IET); dimensão econômico, os critérios relacionados a renda, PIB per capita, cobrança pelo uso da água, lucratividade; dimensão social, critérios como geração de renda, geração de emprego, índice de desenvolvimento humano municipal (IDHM), índices de saneamento. Assim, propõem-se nesta tese estudar e analisar a aplicabilidade de critérios de diferentes dimensões ao processo de análise de outorga de uso de água superficial aplicando um método multicritério.

Nesse viés, a tomada de decisão para a gestão de recursos naturais é uma atividade bastante complexa. É necessária a negociação entre diferentes grupos ou indivíduos, os quais têm interesses social, econômico e político conflitantes. A literatura traz o emprego de SDD na tomada de decisão ao gerenciamento dos recursos hídricos. A crescente necessidade por novas soluções técnicas e processos de tomada de decisão mais claros e assertivos têm atraído interesse de pesquisadores e tomadores de decisão. Neste contexto, será investigada uma abordagem fundamentada no emprego do método multicritério Promethee II (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), estruturando um modelo baseado no procedimento para apoio a tomada de decisão em grupo conforme estudado por Macharis et al. (1998).

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA REGIÃO DE ESTUDO

No Brasil, existem diferentes sistemas de codificação e classificação de bacias hidrográficas. Segundo órgãos da federação e estadual, a classificação da bacia do rio Araranguá pode ser codificada conforme expresso na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação da bacia do rio Araranguá conforme os sistemas de codificação estabelecidos por órgãos da federação nacional.

| Órgão da Federação Nacional                   | Sistema de Codificação                                              | Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá                                                                            |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL  | -                                                                   | Bacia hidrográfica 8 - Bacia do Atlântico - Trecho Sudeste. Sub-bacia 84 - rios Tubarão, Araranguá e Urussanga |
| Secretaria de Recursos Hídricos - SRH         | Ottobacias                                                          | Região Hidrográfica 77                                                                                         |
| Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH | Otto Pfafstetter <sup>1</sup> - Resolução n. 30/2002 (BRASIL, 2002) | Bacia 8 - Bacia hidrográfica do Atlântico Trecho Sul. Sub-bacia 84                                             |
|                                               | Resolução n. 32/2003 (BRASIL, 2003)                                 | Divisão Hidrográfica Nacional - Região Hidrográfica Atlântico Sul.                                             |

<sup>1</sup> Sistema adotado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / Serviço Geológico Brasileiro - CPRM/SGB.

Fonte: O autor.

O sistema de drenagem na bacia do rio Araranguá foi ordenado de acordo com a metodologia de Strahler (1957). Para tanto, utilizou-se o *software* Hydro Flow 1.3, desenvolvido no Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia Aplicada da Faculdade de Geologia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Nesse programa foram inseridos, em formato shapefile, a drenagem e o limite da área de estudo, obtendo como resultado a hierarquização fluvial.

A Tabela 3 traz as fontes de consulta utilizadas para elaboração da base cartográfica.

Tabela 3 - Fontes de consulta utilizada para elaboração da base cartográfica.

| Dados                                 | Fonte                                                         | Acesso                                                                                                                                                                              | Ano  |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Hidrografia                           | Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE-DRH) | <a href="http://sigsc.sds.sc.gov.br/">http://sigsc.sds.sc.gov.br/</a>                                                                                                               | 2010 |
| Ottobacias                            | Secretaria de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE-DRH) | <a href="http://sigsc.sds.sc.gov.br/">http://sigsc.sds.sc.gov.br/</a>                                                                                                               | 2010 |
| Limites municipal, estadual e federal | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)        | <a href="https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais">https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais</a> | 2015 |

Fonte: O autor.

As ottobacias da bacia do rio Araranguá foram obtidas junto à Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDE), sendo agrupadas de acordo com a ordenação dos rios. Para realizar todo o processo de seleção de cursos d'água e agrupamento de ottobacias, utilizou-se o *software* ArcGis 10.3®.

Os dados geoespaciais de referência cartográfica foram gerados em escala 1/10.000, sendo que a imagem restituída possui 0,39 m de resolução espacial, e seu Modelo Digital do Terreno (MDT), um (1) m, possibilitando, assim, grande nível de detalhamento hidrográfico.

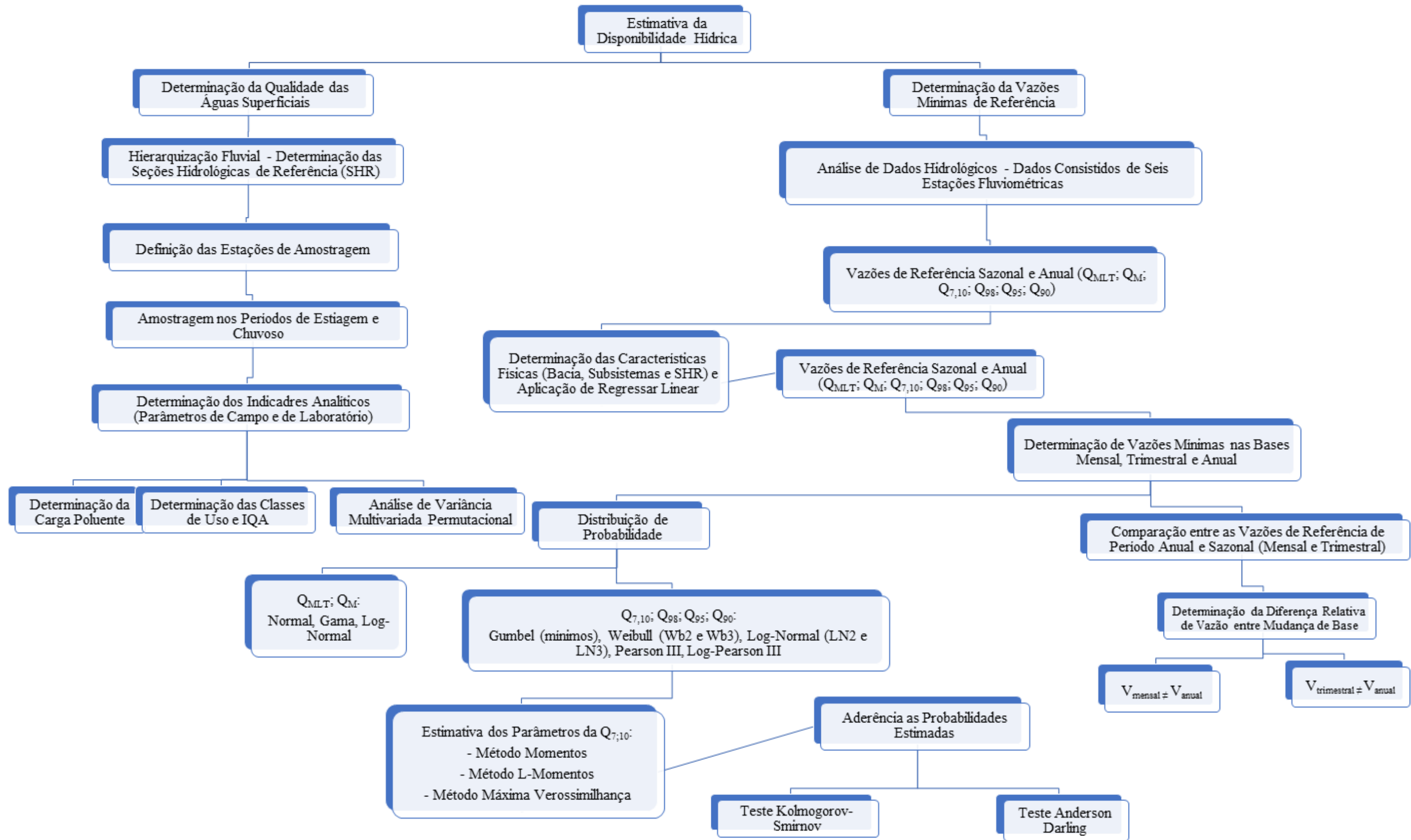
Para a determinação da análise morfométrica, utilizou-se o *software* ArcGis 10.3®, onde foram extraídos os índices físicos da bacia do rio Araranguá e dos subsistemas dos rios principais que integram a bacia.

## 2.2 ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A determinação da disponibilidade hídrica na bacia do rio Araranguá foi pautada em parâmetros inertes aos efeitos sazonais, permitindo reconhecer padrões e tendências regionais de longa duração. As variáveis hidrológicas empregadas para avaliação da disponibilidade hídrica superficial correspondem aos valores da vazão mínima de referência ( $Q_{7,10}$ ) e à curva de permanência de vazões ( $Q_{98}$ ;  $Q_{95}$ ;  $Q_{90}$ ).

A Figura 3 ilustra o fluxograma com a sequência adotada para determinação da disponibilidade hídrica considerado os trabalhos de determinação da qualidade das águas superficiais e os cálculos hidrológicos para a determinação das vazões mínimas de referência.

Figura 3 - Sequência das etapas para determinação da disponibilidade hídrica.



Fonte: O autor.

## 2.2.1 Caracterização da qualidade das águas superficiais

### 2.2.1.1 Hierarquização fluvial

Para os estudos de caracterização da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Araranguá, optou-se por selecionar os cursos d'água de 4ª e 5ª ordens e agruparam-se as otobacias referentes a estes cursos, totalizando 25 sub-bacias definidas por seção hidrológica de referência (SHR). Esse agrupamento em SHR permitiu definir a localização espacial das estações de amostragem, parte integrante dos estudos de disponibilidade hídrica. A Tabela 4 apresenta os índices físicos das 25 SHR (sub-bacias) enquanto que a Figura 4 a espacialização dos rios principais na bacia do rio Araranguá.

Tabela 4 - Índices físicos das 25 seções hidrológicas de referência (sub-bacias) agrupadas a partir das 4ª e 5ª ordens da bacia do rio Araranguá.

| (continua)   |                                                         |                                       |                         |            |                             |          |             |                      |           |
|--------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------|-----------------------------|----------|-------------|----------------------|-----------|
| Subsistema   | SHR                                                     | Sub-bacia                             | A<br>(km <sup>2</sup> ) | Lt<br>(km) | Dd<br>(km/km <sup>2</sup> ) | H<br>(m) | Lcn<br>(km) | Declividade<br>(m/m) | L<br>(km) |
| Mãe Luzia    | 01                                                      | rio Pio                               | 27,05                   | 60,26      | 2,23                        | 20,00    | 390,73      | 0,29                 | 12,64     |
|              | 02                                                      | rio Jordao                            | 40,19                   | 118,49     | 2,95                        | 20,00    | 345,71      | 0,17                 | 15,14     |
|              | 03                                                      | rio da Serrinha                       | 49,43                   | 91,76      | 1,86                        | 20,00    | 1250,27     | 0,51                 | 12,16     |
|              | 04                                                      | rio Braço do Cedro                    | 79,00                   | 124,95     | 1,58                        | 20,00    | 431,00      | 0,11                 | 15,06     |
|              | 05                                                      | rios São Bento e Da Serra             | 102,94                  | 193,15     | 1,88                        | 20,00    | 1826,93     | 0,35                 | 35,56     |
|              | 06                                                      | rios Sangão e Sanga do Terneiro       | 202,78                  | 365,46     | 1,80                        | 20,00    | 679,49      | 0,07                 | 45,25     |
|              | 07                                                      | rio Cedro                             | 219,99                  | 305,50     | 1,39                        | 20,00    | 1157,00     | 0,11                 | 52,52     |
|              | 08                                                      | rios Mãe Luzia e Fiorita              | 390,14                  | 674,14     | 1,73                        | 20,00    | 2700,33     | 0,14                 | 96,05     |
| Manoel Alves | rios Manoel Alves, Pingador, Três Barras e Arroio Pilão |                                       |                         |            |                             |          |             |                      |           |
|              | 09                                                      | rios Morto, Do Meio e Salto           | 229,16                  | 513,93     | 2,24                        | 20,00    | 3446,81     | 0,30                 | 62,10     |
|              | 10                                                      |                                       | 164,09                  | 343,02     | 2,09                        | 20,00    | 1810,12     | 0,22                 | 28,31     |
| Itoupava     | 11                                                      | rio Arroio Segredo                    | 79,39                   | 165,06     | 2,08                        | 20,00    | 1580,51     | 0,40                 | 17,05     |
|              | 12                                                      | rios Engenho Velho e Dois Irmãos      | 67,15                   | 116,06     | 1,73                        | 20,00    | 568,02      | 0,17                 | 25,14     |
|              | 13                                                      | rios Da Pedra e Ribeirão Águas Claras | 71,20                   | 479,37     | 6,73                        | 20,00    | 368,93      | 0,10                 | 11,81     |
|              | 14                                                      | rios Pinheirinho e Arroio Trombudo    | 235,44                  | 123,94     | 0,53                        | 20,00    | 2020,55     | 0,17                 | 36,22     |
|              | 15                                                      | rios Seco e Serra Velha               | 62,02                   | 99,19      | 1,60                        | 20,00    | 1397,39     | 0,45                 | 14,37     |



Tabela 4 - Índices físicos das 25 seções hidrológicas de referência (sub-bacias) agrupadas a partir das 4ª e 5ª ordens da bacia do rio Araranguá.

|                              |     |                  |                         |            |                             |          |             |                      | (conclusão) |
|------------------------------|-----|------------------|-------------------------|------------|-----------------------------|----------|-------------|----------------------|-------------|
| Subsistema                   | SHR | Sub-bacia        | A<br>(km <sup>2</sup> ) | Lt<br>(km) | Dd<br>(km/km <sup>2</sup> ) | H<br>(m) | Lcn<br>(km) | Declividade<br>(m/m) | L<br>(km)   |
|                              | 16  | rio Rocinha      | 41,11                   | 197,94     | 4,82                        | 20,00    | 1008,10     | 0,49                 | 17,89       |
|                              |     | rios Arroio      |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 17  | Fortuna e Arroio | 76,29                   | 38,63      | 0,51                        | 20,00    | 1379,75     | 0,36                 | 18,98       |
|                              |     | Figueira         |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 18  | rio Timbé        | 19,28                   | 206,59     | 10,72                       | 20,00    | 104,80      | 0,11                 | 8,63        |
|                              |     | rios Arroio      |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 19  | Do Norte e Amola | 85,68                   | 123,45     | 1,44                        | 20,00    | 1309,00     | 0,31                 | 46,47       |
|                              |     | Faca             |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 20  | rio Molha        | 42,11                   | 139,58     | 3,31                        | 20,00    | 413,89      | 0,20                 | 20,96       |
|                              |     | Coco             |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              |     | rios             |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              |     | Itoupava,        |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 21  | Ermo e Sanga Das | 168,22                  | 88,83      | 0,53                        | 20,00    | 192,37      | 0,02                 | 29,10       |
|                              |     | Águas            |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              |     | Branças          |                         |            |                             |          |             |                      |             |
|                              | 22  | rio Turvo        | 56,92                   | 125,57     | 2,21                        | 20,00    | 212,66      | 0,07                 | 32,29       |
|                              | 23  | rio Jundiá       | 132,94                  | 183,29     | 1,38                        | 20,00    | 702,76      | 0,11                 | 57,98       |
| Dos Porcos / Baixo Araranguá | 24  | rio Dos Porcos   | 199,19                  | 326,20     | 1,64                        | 20,00    | 434,96      | 0,04                 | 34,65       |
|                              | 25  | rio Araranguá    | 229,49                  | 161,09     | 0,70                        | 20,00    | 296,91      | 0,03                 | 30,96       |

Fonte: O autor.

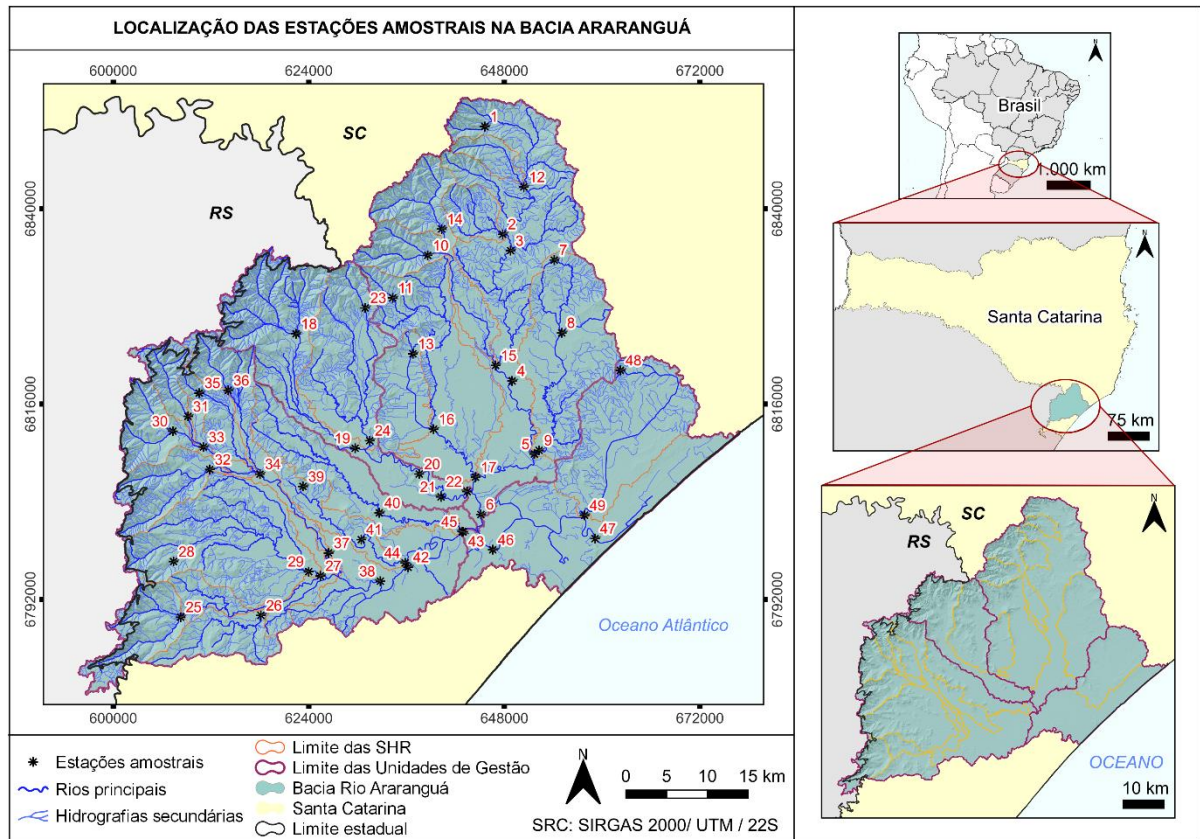
Em todo o processo de divisão das SHR utilizou-se o *software* ArcGis 10.3®.



### 2.2.1.2 Estações e períodos de amostragem

Foram selecionadas 49 estações de amostragem para determinar a qualidade das águas superficiais dos rios principais que integram as 25 SHR (Figura 5).

Figura 5 - Localização espacial das estações de amostragem e limites das SHR para avaliação da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

A escolha dos locais das estações amostrais levou em consideração critérios como pontos de montante, intermediário e jusante de rios principais, cabeceiras de bacias, confluência entre rio, pontes sobre rios, entre outros fatores, que pudessem facilitar o acesso ao local de amostragem e contribuir para a avaliação da qualidade da água bruta captada pelos usuários.

Nas estações foram realizadas duas campanhas amostragens: em período de estiagem - inverno (menos chuvoso) (no mínimo 5 dias sem chuva - julho a setembro de 2021) e em período chuvoso - verão (no mínimo com 5 dias de chuva - janeiro a março de 2022, ou também com o nível dos rios mais elevados quando comparados à amostragem de estiagem).

### 2.2.1.3 Coleta das amostras e medição de vazão

A metodologia de coleta, manuseio e preservação das amostras de águas superficiais seguiram as orientações e critérios definidos nas normas técnicas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas): NBR 9897:1987 e NBR 9898:87, e o Guia nacional de coleta e preservação de amostras. (CETESB/ANA, 2011). O método de amostragem adotado das águas superficiais foi o simples.

Para uma premissa básica do balanço de cargas poluentes, foi realizada a medição de vazão na ocasião da amostragem. Estas foram efetuadas através do método convencional utilizando micro-molinete hidrométrico e/ou molinete hidrométrico, ambos de haste fixa e levantamento da seção do canal. Nos locais onde a profundidade foi superior a 1,3 metros, optou-se por não realizar as medições de vazão.

### 2.2.1.4 Metodologia de análise das variáveis físicas, químicas e biológicas

Foram analisados 23 parâmetros analíticos (físicos, químicos e bacteriológicos) em cada estação de amostragem conforme consta na Tabela 5, onde se descrevem a metodologia de análise e o limite de quantificação de cada método.

Tabela 5 - Métodos de análise e limites de detecção para os parâmetros físicos, químicos e biológicos avaliados nas amostras de água superficial.

| (continua)                        |                                            |                    |                                   |                            |                  |
|-----------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------|
| Variáveis                         | Limite de Quantificação (LQ)               | Técnica Analítica  | Metodologia Analítica Referencial | Medidas em Laboratório     | Medidas em Campo |
| Índice de Qualidade de Água (IQA) | Oxigênio Dissolvido (mg. L <sup>-1</sup> ) | 0,1                | Eletrodo de Membrana              | SMEWW - Method 4500-O G    | x                |
|                                   | pH (21,0 °C)                               | Faixa (0,1 a 14,0) | Potenciométrico                   | SMEWW - Method 4500-H+ B   | x                |
|                                   | Coliformes Termotolerantes                 | Ausentes           | Tubos Múltiplos                   | SMEWW - Method 9221 B e    | x                |
|                                   | DBO <sub>5,20</sub> (mg. L <sup>-1</sup> ) | 1,0                | Incubação a 20 °C e em 05 dias    | SMEWW - Method 5210 B      | x                |
|                                   | Temperatura da Água (°C)                   | 0,1                | Termometria                       | -                          | x                |
|                                   | Nitrogênio Total (mg. L <sup>-1</sup> )    | 1,0                | Kjeldahl                          | SMEWW - Method 4500-Norg B | x                |
|                                   | Fósforo Total (mg. L <sup>-1</sup> )       | 0,01               | ICP-OES                           | SMEWW - Method 3120 B      | x                |

Tabela 5 - Métodos de análise e limites de detecção para os parâmetros físicos, químicos e biológicos avaliados nas amostras de água superficial.

|                                                        |                              |                      |                                   |                        | (conclusão)      |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------------|------------------|
| Variáveis                                              | Limite de Quantificação (LQ) | Técnica Analítica    | Metodologia Analítica Referencial | Medidas em Laboratório | Medidas em Campo |
| Turbidez (NTU)                                         | 0,1                          | Nefelométrico        | SMEWW - Method 2130 B             | x                      |                  |
| Sólidos Total (mg. L <sup>-1</sup> )                   | 10,0                         | Gravimétrico         | SMEWW - Method 2540 B             | x                      |                  |
| Condutividade Elétrica (µS.cm <sup>-1</sup> ) (25,0°C) | 1,0                          | Condotométrico       | SMEWW - Method 2510 B             | x                      | x                |
| Potencial Redox (mV)                                   | -1.999 a +1.999              | Potenciométrico      | SMEWW - Method 2580 B             | x                      | x                |
| Temperatura do Ar (°C)                                 | 0,1                          | Termometria          | -                                 |                        | x                |
| Acidez Total (mg. L <sup>-1</sup> )                    | 0,5                          | Titulométrico        | SMEWW - Method 2310 B             | x                      |                  |
| Alumínio (mg. L <sup>-1</sup> )                        | 0,1                          | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |
| Ferro Total (mg. L <sup>-1</sup> )                     | 0,05                         | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |
| Manganês Total (mg. L <sup>-1</sup> )                  | 0,01                         | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |
| Sulfato (mg. L <sup>-1</sup> )                         | 5,0                          | Cromatografia Iônica | EPA 300.1 SMEWW - Method 4110 B   | x                      |                  |
| Salinidade (mS.cm <sup>-1</sup> ) (25,0°C)             | 0,001                        | Salinômetro          | -                                 | x                      |                  |
| Sólidos Dissolvidos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )      | 10,0                         | Gravimétrico         | SMEWW - Method 2540 C             | x                      |                  |
| Sólidos Suspensos Totais (mg. L <sup>-1</sup> )        | 10,0                         | Gravimétrico         | SMEWW - Method 2540 D             | x                      |                  |
| Cálcio (mg. L <sup>-1</sup> )                          | 0,1                          | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |
| Magnésio (mg. L <sup>-1</sup> )                        | 0,1                          | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |
| Potássio (mg. L <sup>-1</sup> )                        | 0,1                          | ICP-OES              | SMEWW - Method 3120 B             | x                      |                  |

Fonte: O autor.

Dos 23 indicadores analíticos, nove parâmetros são utilizados para determinar o índice de qualidade das águas (IQA), na qual se avalia a qualidade dos mananciais quanto a possibilidade de abastecimento doméstico. Os demais parâmetros considerados

complementares contribuíram para identificar o tipo de poluição existente, especialmente de origem inorgânica.

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Água e Efluentes Industriais e Microbiologia do Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC) de acordo com o *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (20ª edição). (APHA, 1998).

As amostras de água não foram filtradas em laboratório, pois busca-se caracterizar a qualidade das águas captadas diretamente pelos usuários nos cursos de água superficiais.

#### 2.2.1.5 Índice de qualidade de água

De acordo com Cetesb (2019a), para o cálculo do IQA são consideradas variáveis de qualidade que indicam o lançamento de efluentes sanitários para o corpo d'água, fornecendo uma visão geral sobre as condições de qualidade das águas superficiais.

Esse índice também pode indicar alguma contribuição de efluentes industriais desde que sejam de natureza orgânica biodegradável. (CETESB, 2019b). Para efetuar o cálculo do IQA é estabelecida uma pontuação na qualidade (q) que varia de 0 a 100 para cada uma das nove variáveis que entram na composição do índice (Tabela 6). A qualidade (q) é elevada à ponderação (w) correspondente à importância da variável. O IQA é obtido multiplicando-se cada componente (qw), conforme Equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100.

Qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida.

wi: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.

n: número de variáveis que entram no cálculo do IQA.

Tabela 6 - Classificação do IQA.

| Categoria | Ponderação          |
|-----------|---------------------|
| Ótima     | $79 < IQA \leq 100$ |
| Boa       | $51 < IQA \leq 79$  |
| Regular   | $36 < IQA \leq 51$  |
| Ruim      | $19 < IQA \leq 36$  |
| Péssima   | $IQA \leq 19$       |

Fonte: Cetesb (2019b).

#### 2.2.1.6 Análise e tratamento dos dados

Os resultados das análises foram comparados pela Resolução Conama n. 357/2005 para determinar as classes de uso da água, a carga de poluição e o IQA. Para auxiliar na comparação das variáveis analíticas das amostras de água entre os subsistemas, realizou-se o mapeamento do uso e cobertura do solo através de imagens de satélite (Landsat 8; resolução espacial 15m com a banda pancromática; datado de 15-05-2023) utilizando o método de classificação supervisionada pixel-a-pixel por meio do QGIS (versão 3.28).

A classificação supervisionada usou amostras de treinamento que serviram como referência para a identificação das classes no restante da imagem - a validação das amostragens garante até 80% de confiabilidade. As classes foram divididas em floresta, vegetação rasteira, área urbana, agricultura/pastagem, solo exposto, areia, corpos de água (rios, cursos d'água, lagos e lagoas).

Complementarmente, dos 23 parâmetros analíticos, analisou-se a variação de 17 (pH, ORP, OD, CE, cálcio, potássio, magnésio, nitrogênio total, SDT, SST, ST, salinidade, acidez, sulfato, ferro total, manganês e alumínio) indicadores. Foram determinadas as médias, desvio padrão e erro padrão, e por meio da técnica de Análise Canônica de Coordenadas principais, definiu-se o índice de similaridade de Gower. (ANDERSON; WILLIS, 2003; GOWER, 1971). A significância na diferença dos parâmetros entre os subsistemas foi definida por meio de Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) utilizando o mesmo índice de similaridade. (ANDERSON, 2001; GOWER, 1971). Todas as análises foram efetuadas no *software* R (R Core Team, 2017), utilizando os pacotes “vegan”. (OKSANEN et al., 2017).

#### 2.2.2 Disponibilidade e análise de dados hidrológicos

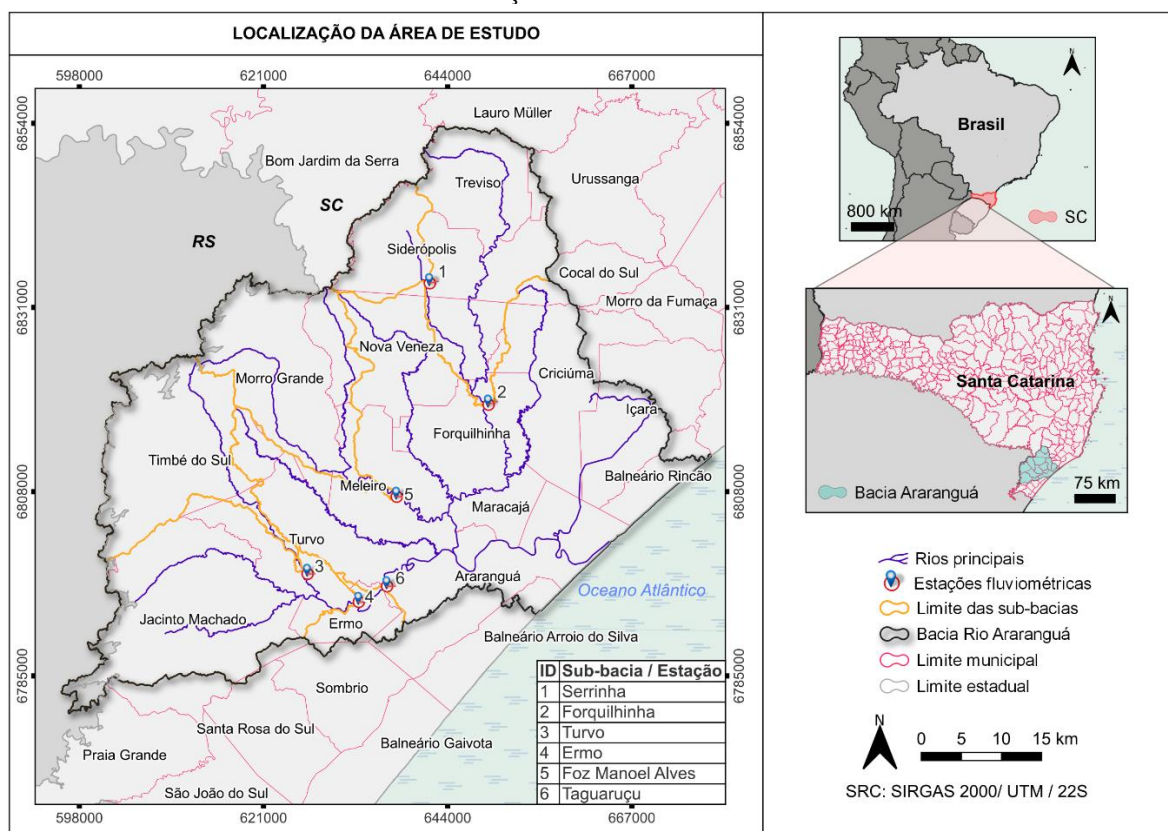
Para os cálculos de estimativa da disponibilidade hídrica superficial na bacia foram utilizados os dados consistidos de estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Água e Saneamento (ANA).



Os dados de vazão diária foram obtidos no banco de dados do portal de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da ANA. Utilizou-se o *software* Hidro v.3.2.6 como ferramenta de suporte para visualizar, selecionar e baixar os dados. A série histórica dos dados foi obtida no aplicativo Hidroweb, mantido pela ANA.

A Figura 6 traz a localização espacial das estações fluviométricas e a Tabela 7 reúne as informações básicas das estações utilizadas nos cálculos hidrológicos.

Figura 6 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Araranguá destacando os rios principais e as estações fluviométricas.



Fonte: O autor.



Tabela 7 - Dados básicos das estações fluviométricas na bacia do rio Araranguá.

| Código   | Nome da Estação            | Município   | Latitude (S) | Longitude (W) | Altitude (m) | Área (km²) | Curso d'Água | Período com Dados Consistidos | Extensão da Série (anos) |
|----------|----------------------------|-------------|--------------|---------------|--------------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------------|
| 84800000 | Serrinha - JUS 200 m CASAN | Siderópolis | 28,6125      | 49,5514       | 114          | 119,0      | São Bento    | 28/08/1985 a 31/12/2020       | 35                       |
| 84820000 | Forquilha                  | Forquilha   | 28,7492      | 49,4744       | 40           | 526,0      | Mãe Luzia    | 12/05/1942 a 31/12/2017       | 75                       |
| 84949000 | Turvo                      | Turvo       | 28,9422      | 49,7025       | 30           | 336,0      | Amola Faca   | 22/09/1976 a 30/06/2020       | 45                       |
| 84949800 | Ermo                       | Ermo        | 28,9725      | 49,6372       | 12           | 863,0      | Itoupava     | 22/02/1978 a 31/12/2016       | 38                       |
| 84853000 | Foz do Manoel Alves        | Meleiro     | 28,8536      | 49,5897       | 10           | 355,0      | Manoel Alves | 17/10/1977 a 30/09/2020       | 43                       |
| 84950000 | Taguarucu                  | Araranguá   | 28,9550      | 49,6008       | 10           | 902,98     | Araranguá    | 01/01/1943 a 01/01/2011       | 68                       |

Fonte: O autor.

### 2.2.3 Estimativa das vazões mínimas de referência nas estações fluviométricas

Foram determinadas vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), e as vazões mínimas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ), 95% ( $Q_{95}$ ) e 98% ( $Q_{98}$ ), organizadas em séries mensal, trimestral e anual, conforme ano civil (janeiro a dezembro). Também determinou-se as vazões médias ( $Q_{med}$ ) na série mensal.

Em suas pesquisas, Silva et al. (2011), Tucci; Silveira (2015) e Souza (2017) discutem que, durante o processo de estimativa da vazão mínima de uma estação fluviométrica, é necessário decidir em calcular as vazões mínimas do ano como um todo (base anual) ou apenas para um mês específico (base mensal).

#### 2.2.3.1 Cálculo da vazão média ( $Q_{med}$ )

De acordo com Back (2013), as séries anuais de vazão para cada mês dos seis postos fluviométricos podem ser analisadas determinando as frequências observadas (Equação 2) e ajustando as frequências teóricas. Estas são ordenadas de forma crescente para cálculo das frequências, sendo as frequências observadas determinadas empregando a equação de Weibull (BACK, 2013) dada por D (Equação 3).

$$f \text{ observada} = \frac{i}{n+1} \quad (2)$$

$$D = f \text{ observada} - f \text{ teórica} \quad (3)$$

As distribuições teóricas de probabilidade Normal, Log-Normal e Gama foram ajustadas no estudo de vazões médias mensais, conforme sugere Naghettini e Pinto (2007). Para estimativa dos parâmetros utilizou-se o método da Máxima Verossimilhança e, para avaliar a aderência dos dados, foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling ( $A^2$ ) ao nível de significância de 5%.

Todo o procedimento para a determinação das vazões médias (mensal e de longa duração) foi realizado para os seis postos fluviométricos e estimados por regressão linear para os subsistemas da bacia do rio Araranguá, utilizando o *software* Microsoft Excel® 2010.

### 2.2.3.2 Cálculo da $Q_{7,10}$

Foram determinadas as séries de mínimas anuais com duração de sete dias e posteriormente ajustadas e avaliadas as distribuições de probabilidade indicadas para vazões mínimas. As distribuições utilizadas foram a Gumbel Mínima (GM) e Weibul com dois (Wb2) e três (Wb3) parâmetros, amplamente usadas na hidrologia e descritas por Naghettini e Pinto (2007), Tucci; Silveira (2015), Lopes et al. (2016) e Lellis (2019). Também foram testadas as distribuições Log-Normal com dois (LN2) e três parâmetros (LN3), Person Tipo III e Log-Pearson Tipo III. (SILVA et al., 2011; VASCO, 2017; SOUZA, 2017; LELLIS, 2019).

Para estimativa dos parâmetros foram usados os Métodos do Momentos (MM), método da Máxima Verossimilhança (MV) e método dos L-Momentos (LM). Na distribuição de Gumbel (GB) foi incluído o método de Chow para estimativa dos parâmetros. Para avaliar a aderência dos dados foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) (equações 4 e 5) e Anderson-Darling (AD) ao nível de significância de 5% (equação 6).

O teste KS baseia-se na comparação entre as distribuições teóricas  $[F'(x)]$  e as empíricas cumulativas  $[F(x)]$ . A estatística D descreve a maior discrepância entre  $[F'(x)]$  e  $[F(x)]$ . Naturalmente, valores de D suficientemente grandes levam à rejeição de  $H_0$ .

$$D = \text{Max} / F(x) \text{ observada} - F(x) \text{ teórica} / \quad (4)$$

$$KS_{\text{crit}} = \frac{K_{\alpha}}{\sqrt{n+0.12+0.11/\sqrt{n}}} \quad (5)$$

Em que:

$KS_{\text{crit}}$ : Kolmogorov-Smirnov.

$F(x)$ : frequência.

$$AD = -N - \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)\{\ln F_x(x_{(i)}) + \ln[1-F_x(x_{(N-i+1)})]\}}{N} \quad (6)$$

Em que:

AD: Anderson-Darling.

$x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(m)}, \dots, x_{(n)}$ : observações ordenadas em modo crescente.

$F_N(x)$  e  $F_X(x)$ : distribuições empírica e teórica.

Para definir o critério de seleção foram determinados a raiz do erro quadrático médio - RMSE (*Root Mean Square Error*), o erro absoluto médio (MAE) e o D-index, respectivamente calculados conforme as equações 7 a 9.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{ei})^2}{n}} \quad (7)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_e - X_i| \quad (8)$$

$$\text{Dindex} = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^6 |R_i - R_i^*| \quad (9)$$

Em que:

RMSE: raiz do erro quadrático médio para uma dada distribuição de probabilidade.

$X_i$ : vazão observada de ordem  $i$ .

$X_{ei}$ : vazão estimada pela distribuição teórica de probabilidade.

$n$ : número de elementos na série.

MAE: erro absoluto médio.

Dindex: índice baseado nos seis menores valores da série.

$R$ : valor médio da série da precipitação registrada.

$R_i$  ( $i = 1$  a  $6$ ): seis primeiros valores mais baixos na série de precipitação registrada.

$R_i^*$ : precipitação estimada por distribuição de probabilidade.

Para a seleção da distribuição foram ranqueadas as distribuições de acordo com as estatísticas dos testes de aderência e dos índices de desempenho. Para espacialização das vazões mínimas foi utilizado o *software* ArcGis 10.3®.

#### 2.2.3.3 Curva de permanência e cálculo da $Q_{90}$ , $Q_{95}$ e $Q_{98}$

Segundo Tucci; Silveira (2015), a curva de permanência está relaciona à vazão ou nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada apresentada na curva.

As frequências são acumuladas e, assim, com a obtenção da curva de permanência, é extraído o valor da vazão com 90% de permanência ( $Q_{90}$ ), com 95% de permanência ( $Q_{95}$ ) e com 98% de permanência ( $Q_{98}$ ). Os respectivos valores extraídos das curvas de permanência, com base em dados diários, retratam se a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado.

As curvas de permanência foram realizadas utilizando o *software* Microsoft Excel® 2010, sendo as vazões mínimas espacializadas por meio do *software* ArcGis 10.3®.

## 2.2.4 Estimativa das vazões mínimas e médias nas seções hidrológicas de referência

Silveira et al. (1998a); Silveira e Tucci (1998b); Cruz (2001) afirmam que a divisão da rede de drenagem numa bacia hidrográfica permite definir trechos de gerenciamento e, assim, determinar melhor os critérios para a outorga de uso da água. A divisão das SHR deve procurar por seções singulares (VIEGAS; LANNA, 1999 apud CRUZ; TUCCI, 2005), como confluência entre rios, divisão de sub-bacias, com estações fluviométricas de monitoramento, barramento, entre outros.

Em seus estudos, Candorin (2022) determinou por regressão múltipla as vazões mínimas ( $Q_{7,10}$  e  $Q_{7,30}$ ) testando diferentes parâmetros físicos e climáticos das bacias hidrográficas do sul de Santa Catarina e verificou que o parâmetro da área foi o que melhor se ajustou na determinação das vazões mínimas. Determinou, ainda, que as bacias hidrográficas dos rios Araranguá, Mampituba e Urussanga pertencem à mesma região homogênea, sendo classificada em RHH 01.

Nesse contexto - e considerando as vazões mínimas e médias determinadas nos seis postos fluviométricos e associados às características físicas da bacia - foi aplicado o método de regressão linear para estimar as vazões mínimas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{98}$  anual, trimestral e mensal) nas SHR e as vazões médias nos subsistemas que integram a bacia do rio Araranguá. As vazões mínimas e médias estimadas foram espacializadas por meio do *software* ArcGis 10.3®.

## 2.2.5 Comparação entre as vazões mínimas de base mensal, trimestral e anual

As vazões mínimas de referência calculadas e estimadas foram comparadas aos períodos sazonais (mensal e trimestral) e as do período anual. As séries históricas das seis estações fluviométricas foram subdivididas em trimestres (Tabela 8) conforme ano civil.

Tabela 8 - Trimestres, utilizados para segmentação das séries históricas de vazão.

| Trimestre    | Meses                     |
|--------------|---------------------------|
| 1º Trimestre | janeiro-fevereiro-março   |
| 2º Trimestre | abril-maio-junho          |
| 3º Trimestre | julho-agosto-setembro     |
| 4º Trimestre | outubro-novembro-dezembro |

Fonte: O autor.

A diferença relativa da disponibilidade hídrica na vazão disponível para outorga foi verificada considerando a adoção de vazões de referência das escalas temporais (trimestral e

mensal) adotadas com o período anual (Equação 10). Nos estudos realizados por Arai (2014), a diferença relativa permite comparar vazões outorgáveis em diferentes períodos sazonais.

$$Dr = \frac{Q_{sazonal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} 100 \quad (10)$$

Em que:

Dr: diferença relativa da disponibilidade hídrica (%).

$Q_{sazonal}$ : vazão estimada em base sazonal ( $m^3.s^{-1}$ ).

$Q_{anual}$ : vazão estimada em base anual ( $m^3.s^{-1}$ ).

A sazonalidade, expressa na variação entre as vazões mínimas trimestrais, mensais e anual, foi avaliada a fim de identificar a flexibilidade nos critérios de outorga, adotando-se os períodos trimestral e mensal.

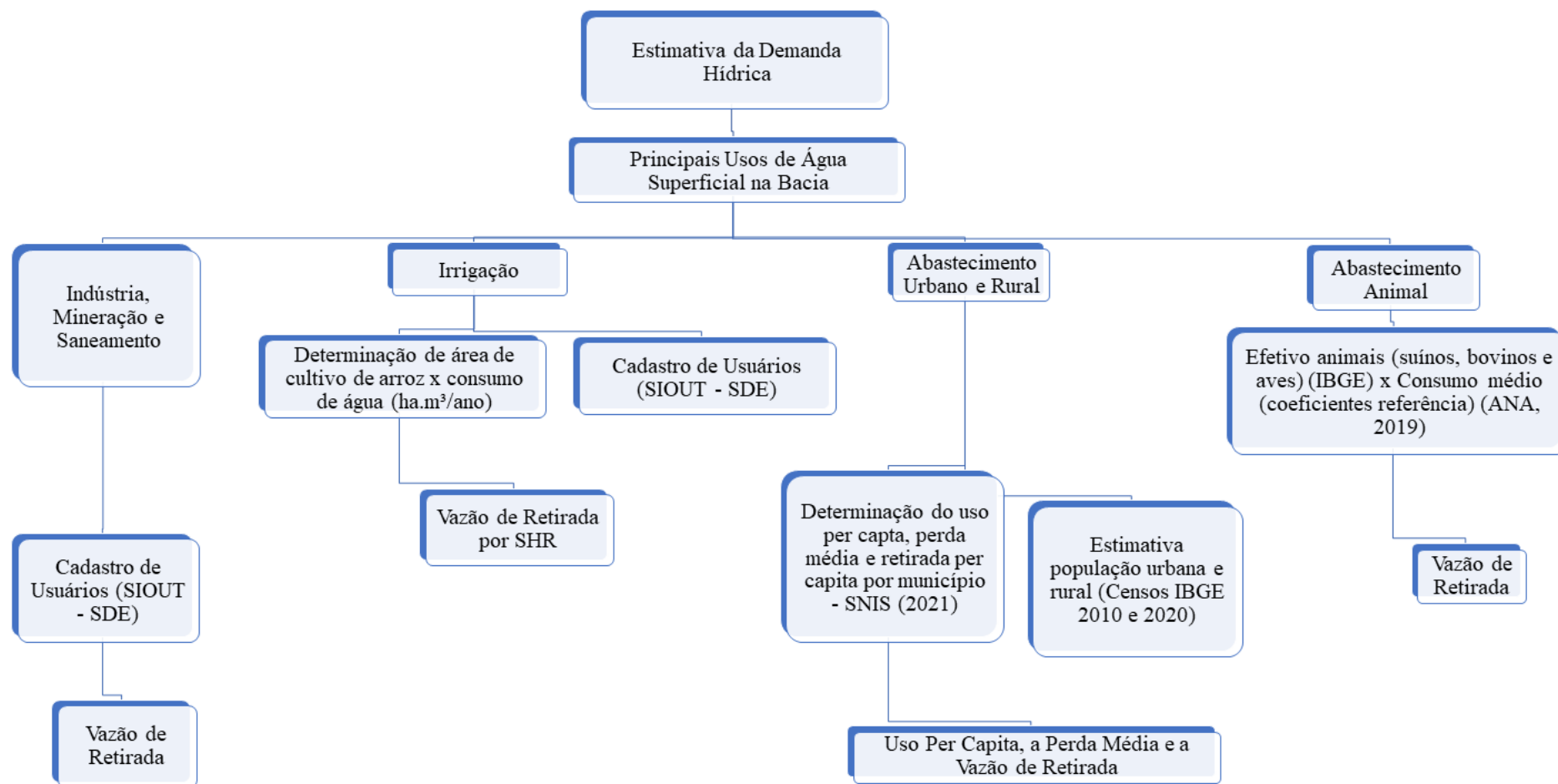
### 2.3 ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA

As demandas de uso na bacia do rio Araranguá foram avaliadas, inicialmente, nos registros do Sistema de Outorga de Água (SIOUT) da Diretoria de Recursos Hídricos e Saneamento (DRHS) do Estado de SC, de responsabilidade da Secretaria do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDE), os quais devem representar a integralidade das demandas locais, uma vez que todos os usuários, por lei, devem ter os seus usos regularizados.

No entanto, entende-se a fragilidade que o cadastro de usuários pode apresentar, uma vez que muitas vezes os usos regularizados podem não representar a totalidade das retiradas de água na bacia ou devido a não realização do cadastro, bem como apresentar inconsistências nos dados. Dessa forma, optou-se neste trabalho em estimar a retirada de água para os setores de agricultura (irrigação de culturas sazonais), o abastecimento humano e o consumo animal por meio de metodologias consagradas na literatura buscando, assim, tentar contornar a incerteza dos dados.

A Figura 7 ilustra o fluxograma com a sequência adotada para determinação da demanda hídrica.

Figura 7 - Sequência das etapas para determinação da demanda hídrica.



Fonte: O autor.

Neste trabalho, as categorias de uso consuntivo consideradas foram o abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento (consumo) animal, produção agrícola (irrigação), abastecimento industrial e mineração. E na categoria de uso não consuntivo, o saneamento (lançamento de efluentes), aquicultura, desassoreamento de rio e drenagem. Tendo em vista a pequena expressividade da pesca e piscicultura na bacia e, dada a dificuldade para sua quantificação, não se procedeu as estimativas de vazões referentes a esse segmento.

Considerou-se, sempre que possível, as vazões de retirada, que se refere às vazões captadas na determinação da demanda. Em contrapartida, as vazões de retorno são aquelas lançadas nos corpos d'água após o seu uso e as vazões consumidas pela diferença entre as vazões de retirada e de retorno. Nesse sentido, a estimativa das vazões de retirada, de retorno e consumida pelo abastecimento humano (urbano e animal) e consumo animal foi realizada por municípios integrantes na bacia.

### **2.3.1 Vazões de retirada e consumida por segmentos de usuários**

#### **2.3.1.1 Estimativa para agricultura de irrigação**

Para a estimativa da demanda de água de irrigação foram utilizados a área de mapeamento de arroz irrigado versus o consumo de água da cultura em ha.m<sup>3</sup>/ano.

A área de cultivo foi obtida do banco de dados georreferenciado do mapeamento de rizicultura elaborado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) em parceria com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e disponibilizado no site do portal de informações da Conab. Este mapeamento corresponde a safra 2018/19, sendo a vetorização dos dados realizada de forma manual, com escala de mapeamento entre 1:2.000 (maior escala) a 1:6.000 (menor escala). Estes dados foram verificados em campo com auxílio de técnicos da Epagri e da Conab, em que obteve-se um índice de 95% de precisão. (CONAB, 2019). Portanto, esse banco de dados foi manipulado no *software* ArcGis (versão 10.2.1) e quantificados em área (hectares) segmentados pelas unidades de gestão e SHR.

Para determinação do consumo de água de irrigação foram adotados o consumo médio por área irrigada (m<sup>3</sup>/ha.mês) do Plano de Bacia Hidrográfica do rio Araranguá - Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos - Atividade B3 - Diagnóstico das demandas hídricas (PBHRA, 2014). O consumo médio adotado do plano é: setembro (1.000 m<sup>3</sup>/ha.mês);



outubro (1.500 m<sup>3</sup>/ha.mês); novembro (2.000 m<sup>3</sup>/ha.mês); dezembro (2.000 m<sup>3</sup>/ha.mês); e janeiro (1.500 m<sup>3</sup>/ha.mês).

De posse das áreas da SHR e dos subsistemas (Equação 11) e multiplicados pelo consumo médio mensal, foram estimados o consumo para irrigação na bacia do rio Araranguá.

$$Q1 = A_i \cdot Q_{der} \quad (11)$$

Em que:

Q1: é a demanda para irrigação (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>).

A<sub>i</sub>: é a área irrigada na bacia (ha).

Q<sub>der</sub>: vazão média anual derivada dos mananciais (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Complementarmente, foi consultado no banco de dados do sistema SIOUT pertencente a SDE, as declarações de usuários de água de irrigação, para comparação aos dados de vazão de retirada estimados nesse estudo. Os dados obtidos no sistema SIOUT referente as declarações de irrigação correspondem até o mês de fevereiro de 2023.

#### 2.3.1.2 Estimativa de abastecimento urbano e rural

A metodologia utilizada para avaliação das vazões de retirada em cada município se refere ao indicado pelo Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. (ANA, 2019a). Nesse manual, o uso consuntivo ocorre quando a água retirada é consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água. O consumo pode ocorrer por evaporação, transpiração, incorporação em produtos, consumo por seres vivos, dentre outros. A definição e a estimativa de consumo pode ser subjetiva e variar em função das diferentes aplicações das estimativas.

Para os principais usos consuntivos de água, segundo a ANA (2019a), são caracterizadas: i) vazões de retirada (montante captado no corpo hídrico); ii) vazões de consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico); iii) vazões de retorno (fração da retirada que retorna ao corpo hídrico).

Quanto aos coeficientes de consumo e de retorno, o consumo corresponde a 80% da retirada e o retorno corresponde a 20% da retirada com base na ABNT NBR 9649/1986 (Projeto de redes coletoras de esgotamento sanitário). De acordo com ANA (2019a), os conceitos relativos ao abastecimento humano urbano consideram:

- Retirada per capita: valores estimados a partir de dois indicadores: uso per capita e perdas nas redes de distribuição;
- Uso per capita: água correspondente a volumes distribuídos efetivamente disponibilizados aos habitantes (volumes hidrometrados nas residências + volumes estimados para habitantes sem medição);
- Perda média: água perdida entre a captação e o usuário final. Corresponde à parcela do volume de retirada não convertido em uso decorrente de falhas e vazamentos na rede de distribuição (perda física), e também podendo incorporar parcelas de perda aparente (água usada, mas não contabilizada por falhas de medição ou ligações clandestinas).

Para obtenção dos indicadores municipais de uso per capita e de perda média, deve-se considerar uma primeira verificação de três indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para garantir a representatividade da amostra. (SNIS, 2021):

- Hidrometração (IN009) deve ser superior a 50%, garantindo que os dados informados pelo prestador tenham parcela maior de medição do que de estimativa;
- Atendimento urbano de água (IN023) deve cobrir mais de 80% da população do município, garantindo boa representatividade do coeficiente;
- Participação das economias residenciais (IN043) deve ser superior a 70%, diminuindo a influência dos setores comercial e de serviços e algumas indústrias de menor porte que possam impactar de forma mais expressiva os valores municipais.

Para os municípios que atendem aos índices de consistência descritos abaixo, os valores de uso per capita e perda média são calculados (Equações 12 e 13) verificando se os valores são consistentes com os limites mínimo e máximo estabelecidos no fluxograma do método de obtenção dos coeficientes médios per capita de uso. (ANA, 2019a, p.20).

A verificação de consistência é determinada pelos índices a saber:

- $IN009 > 50\%$ .
- $IN023 > 80\%$ .
- $IN043 > 70\%$ .

Os valores calculados para uso per capita devem ser validados conforme verificação de consistência do uso per capita considerando a seguinte faixa de valores aceitáveis:

- Valor mínimo aceitável = 70 L/hab.d.
- Valor máximo aceitável = 250 L/hab.d.

Com os resultados de verificação da consistência, assume-se:

- Sim: adota valor calculado como coeficiente de uso per capita.
- Não: adota valor limite mais próximo do valor calculado do uso per capita.

Os valores calculados para perda média são validados conforme verificação de consistência de perda média considerando a seguinte faixa de valores aceitáveis:

- Valor mínimo = 10%.
- Valor máximo = 65%.

Com os resultados de verificação da consistência, assume-se:

- Sim: adota valor calculado como coeficiente de perda média.
- Não: adota valor limite mais próximo do valor calculado de perda média.

Ainda de acordo com ANA (2019a), para os municípios que não atenderam aos critérios anteriores é avaliado o uso do IN022 como indicador de uso per capita (consumo médio per capita de água calculado pelo SNIS). A verificação da consistência do IN022 decorre:

- Valor mínimo aceitável = 70 L/hab.d.
- Valor máximo aceitável = 250 L/hab.d.

Com os resultados de verificação da consistência, assume-se:

- Sim: adota IN022 como coeficiente de uso per capita.
- Não: busca valor de coeficiente de uso per capita na tabela de referência.

Neste aspecto, o uso médio per capita é de 119 L/hab.d., considerando uma perda de 31%. Para preenchimento dos dados de uso per capita e/ou perda média dos municípios que não atenderam aos critérios de consistência, adotou-se a tabela de referência para coeficiente urbano que apresenta uma síntese do método de estimativa das vazões associadas ao uso humano urbano e rural. (ANA, 2019a).

A vazão de retirada para abastecimento urbano em cada município na bacia do rio Araranguá foi, então, estimada pelas equações 12, 13 e 14. (ANA, 2019a). Os coeficientes técnicos utilizados nas equações são informações e indicadores disponibilizados pelo SNIS, relevantes para a estimativa de coeficientes per capita.

$$Uso_{per\ capita} = \left\{ \frac{AG_{008}}{\left[ AG_{001} \cdot \left( \frac{AG_{014}}{AG_{013}} \right) \right]} \right\} \cdot \frac{10^3}{365} \quad (12)$$

Em que:

$Uso_{per\ capita}$ : coeficiente que define o uso médio per capita, em L/hab.dia.

AG<sub>008</sub>: volume de água micromedido (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

AG<sub>014</sub>: quantidade de economias ativas de água micromedidas (Economias).

AG<sub>001</sub>: população total atendida com abastecimento de água (Habitantes).

AG<sub>013</sub>: quantidade de economias residenciais ativas de água (Economias).

$$Perda\ média = \frac{(AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}) - AG_{010}}{AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}} \quad (13)$$

Em que:

Perda<sub>média</sub>: proporção que representa a porção captada que não é utilizada (%).

AG<sub>006</sub>: volume de água produzido (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

AG<sub>018</sub>: volume de água tratada importado (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

AG<sub>019</sub>: volume de água tratada exportado (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

AG<sub>010</sub>: volume de água consumido (1.000 m<sup>3</sup>/ano).

$$Retirada\ per\ capita = \frac{Uso\ per\ capita}{1 - Perda\ média} \quad (14)$$

Em que:

Retirada<sub>per capita</sub>: coeficiente de retirada média per capita, em L/hab.dia.

Uso<sub>per capita</sub>: coeficiente que define o uso médio per capita, em L/hab.dia.

Perda<sub>média</sub>: proporção que representa a porção captada não utilizada, em %.

A quantidade de população urbana e rural foi pesquisada nos censos populacionais (2010 e 2020) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). No que tange o abastecimento rural, utilizou-se o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. (ANA, 2019a). Foram utilizados os coeficientes de retirada adotados em estudos propostos pela Organização Nacional do Sistema Elétrico (ONSE) (ONS, 2003; 2005), que variam de 70 a 125 litros por habitante por dia, de acordo com a Unidade da Federação (UF) (Tabela 9). O consumo foi estimado em 20% da retirada (80% de retorno).

Para a definição de critérios de abastecimento da população rural, optou-se pela estimativa com coeficientes de retirada adotados em estudos anteriores (ONS, 2003; 2005), que variam de 75 a 125 litros por habitante por dia, conforme a UF (Tabela 9). Para a UF Santa Catarina adotou-se uma vazão per capita de 100 L/hab.dia.

Tabela 9 - Vazão “per capita” no meio rural, conforme os estados considerados.

| Estados                                                               | Vazão Per Capita (L/hab.dia) |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| AL, GO, PI                                                            | 70                           |
| AC, BA, CE, DF, ES, MA, MS, MT, PA,<br>PB, PE, PR, RN, RO, SE, SC, TO | 100                          |
| AM, AP, MG, RJ, RS, RR, SP                                            | 125                          |

Fonte: ANA (2019).

### 2.3.1.3 Estimativa de abastecimento animal

A demanda animal foi estimada utilizando a Equação 15.

$$DA = \sum_{i=1}^n N_i \cdot V_i \cdot 30 \quad (15)$$

Em que:

DA: é a demanda hídrica animal (l/mês).

$N_i$ : é o efetivo de animais (neste estudo temos bovinos, suínos e aves).

$V_i$ : são os coeficientes de referência de consumo diário de água adotado (l/dia).

O consumo diário de água para essas categorias de animais foi obtido do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019a), na tabela de rebanhos: conceituação e coeficientes (mínimo, máximo e adotado) (Tabela 10).

Tabela 10 - Consumo de referência diário de água por animal.

| Animal  | Consumo médio adotado diário por cabeça (l/cab.dia) | Fonte adotada                       |
|---------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Bovinos | 50                                                  | ANA (2013)                          |
| Suínos  | 12,5                                                | ONS (2003; 2005)<br>SUDERHSA (2006) |
| Aves    | 0,18                                                | EMBRAPA (2005)<br>SUDERHSA (2006)   |

Fonte: ANA (2019a).

No sistema IBGE, junto à pesquisa pecuária municipal, pesquisou-se a base de dados disponíveis referentes ao efetivo de rebanhos por município. Para o levantamento do número efetivo de animais, o censo agropecuário com referência ao ano 2017 (<https://cidades.ibge.gov.br/>) foi consultado. Para o número efetivo de aves, considerou-se a espécie galináceos (galos, galinhas, frangos, frangas, pintos e pintainhas), que apresenta o maior número de indivíduos, além das espécies de patos, gansos, marrecos, perdizes, faisões, perus e codornas.

Foram considerados a vazão de consumo, desconsiderando as vazões de retirada e retorno.

#### 2.3.1.4 Abastecimento industrial, mineração e saneamento

De acordo com a ANA (2005 e 2019a), a demanda industrial é a categoria mais difícil de ser obtida pela falta de informações adequadas que permitam relacionar parâmetros como tipologia da indústria, produção industrial e consumo de água para cada localidade. De forma semelhante para os setores de mineração, aquicultura e saneamento (lançamento de esgotos).

Portanto, para a estimativa da demanda destes segmentos, optou-se em adotar, nesta pesquisa, os valores declarados no cadastro do SIOUT (Sistema de Outorgas de Águas de Santa Catarina) junto ao banco de dados da SDE, considerando o período até fevereiro de 2023.

### 2.3.2 Estimativa de balanço hídrico

As estimativas das retiradas de água são importantes para determinar um cenário de balanço hídrico (instantâneo) superficial, ou seja, é o déficit hídrico em que se busca atender todas as demandas estimadas.

No entanto, sabe-se que um percentual das vazões retiradas retorna aos corpos hídricos após o atendimento da demanda (consumo), seja na forma de efluentes ou na forma da percolação da água pelo solo no caso das culturas irrigadas. Nesta situação, a literatura propõe o uso de coeficientes de retorno. (ANDRADE et al., 2020). Na Tabela 11 consta alguns coeficientes de retorno propostos na literatura, e que foram utilizados na estimativa do balanço hídrico (acumulativo) superficial.

Tabela 11 - Coeficientes de retorno para algumas finalidades de uso.

| Finalidade                 | Coeficiente de retorno |
|----------------------------|------------------------|
| <sup>1</sup> Abastecimento | 0,8                    |
| Urbano                     | 0,8                    |
| <sup>1</sup> Pecuária      | 0,2                    |
| <sup>1</sup> Indústria     | 0,8                    |
| <sup>2</sup> Irrigação     | 0,2                    |

Fonte: <sup>1</sup>Nota Técnica nº 56/2015/SPR\_ANA; <sup>2</sup>SRHU e FUNARBE, 2011.

Realizou-se a comparação entre as vazões médias mensais e vazões mínimas (50% da Q<sub>90</sub> mensal e trimestral), determinadas nesta pesquisa, com a demanda hídrica mensal objetivando estimar o balanço hídrico (instantâneo e acumulativo). Vale ressaltar que a comparação entre a diferença de vazões e demandas foi feita de forma simplificada para cada subsistema. Sendo assim, o objetivo foi verificar se na totalidade de cada subsistema ocorre déficit ou excesso hídrico.

Para análise do comprometimento hídrico nos subsistemas utilizou-se o Índice de Retirada de Água (IRA) ou *Water Exploitation Index* (WEI) para avaliar o cenário hídrico atual da bacia do rio Araranguá.

O WEI corresponde à razão entre a vazão de retirada total dos usos consuntivos e a vazão média de longo termo ( $Q_{MLT}$ ). (ANA, 2005). Ele é utilizado pela *European Environment Agency* e pelas Nações Unidas e é amplamente empregado como indicador de balanço hídrico em planos de recursos hídricos no Brasil. Para interpretação do balanço hídrico, o WEI apresenta as seguintes faixas de valores e classificações: <5% - situação excelente; 5% a 10% - situação confortável; 10% a 20% - situação preocupante; 20% a 40% - situação crítica; >40% - situação muito crítica.

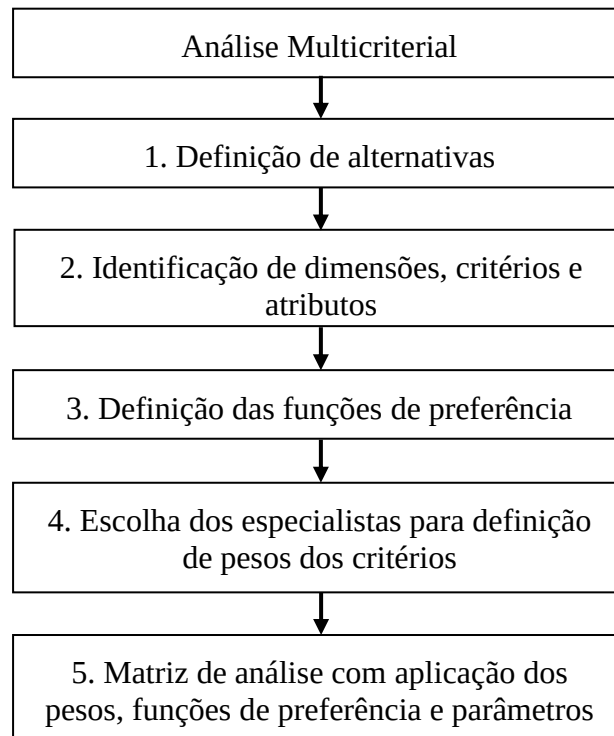
## 2.4 ANÁLISE MULTICRITERIAL À DECISÃO EM OUTORGA DE USO DE ÁGUA

Os métodos da família Promethee pertencem à classe dos métodos de sobreclassificação e consistem em métodos de organização de classificação de preferências para enriquecimento de avaliações. Baseiam-se em duas etapas: i) construção de uma relação de sobreclassificação com a agregação de informações entre as alternativas e os critérios; ii) exploração dessa relação para apoio à decisão. (DIAS et al., 1998).

O método Promethee II adotado para análise multicriterial nesta pesquisa busca auxiliar a encontrar uma solução mais conveniente em situações com diferentes alternativas e critérios para atendimento ao processo de outorga de uso de água. O método é baseado em comparações par-a-par. (SANTOS, 2009). O primeiro passo para a sua aplicação é a definição de índices de preferência agregados e fluxos de hierarquização. De modo geral, os conceitos e parâmetros envolvidos no método têm um significado físico ou econômico de rápida assimilação pelo decisor. (MORAIS; ALMEIDA, 2006).

Dessa forma, para analisar a aplicação de critérios no processo de outorga de uso de água superficial, propôs-se uma estrutura elencando alternativas, dimensões, critérios e atributos relacionados ao gerenciamento de recursos hídricos. A Figura 8 traz a sequência da análise multicriterial estruturada para a análise multivariada.

Figura 8 - Estrutura do modelo de análise multivariada para testar as alternativas adaptado do método Promethee.



Fonte: Adaptado do manual do método Promethee.

#### 2.4.1 Definição de alternativas avaliadas

Diante da problemática dos conflitos de uso de água superficial na bacia do rio Araranguá e na busca de um equilíbrio entre demanda e oferta de água superficial, buscou-se avaliar diferentes alternativas, elencadas abaixo, para avaliação de critérios de concessão de outorga de uso de água.

Para a determinação das alternativas avaliou-se a importância dada aos critérios pelos agentes atuantes (decisores) na gestão dos recursos hídricos. Estes agentes consultados por meio de formulário de pesquisa online foram agrupados em cinco categorias (alternativas ou grupos): Comitê de bacia do rio Araranguá e Afluentes do Mampituba; Instituição de ensino superior; Associação de rizicultores; Agência reguladora de água; Todos os grupos.

- Alternativa 1 (Grupo 1): Comitê de bacia do rio Araranguá e Afluentes do Mampituba;
- Alternativa 2 (Grupo 2): Instituição de ensino superior (IES);
- Alternativa 2 (Grupo 3): Agência reguladora de água;
- Alternativa 3 (Grupo 4): Associação de rizicultores;
- Alternativa 5 (Grupo 5): Todos dos grupos.



## 2.4.2 Identificação de dimensões, critérios e atributos

Neste item, procurou-se identificar as dimensões, critérios e atributos (variáveis representativas dos critérios) para análise das alternativas. Como a tomada de decisão no processo de análise de outorga de uso de água superficial considera, basicamente, a vazão mínima de referência, buscou-se testar outras variáveis ou critérios que viessem a contribuir na tomada de decisão da emissão de outorga.

Os critérios foram agrupados em cinco dimensões: técnico (um critério e um atributo), econômico (dois critérios e dois atributos), legal (um critério e um atributo), social (dois critérios e três atributos) e ambiental (dois critérios e dois atributos), conforme Tabela 12.

Tabela 12 - Dimensão, critérios e atributos considerados na análise multicriterial para testar as alternativas.

(continua)

| Dimensão  | Critério (C)                                           | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Atributos                                               |
|-----------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Técnico   | C1 - Disponibilidade hídrica                           | Quantidade de água disponível para atender às necessidades das demandas considerando as vazões mínimas de referência da bacia do rio Araranguá.<br>Fonte: Adotado $Q_{90 \text{ mensal}}$ (média e máxima) e $Q_{90 \text{ anual}}$ determinadas na bacia.                                                                                                                                                       | $Q_{90 \text{ mensal}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )       |
| Econômico | C2 - Lucratividade                                     | Estimada pelo resultado da diferença entre a renda bruta total e os custos de produção das atividades do setor agrícola dos 16 municípios da bacia do rio Araranguá.<br>Fonte: O Valor Total da Produção (R\$) dos 16 municípios foi obtido no IBGE - Produção Agrícola Municipal (2021) versus o percentual de custos de produção agrícola estimados pela CONAB (2020). Adotado o valor médio, máximo e mínimo. | Percentual (%) de lucratividade do setor agrícola       |
|           | C3 - PIB per capita                                    | Definido por meio da razão entre o valor do Produto Interno Bruto (PIB) e a população residente nos municípios da bacia.<br>Fonte: IBGE (2020). Adotado o valor médio, máximo e mínimo do PIB dos 16 municípios da bacia do rio Araranguá.                                                                                                                                                                       | Valor da renda por habitante em R\$                     |
| Legal     | C4 - Vazão máxima outorgável                           | Definido por 50% da vazão mínima de referência estabelecida no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá.<br>Fonte: Adotado 50% da $Q_{90 \text{ anual}}$ determinada na bacia.                                                                                                                                                                                                                       | 50% da $Q_{90 \text{ anual}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) |
| Social    | C5 - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) | Corresponde a renda municipal per capita ou a renda média de cada residente de determinado município.<br>Adotou-se o índice estabelecido na base do IBGE, composto por três indicadores: longevidade, educação e renda.<br>Fonte: IBGE (2010). Adotado os valores médio, máximo e mínimo do IDHM obtido dos 16 municípios da bacia do rio Araranguá.                                                             | Índice que varia de 0 a 1                               |

Tabela 12 - Dimensão, critérios e atributos considerados na análise multicriterial para testar as alternativas.  
(conclusão).

| Dimensão        | Critério (C)                       | Descrição                                                                                                                                                                                                                                                                               | Atributos                                                                        |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Ambiental       | C6 - Índice de Saneamento          | Adotou-se dois índices de saneamento na base do Sistema Nacional sobre Informações de Saneamento (SNIS).<br>Fonte: SNIS (2020). Foi adotado o valor médio dos 16 municípios da bacia do rio Araranguá.                                                                                  | % de atendimento total de água e esgoto no município                             |
|                 | C7 - Dependência (demanda) hídrica | Este critério diz respeito ao volume de água consumido por finalidade expresso em porcentagem.<br>Fonte: Os usos de abastecimento humano, consumo pecuário e consumo agrícola foram estimados neste estudo, enquanto os usos de aquicultura e industrial foram obtidos no SIOUT (2023). | % do volume de água consumido por tipo de usuário em relação ao total da demanda |
|                 | C8 - Qualidade da água             | Classificação das águas pela Resolução Conama 357/2005, conforme as classes 1, 2, 3 e 4.<br>Fonte: Adotou-se a classe 1 (melhor condição da bacia) e a classe 4 conforme a pior situação encontrada nas amostragens de água realizada neste estudo para a bacia e a classe.             | Classes 1, 2, 3 e 4                                                              |
| Fonte: O autor. |                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                  |

Na escolha dos critérios procurou-se adotar aqueles que apresentassem como características: passível de ser mensurado; que tenha parâmetros de comparação; que não seja redundante entre outros critérios; que tenha relação aos aspectos de gerenciamento dos recursos hídricos; e que tenha disponibilidade de dados.

#### 2.4.3 Definição das funções de preferência

Para Santos (2009), as relações de preferência do método Promethee podem ser expressas em termos de uma função de preferência  $P_j(d_i(a,b))$  para cada critério “i” e tipo  $j = I, II, III, IV, V$  e  $VI$ . Esta função tem valor entre 0 e 1 e indica a intensidade da preferência de uma alternativa “a” sobre uma alternativa “b” em relação aos desvios de valores, sendo:

$$d_i(a,b) = (-1)^k [f_i(a) - f_i(b)] \quad (16)$$

Em que:

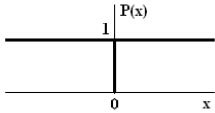
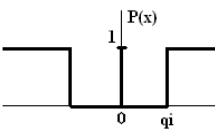
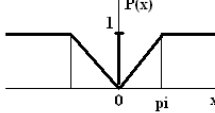
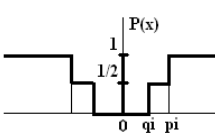
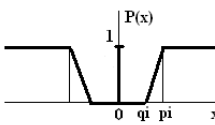
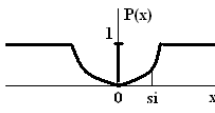
$k = 0$ , se deseja maximizar.

$k = 1$ , se deseja minimizar o valor do critério  $i$ .

O valor 1 indica a preferência absoluta de uma alternativa sobre a outra com relação a um dado critério. Na Tabela 13 estão apresentadas as funções de preferência definidas no

método Promethee, onde segundo Morais e Almeida (2006), para cada uma das funções, normalmente são fixados, até dois parâmetros.

Tabela 13 - Detalhamento das funções de preferência definidas no método Promethee.

| Tipo                                                                                | Característica                                                                                                                                                                                              | Função para o critério i                                                                                                                                   | Gráfico                                                                               | Parâmetros necessários |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| I - Critério Usual                                                                  | Não existe preferência entre $a$ e $b$ , somente se $f(a) = f(b)$ . Quando esses valores são diferentes, a preferência é toda para a alternativa com o maior valor.                                         | $P_i(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se } x_i = 0 \\ 1 & \text{se } x_i \neq q_i \end{cases}$                                                               |    | -                      |
| II - Quase Critério (Tipo U)                                                        | Considera-se uma área de diferença constituída de todos os desvios entre $f(a)$ e $f(b)$ menores que $q$ . Para os desvios maiores a preferência é total.                                                   | $P_{II}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_i  \leq q_i \\ 1 & \text{se }  x_i  > q_i \end{cases}$                                                      |    | $q_i$                  |
| III - Critério de preferência linear (Tipo V)                                       | A intensidade das preferências aumenta linearmente até o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ alcançar $p$ . Além deste valor, a preferência é total.                                                               | $P_{III}(x_i) = \begin{cases}  x_i  / p_i & \text{se }  x_i  \leq p_i \\ 1 & \text{se }  x_i  > p_i \end{cases}$                                           |    | $p_i$                  |
| IV - Critério nível (Tipo escada)                                                   | Não existem preferências entre $a$ e $b$ , quando o desvio entre $f(a)$ e $f(b)$ não excede $q$ ; entre $q$ e $p$ , é considerado um valor de preferência médio (0,5); depois de $p$ a preferência é total. | $P_{IV}(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_i  \leq q_i \\ \frac{1}{2} & q_i <  x_i  \leq p_i \\ 1 &  x_i  > p_i \end{cases}$                           |   | $q_i, p_i$             |
| V - Critério de preferência linear com zona de indiferença (Tipo V com indiferença) | Entre $q$ e $p$ a intensidade das preferências aumenta linearmente. Fora deste intervalo, as preferências são iguais ao caso anterior.                                                                      | $P_V(x_i) = \begin{cases} 0 & \text{se }  x_i  \leq q_i \\ \frac{ x_i  - q_i}{p_i - q_i} & q_i <  x_i  \leq p_i \\ 1 & \text{se }  x_i  > p_i \end{cases}$ |  | $q_i, p_i$             |
| VI - Critério Gaussiana                                                             | A intensidade das preferências aumenta continuamente e sem descontinuidade, ao longo de $x$ . O parâmetro $s$ é a distância entre a origem e o ponto de inflexão da curva.                                  | $P_{VI}(x_i) = 1 - e^{-x_i^2 / 2s_i^2}$                                                                                                                    |  | $s_i$                  |

Fonte: Adaptado de Morais e Almeida (2006) e do manual do Visual Promethee Methods (2013).

Dentre as funções de preferência utilizadas no método Promethee, definiu-se para este estudo o uso de três: tipo I (usual), tipo III (em forma de V) e tipo V (linear). Estas três funções foram selecionadas por entender que atendem aos critérios, atributos e parâmetros propostos para avaliação das alternativas.

A escolha das funções de preferência para cada critério foi feita de forma global, ou seja, para um dado critério selecionou-se a mesma função e os mesmos limiares de preferência “p” e indiferença “q” com vistas a representar as funções de preferência de todos os decisores. Segundo a orientação no manual do método Promethee, a função de preferência é definida por critério, ficando da seguinte forma na análise multicriterial:

- Tipo I (usual): esta função foi adotada para os critérios de “disponibilidade hídrica (C1)”, “vazão máxima outorgável (C4)”, “Índice de Desenvolvimento

Humano Municipal (C5)” e “qualidade de água (C8)”. Estes quatro critérios consideram o desempenho de uma alternativa maior que o desempenho da outra, isto implica considerar a primeira preferível à segunda;

- Tipo III (em forma de V): esta função foi utilizada para os critérios “lucratividade (C2)” e “PIB per capita (C3), pois trata-se de critérios quantitativos de aspecto monetário, não sendo necessário indicar um limite de indiferença ao parâmetro “q”. A partir de um determinado limiar de diferença de desempenho, uma alternativa é totalmente preferível à outra. O limite de preferência “p” adotado foi a diferença absoluta entre o maior e o menor atributo entre as alternativas;
- Tipo V (linear): utilizada para os critérios “dependência hídrica (C7)”, “índices de saneamento (C6)”, semelhante à função III, onde a preferência definida pelo especialista por uma alternativa em relação à outra aumenta linearmente com a diferença de desempenho entre elas e, nesta função, se introduz um limite de indiferença “q”. Nos critérios de dependência hídrica e índice de saneamento considerou-se  $q=10\%$ .

Segundo o manual do método Promethee, a definição dos limiares de preferência “p” e indiferença “q” são requisitos para a aplicação do método Promethee II. Para Santos (2004), a definição dos parâmetros das funções de preferência possibilita a correção de erros que podem ocorrer ao se estimar os valores para os atributos relativos às alternativas.

A avaliação das alternativas (resultados por grupo) sobre os critérios considerou a análise de fluxos positivos e negativos realizada após a comparação paritária entre as alternativas e os pesos atribuídos aos critérios por decisor. Este procedimento é destacado por Moraes e Almeida (2006) e, segundo os autores, é necessário determinar a matriz de sobreclassificação de cada critério por decisor e encontrar os fluxos positivos e negativos. A soma destes dois fluxos é chamada de fluxo líquido de sobreclassificação e representa o balanço entre o poder e a fraqueza da alternativa. Quanto maior  $\Phi(a)$ , melhor a alternativa.

#### **2.4.4 Escolha dos especialistas**

A aplicação do método Promethee II aponta pela necessidade da ponderação dos pesos na análise multicriterial. Neste aspecto, é aconselhável escolher profissionais com expertise na área para definir os pesos que, no caso, se trata sobre gerenciamento de recursos hídricos.

Então, para definição da ponderação dos pesos um formulário on line foi estruturado com uso da plataforma do Google Forms e tendo como base os critérios e atributos previamente definidos. O formulário foi estruturado de acordo com o método Promethee e encontra-se no Apêndice A.

Optou-se em aplicar previamente o formulário em alguns profissionais que atuam com recursos hídricos com vistas a detectar possíveis falhas, dúvidas, ou discordâncias antes de encaminhar aos especialistas. É importante enfatizar, também, que a escolha dos especialistas deu-se por profissionais que atuam no dia a dia com gestão de recursos hídricos.

Os especialistas ficaram segregados em quatro grupos: integrantes do comitê de bacia do rio Araranguá e Afluentes do Mampituba; integrantes de Agências Reguladoras de Água (ARESC e CISAM-SUL) que atuam nos municípios da bacia; representantes de associação de rizicultores; e profissionais de Instituição de Ensino Superior - IES, sendo estes da UNESC (Campus Criciúma) e da Universidade Federal de Santa Catarina (Campus Araranguá).

No total, foram encaminhados 63 formulários aos quatro grupos, sendo 35 aos membros do comitê de bacia, cinco aos representantes de associações de rizicultores da bacia, 14 membros da IES e nove representantes das duas agências reguladoras.

No formulário estão apresentadas dimensões, critérios, atributos e os níveis de escala, adotando-se os valores: desprezível (0,0); baixo (0,25); médio (0,50); alto (0,75); muito alto (1,0). Os decisores avaliaram os critérios a partir de julgamentos baseados nas experiências pessoais. Com a aplicação do formulário, obteve-se a opinião dos especialistas que atribuíram pesos de forma a definir o grau de importância dos critérios e atributos.

#### **2.4.5 Estruturação da matriz de análise**

Segundo Moraes e Almeida (2006), no processo de análise do método Promethee II, as comparações entre alternativas são feitas no último nível de decomposição e aos pares por meio do estabelecimento de uma relação que acompanha as margens de preferência ditadas pelos especialistas. A análise multicriterial apresenta uma melhor compreensão quando estruturada na forma de matriz, que é denominada de matriz de avaliação (Tabela 14).

Tabela 14 - Estrutura da matriz de avaliação das alternativas, critérios e parâmetros para a análise multicriterial.

(continua)

| Dimensão  | Critério                     | Atributos                                                                            | Métrica e Unidade | Mínima ou Máxima | Alternativa 1 – Comitê de Bacia | Alternativa 2 – Instituição de Ensino | Alternativa 3 – Agências Reguladoras de Água | Alternativa 4 – Associação de Rizicultores | Alternativa 5 – Todos os Grupos | Função de preferência |           |   | Peso do atributo |
|-----------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------|---|------------------|
|           |                              |                                                                                      |                   |                  |                                 |                                       |                                              |                                            |                                 | Tipo                  | Parâmetro |   |                  |
|           |                              |                                                                                      |                   |                  |                                 |                                       |                                              |                                            |                                 |                       | p         | q |                  |
| Técnica   | C1 - Disponibilidade hídrica | Q <sub>90</sub> mensal                                                               | m³/s              | Máx.             | 27,38                           | 27,38                                 | 8,58                                         | 27,38                                      | 12,39                           | I                     |           |   | 0,20             |
| Econômico | C2 - Lucratividade           | Percentual de participação do setor agrícola do PIB                                  | %                 | Máx.             | 35,00                           | 35,00                                 | 29,90                                        | 24,80                                      | 29,90                           | III                   | 35        |   | 0,10<br>7        |
|           | C3 - PIB per capita          | Valor da renda por habitante                                                         | R\$               | Máx.             | 61.845,38                       | 14.574,67                             | 39.760,67                                    | 39.760,67                                  | 14.574,67                       | III                   | 61.845,38 |   | 0,09<br>3        |
| Legal     | C4 - Vazão máxima outorgável | 50% da Q <sub>90</sub> mensal                                                        | m³/s              | Máx.             | 4,29                            | 4,29                                  | 6,195                                        | 6,195                                      | 4,29                            | I                     |           |   | 0,20             |
| Social    | C5 - IDHM                    | Índice (varia de 0 a 1) composto por três indicadores: longevidade, educação e renda | Unid.             | Máx.             | 0,701                           | 0,701                                 | 0,788                                        | 0,701                                      | 0,748                           | I                     |           |   | 0,09<br>6        |
|           | C6 - Índice de Saneamento    | Índice de atendimento total de água e esgoto no município                            | %                 | Máx.             | 81,66                           | 42,21                                 | 100,00                                       | 81,66                                      | 42,21                           | V                     |           | 1 | 0,10<br>4        |
|           |                              | Índice de atendimento total de esgoto no município                                   | %                 | Máx.             | 6,20                            | 0,00                                  | 32,65                                        | 6,20                                       | 0,00                            |                       |           |   |                  |

Tabela 14 - Estrutura da matriz de avaliação das alternativas, critérios e parâmetros para a análise multicriterial.

(conclusão)

| Dimensão  | Critério                           | Atributos                                                   | Métrica e Unidade | Mínima ou Máxima | Alternativa 1 – Comitê de Bacia | Alternativa 2 – Instituição de Ensino | Alternativa 3 – Agências Reguladoras de Água | Alternativa 4 – Associação de Rizicultores | Alternativa 5 – Todos os Grupos | Função de preferência |           |   | Peso do atributo |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------|---|------------------|
|           |                                    |                                                             |                   |                  |                                 |                                       |                                              |                                            |                                 | Tipo                  | Parâmetro |   |                  |
|           |                                    |                                                             |                   |                  |                                 |                                       |                                              |                                            |                                 |                       | p         | q |                  |
| Ambiental | C7 - Dependência (demanda) hídrica | Abastecimento Humano                                        | m³/s              | Mín.             | 0,727                           | 0,727                                 | 0,727                                        | 0,727                                      | 0,727                           | V                     | 1         | 1 | 0,095            |
|           |                                    | Consumo Agrícola                                            | m³/s              | Min.             | 99,125                          | 99,125                                | 99,125                                       | 99,125                                     | 99,125                          | V                     | 1         | 1 |                  |
|           |                                    | Consumo Pecuário                                            | m³/s              | Min.             | 0,052                           | 0,052                                 | 0,052                                        | 0,052                                      | 0,052                           | V                     | 1         | 1 |                  |
|           |                                    | Consumo Industrial                                          | m³/s              | Min.             | 0,011                           | 0,011                                 | 0,011                                        | 0,011                                      | 0,011                           | V                     | 1         | 1 |                  |
|           |                                    | Aquicultura                                                 | m³/s              | Min.             | 0,084                           | 0,084                                 | 0,084                                        | 0,084                                      | 0,084                           | V                     | 1         | 1 |                  |
|           | C8 - Qualidade da água             | Classes 1, 2, 3 e 4 Adotado Classe 4 calculado para a bacia | Unid.             | Máx.             | 4                               | 4                                     | 1                                            | 4                                          | 1                               | I                     |           |   | 0,105            |

Fonte: O autor.

O modelo considera algumas possíveis alternativas e as avalia através de critérios pré-estabelecidos, priorizando as mais adequadas e tornando-se apta a tomar decisões multifuncionais. Cada uma das alternativas de solução é avaliada de acordo com os critérios, atributos e pesos estabelecidos pelos decisores.

Nesta tese, a aplicação do método Promethee tem por finalidade encontrar uma ordem de prioridade das alternativas considerando os critérios propostos, ou seja, a importância dos pesos dos critérios atribuídos pelos decisores e analisados por grupo (alternativa). O foco é a contribuição dos atores da bacia hidrográfica na avaliação da outorga de uso de água superficial a partir de critérios de diferentes dimensões.

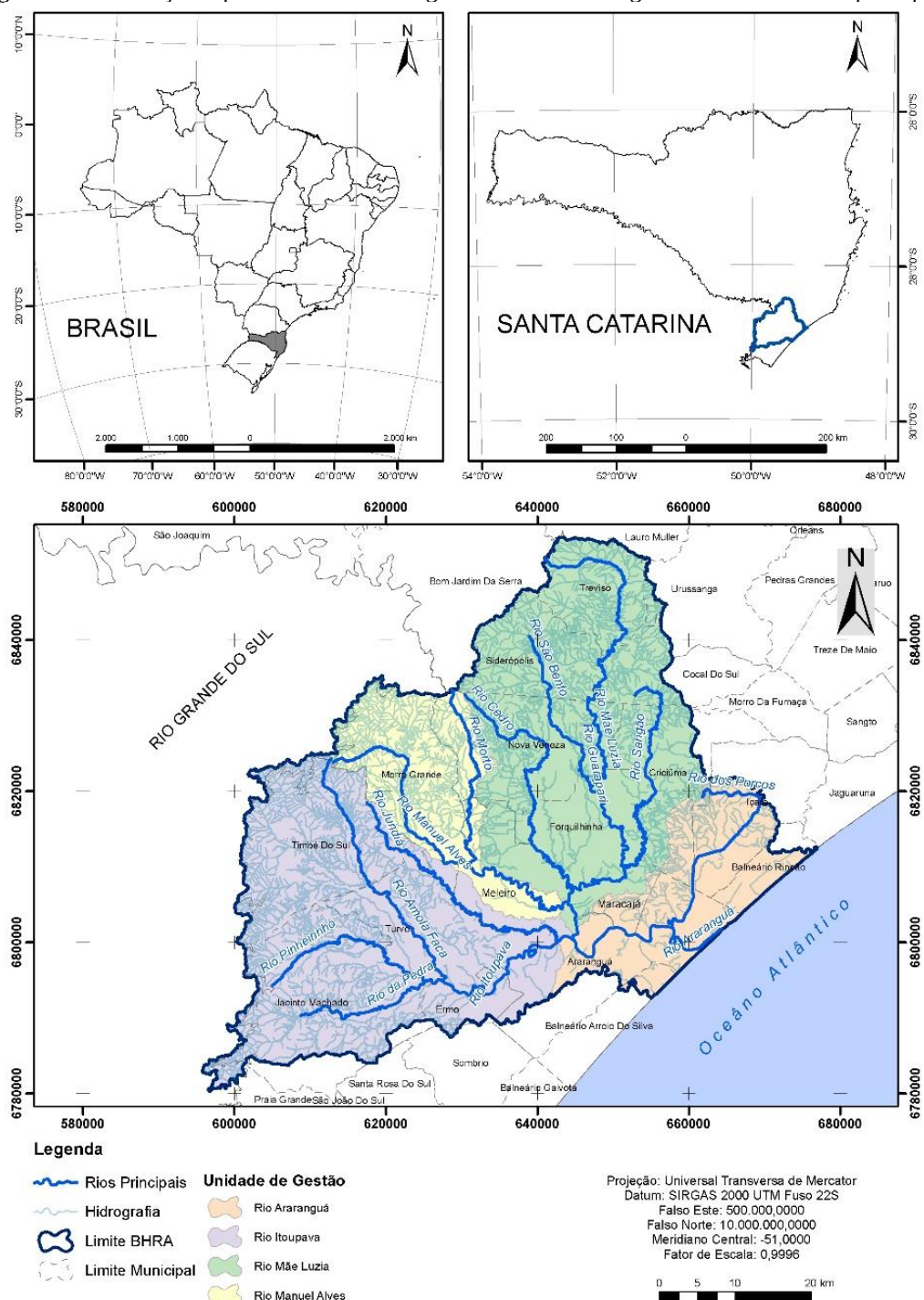
Para dar suporte à análise multivariada foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel® 2010 e o Visual Promethee (versão 1.4).



### 3 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Em Santa Catarina, a Lei n. 10.949, de 09/11/1998 (SANTA CATARINA, 1998), estabelece que, para efeito de planejamento, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos no estado, são caracterizadas 10 (dez) Regiões Hidrográficas. A bacia do rio Araranguá (Figura 9) pertence à Região Hidrográfica 10 - Extremo Sul Catarinense.

Figura 9 - Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Araranguá destacando os rios principais.



Fonte: O autor.

A bacia do rio Araranguá ocupa superficialmente uma área de 3.071,20 km<sup>2</sup>. Localiza-se entre os quadrantes 28°48' a 29°06' Sul e 49°20' a 50°00' W, drenando em superfície os territórios de 17 municípios catarinenses. Entre eles estão grande parte das áreas pertencentes à Araranguá, Balneário Rincão, Criciúma e Jacinto Machado; cerca de 50% do território de Içara; pequena parte do município de Balneário Arroio do Silva; e ínfima área (<5%) do município de Sombrio. Encontram-se totalmente inseridas na bacia as áreas dos municípios de Ermo, Forquilha, Maracajá, Meleiro, Morro Grande, Nova Veneza, Siderópolis, Timbé do Sul, Treviso e Turvo. Desconsiderando a população de Sombrio, a população estimada dos 16 municípios que ocupam parte ou totalmente as áreas territoriais na bacia é de 478.449 habitantes. (IBGE, 2020).

Os subsistemas dos rios principais que comportam a área da bacia são compreendidos pelos rios Itoupava, Manoel Alves, Mãe Luzia, Dos Porcos/Baixo Araranguá. O rio Araranguá, que deságua no oceano, possui 32,8 km de extensão e é formado pelo encontro dos rios Mãe Luiza e Itoupava. Em seu trecho final, o rio Araranguá recebe as águas do rio dos Porcos. (ALEXANDRE, 2000; PRHBRA, 2015).

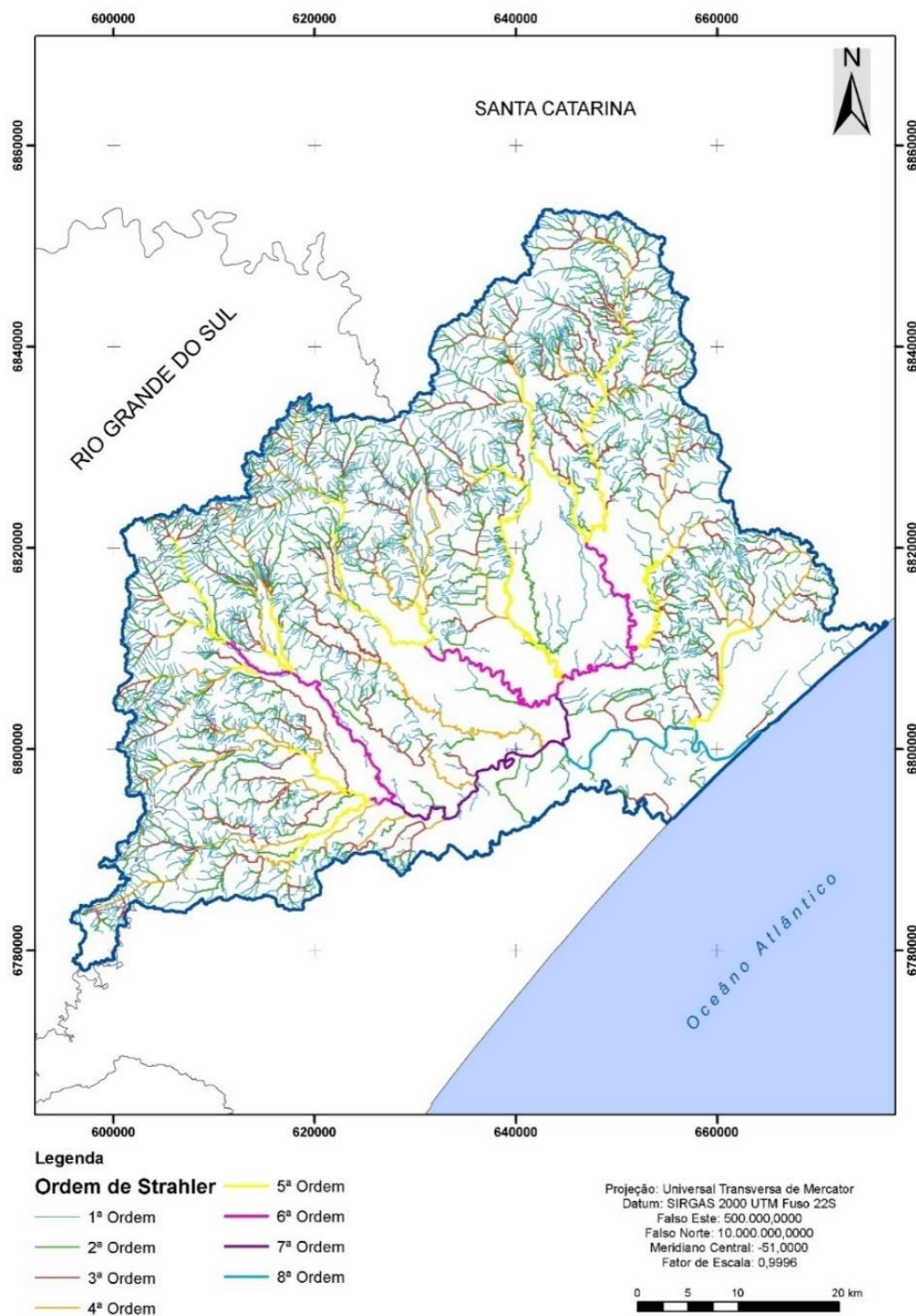
### 3.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

#### 3.1.1 Hidrografia

A partir da hierarquização da hidrografia da bacia do rio Araranguá, a maior ordem de rios encontrada foi de 8ª ordem, que corresponde ao rio Araranguá (Figura 10).

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que, através de canais e tributários, drenam as águas pluviais, sedimentos e substâncias dissolvidas para um canal principal até a sua foz, podendo ser um rio, lago ou mar. (TUCCI, 1995; 2015; BACK, 2014). Os autores consideram, ainda, a bacia como um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados bem como os infiltrados profundamente.

Figura 10 - Hierarquização da ordem do sistema de drenagem na bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

### 3.1.2 Análise morfométrica

De acordo com Villela e Mattos (1975), existe correspondência entre as características morfométricas e o regime hidrológico. Através de relações e comparações entre esses dois

elementos, pode-se determinar indiretamente valores hidrológicos em regiões onde esses dados são escassos.

A determinação de índices morfométricos auxilia no planejamento e a gestão de projetos em recursos hídricos. (BACK, 2014; TUCCI, 2015). Por outro lado, esses índices, isoladamente, não são capazes de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia hidrográfica. Há a necessidade de estudá-los de forma detalhada, correlacionando-os para entendimento da dinâmica ambiental de determinado local ou região hidrográfica.

Utilizando o *software* ArcGis 10.3®, foram extraídos os índices físicos da bacia do rio Araranguá e dos subsistemas dos rios principais que integram a bacia (Tabela 15). Pode-se observar que a bacia apresenta uma área de drenagem de 3.071,2 km<sup>2</sup>, seguido dos subsistemas dos rios Itoupava (1.137,76 km<sup>2</sup>), Mãe Luzia (1.111,52 km<sup>2</sup>), dos Porcos/Baixo Araranguá (428,67 km<sup>2</sup>) e Manoel Alves (393,25 km<sup>2</sup>).

Tabela 15 - Índices físicos da bacia do rio Araranguá e dos subsistemas de rios principais.

| Símbolo | Parâmetros                                  | Unidade         | Subsistemas      |                                |               |              | Bacia do rio Araranguá |
|---------|---------------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------|--------------|------------------------|
|         |                                             |                 | rio Manoel Alves | rio Dos Porcos/Baixo Araranguá | rio Mãe Luzia | rio Itoupava |                        |
| A       | Área de drenagem                            | km <sup>2</sup> | 393,25           | 428,67                         | 1.111,52      | 1.137,76     | 3.071,20               |
| P       | Perímetro da bacia                          | km              | 191,93           | 184,37                         | 254,32        | 310,75       | 504,97                 |
| Lx      | Comprimento axial                           | km              | 38,67            | 23,98                          | 53,33         | 52,10        | 53,33                  |
| Lt      | Comprimento total de rios                   | km              | 856,96           | 487,29                         | 1.933,71      | 2.087,50     | 5.365,46               |
| L       | Comprimento do rio principal                | km              | 58,76            | 30,96                          | 96,07         | 29,10        | 96,07                  |
| Ev      | Distância nascente - foz                    | km              | 38,69            | 21,14                          | 53,23         | 51,34        | 70,33                  |
| H       | Diferença de cotas entre as curvas de nível | m               | 20,00            | 20,00                          | 20,00         | 20,00        | 20,00                  |
| Lcn     | Comprimento das curvas de nível             | km              | 5.249,11         | 733,39                         | 8.773,89      | 11.256,67    | 26.045,13              |
| N       | Número total de rios                        | -               | 594,00           | 243,00                         | 1.084,00      | 1.231,00     | 3.152,00               |
| Lb      | Comprimento da bacia                        | km              | 38,68            | 23,97                          | 53,33         | 52,11        | 70,88                  |
| Dec     | Declividade média da bacia                  | m/m             | 0,27             | 0,03                           | 0,16          | 0,20         | 0,17                   |
|         |                                             | %               | 26,70            | 3,42                           | 15,79         | 19,79        | 16,96                  |

Fonte: O autor.

De posse dos dados físicos deu-se entrada no *software* HidroBacias (BACK, 2014), onde foram determinados os parâmetros morfométricos correspondentes à forma da bacia, sistema de drenagem e relevo (Tabela 16).

Tabela 16 - Parâmetros morfométricos estimados relativos à forma da bacia, sistema de drenagem e relevo da bacia do rio Araranguá.

| Símbolo | Índice                                   | Unidade            | Bacia do rio Araranguá |
|---------|------------------------------------------|--------------------|------------------------|
| Kc      | Coeficiente de Gravelius                 | -                  | 2,57                   |
| Kf      | Índice de conformação                    | -                  | 1,08                   |
| Ic      | Índice de circularidade                  | -                  | 0,15                   |
| Re      | Razão de alongação                       | -                  | 1,17                   |
| ICo     | Índice entre comprimento e área da bacia | -                  | 1,28                   |
| Dd      | Densidade de drenagem                    | km/km <sup>2</sup> | 1,747                  |
| Sem     | Extensão média do escoamento superficial | km                 | 0,143                  |
| Eps     | Extensão do percurso superficial         | km                 | 0,286                  |
| Cm      | Coeficiente de manutenção                | m <sup>2</sup> /m  | 572,40                 |
| Dr      | Densidade de rios                        | Nr/km <sup>2</sup> | 1,026                  |
| Ct      | Coeficiente de torrencialidade           | -                  | 1,793                  |
| Dc      | Densidade de confluências                | -                  | 1,026                  |
| Sin     | Sinuosidade do curso d'água              | -                  | 1,366                  |
| Is      | Índice de sinuosidade                    | %                  | 26,79                  |
| S       | Declividade média do rio principal       | m/m                | 0,01                   |
| -       | Classe                                   | -                  | II - Reto              |

Fonte: O autor.

Em análise aos índices morfométricos da bacia, verifica-se que o índice de Gravelius (Kc) encontrado na área é de 2,57 e, de acordo com Back (2014), a forma difere do formato circular, enquadrando a bacia à não sujeita a grandes enchentes. No entanto, quando se analisa o fator de forma (Kf) que relaciona a propensão a enchentes, o valor de 1,08 coloca a bacia na condição de sujeita a enchentes.

O índice de circularidade (Ic) encontrado de 0,15 indica que a bacia possui forma mais alongada, favorecendo o processo de escoamento. Schumm (1956) informa que o índice de circularidade igual a 0,206 representa um nível moderado de escoamento, não contribuindo na concentração de águas que possibilitem cheias rápidas. Valores maiores que 0,206 indicam que a bacia tende a ser mais circular, favorecendo os processos de inundação. Valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, favorecendo o processo de escoamento.

Back (2014) descreve que quanto maior for a razão de alongação ( $Re$ ), mais o formato da bacia se aproxima de um círculo e maior será a probabilidade de enchentes. O valor de  $Re$  encontrado foi de 1,17, o que indica que a bacia possui tendência a enchentes. Já o índice de comprimento da bacia ( $ICo$ ) de 1,28 indica que ela é alongada.

O valor de densidade de drenagem ( $Dd$ ) ( $1,747 \text{ km/km}^2$ ) enquadra a bacia como mediana, sendo classificado por Beltrame (1994) como mediana os valores obtidos entre 0,5 e  $2,0 \text{ km/km}^2$  e como alta aquele  $>2,01 \text{ km/km}^2$ . A densidade de drenagem é um indicativo do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem e, por esse índice, pode-se ter uma ideia da velocidade que a água deixa a bacia hidrográfica. Valores altos de densidade de drenagem refletem bacias altamente dissecadas que respondem rapidamente à chuva, enquanto valores baixos refletem bacias pobremente drenadas e com baixa velocidade de resposta hidrológica.

O valor de extensão média do escoamento superficial ( $Ems$ ) foi de 0,143 km, enquanto o valor da extensão do percurso superficial ( $Eps$ ) foi de 0,286 km. Quanto maior o valor da extensão do percurso superficial, mais tempo a água terá que escoar sobre o terreno até atingir um curso d'água. Considerando que a velocidade de escoamento da água sobre a superfície do terreno geralmente é menor do que a velocidade da água nos rios e canais, verifica-se que a extensão média do escoamento superficial pode afetar o tempo de concentração da bacia e, por consequência, outros parâmetros hidrológicos são influenciados, como tempo de pico, vazão de pico e o hidrograma da bacia. (BACK, 2014).

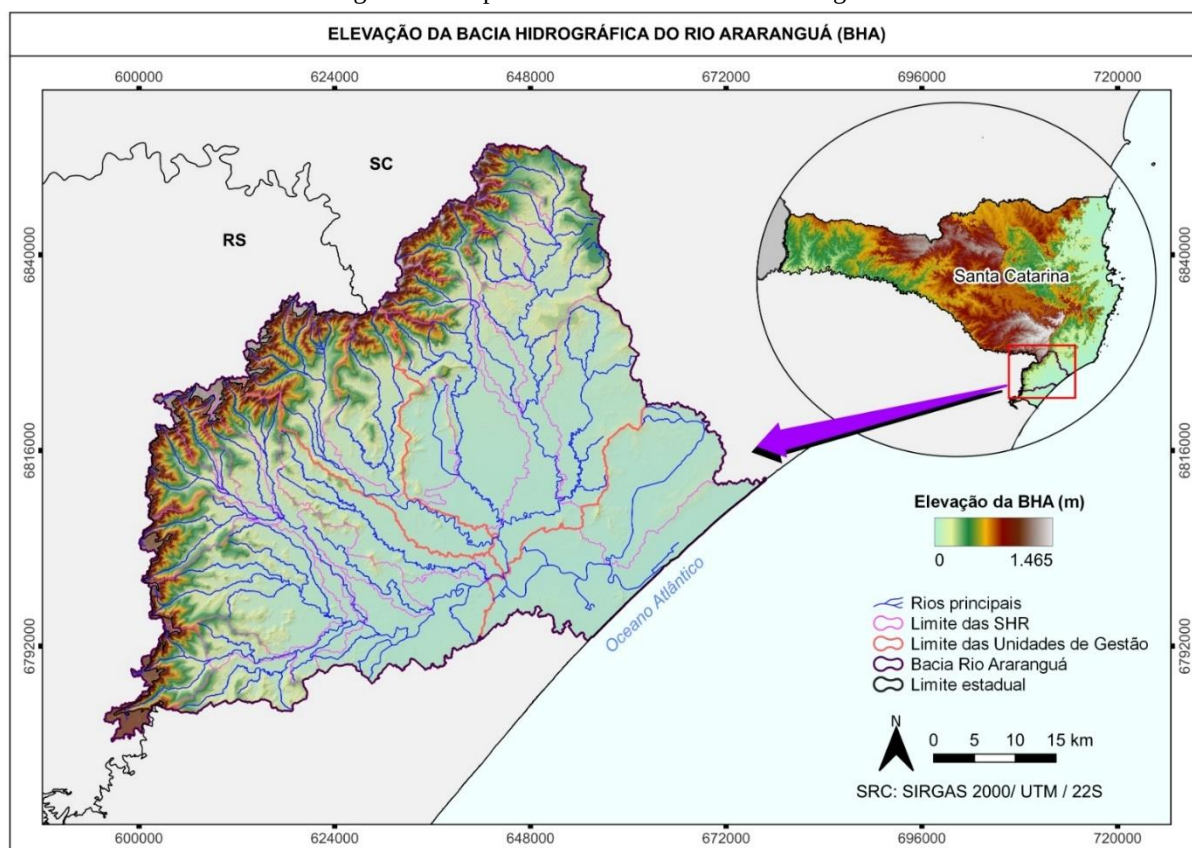
O coeficiente de manutenção ( $Cm$ ) obtido da bacia é de  $572,40 \text{ m}^2/\text{m}$ . Este coeficiente representa a área mínima necessária para a manutenção de um (1) metro de canal de escoamento. (BACK, 2014). O valor da densidade de rios ( $Dr$ ) foi de  $1,026 \text{ canais/km}^2$ . Nesse sentido, Christofolletti (1980) enfatiza que o cálculo da densidade dos rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos d'água. Esse parâmetro indica a capacidade da bacia de gerar novos cursos d'água em função de características pedológicas, geológicas e climáticas na região de estudo. Contudo, a situação de retificação e canalização de cursos d'água para avanço da cultura de arroz irrigado tem modificado a rede de drenagem pluvial, prejudicado a geração de novos cursos d'água.

A sinuosidade é um fator que está relacionado à velocidade do fluxo da água, pois quanto maior a sinuosidade, maior a dificuldade encontrada pelo deslocamento da água no seu caminho, o que implica menor velocidade. O valor da sinuosidade ( $Sin$ ) encontrado foi de 1,366. Segundo Alves e Castro (2003), valores de sinuosidade entre 1 e 2 apontam para formas de transição entre regulares e irregulares e valores maiores que 2 indicam canais tortuosos.



O índice de sinuosidade ( $I_s$ ) obtido foi de 26,79%. Em seus trabalhos, Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade, onde a bacia do rio Araranguá ficou classificada como pouco sinuosa (Classe II - Reto). Os relevos podem ser classificados, qualitativamente, de acordo com as suas declividades médias. Assim, a bacia do rio Araranguá apresenta declividade média de 16,96%, enquanto o valor do coeficiente de torrencialidade ( $C_t$ ) (1,793) indica tendência para inundações. A bacia varia de zero a 1465 metros de altitude (Figura 11), sendo que o rio principal (Mãe Luzia e Araranguá) atinge 96,07 km.

Figura 11 - Hipsometria da bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

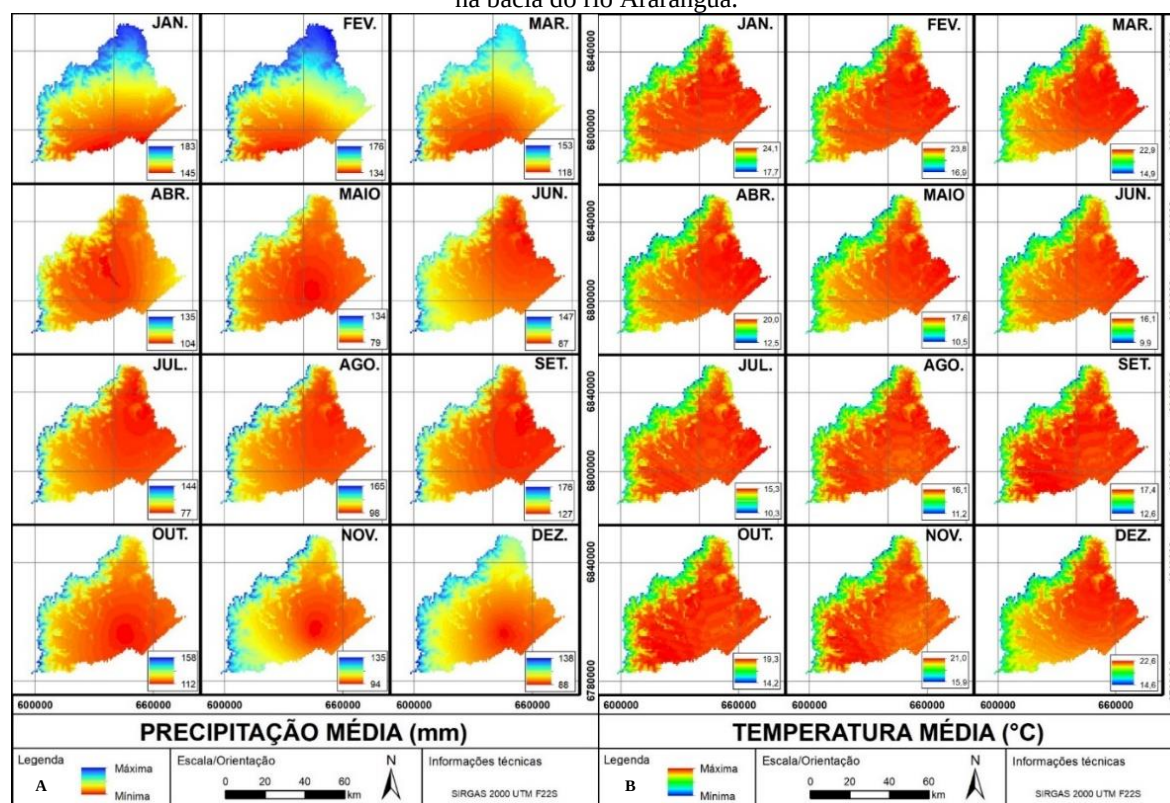
### 3.1.3 Regime climático

No sul do Brasil o comportamento das chuvas está relacionado a eventos de meso e macro escalas, como o El Niño e La Niña, diretamente ligados às mudanças oceânicas e atmosféricas da região equatorial do oceano Pacífico Tropical. (MONTEIRO, 2007; JORGE, 2009). As irregularidades climáticas não somente ocasionam a falta ou o excesso de um elemento meteorológico, mas implicam também na alteração de sua distribuição espaço-temporal.

O regime climático na região da bacia do rio Araranguá é classificado, segundo a classificação climática de Köppen, como do tipo Cfa (mesotérmico temperado, úmido, sem estação seca e com verão quente). A temperatura média do mês mais frio é entre  $>10^{\circ}\text{C}$  a  $<15^{\circ}\text{C}$  e com verões quentes (temperatura média do mês mais quente superior a  $22^{\circ}\text{C}$ ), embora ocorram variações significativas em alguns elementos climáticos, como a pluviometria e a temperatura. (BRAGA; GHELLRE, 1999).

Na Figura 12A está representada a variação mensal das chuvas na superfície da bacia do rio Araranguá. Estes dados são provenientes do trabalho de Hijmans et al. (2005), onde foram usadas nas interpolações de dados de precipitação pluviométrica 47554 estações meteorológicas, considerando a série histórica de 1960 a 1990. Na Figura 12B estão representadas as isotermas de temperatura média em superfície, sendo geradas as superfícies climáticas nas áreas globais da Terra, interpoladas em alta resolução a partir de fontes de dados climáticos, incluindo 69365 estações climáticas que registram temperatura do ar e considerando a série histórica de 1950 a 2000. (HIJMANS et al., 2005).

Figura 12 - Variação mensal da precipitação pluviométrica média (A) e da temperatura média em superfície (B) na bacia do rio Araranguá.



Fonte: Adaptado de Hijmans et al. (2005).

A pluviometria média anual no sul de Santa Catarina, onde está inserida a bacia do rio Araranguá, varia de 1.220 a 1.660 mm, com probabilidade de 50% (1300 a 1400 mm) no litoral



sul do estado (COAN, et al., 2014), e apresentando o total anual de dias de chuva entre 98 e 150 dias. (BACK, 2009).

O máximo pluviométrico ocorre no verão (janeiro, fevereiro e março), enquanto o índice mínimo, na maioria das vezes, é registrado no inverno e, secundariamente, no outono. (NIMER, 1989). Observa-se em todos os meses que a pluviosidade é menor na planície litorânea e os maiores valores são observados próximos à encosta da Serra Geral, com destaque nas cabeceiras do rio Mãe Luzia.

### 3.1.4 Uso e ocupação do solo

Os resultados observados na Tabela 17 evidenciam que a área do subsistema Mãe Luzia (considerando a área da estação fluviométrica Forquilha) é ocupada em 12% de área urbana, onde predomina a influência de despejo de esgoto doméstico das cidades de Treviso, Siderópolis, Nova Veneza, Forquilha e parte da cidade de Criciúma. Por outro lado, essa mesma região tem cobertura de florestas (56% a 72%) situadas especialmente nas cabeceiras dos rios principais próximos às escarpas da serra.

No tocante, quando se observa os percentuais de área ocupada por agricultura e pastagens, as regiões dos subsistemas de Manoel Alves e Itoupava, onde encontram-se as estações fluviométricas de Foz do Manoel Alves (11%), Ermo (19,56%), Turvo (11,1%) e Taguarucu (22,26%), contribuem com aumento das concentrações dos elementos cálcio, magnésio e potássio identificados nas análises de qualidade de água superficial obtidas nas estações amostrais.

Tabela 17 - Classificação de uso e cobertura do solo nas áreas das estações fluviométricas e na bacia do rio Araranguá.

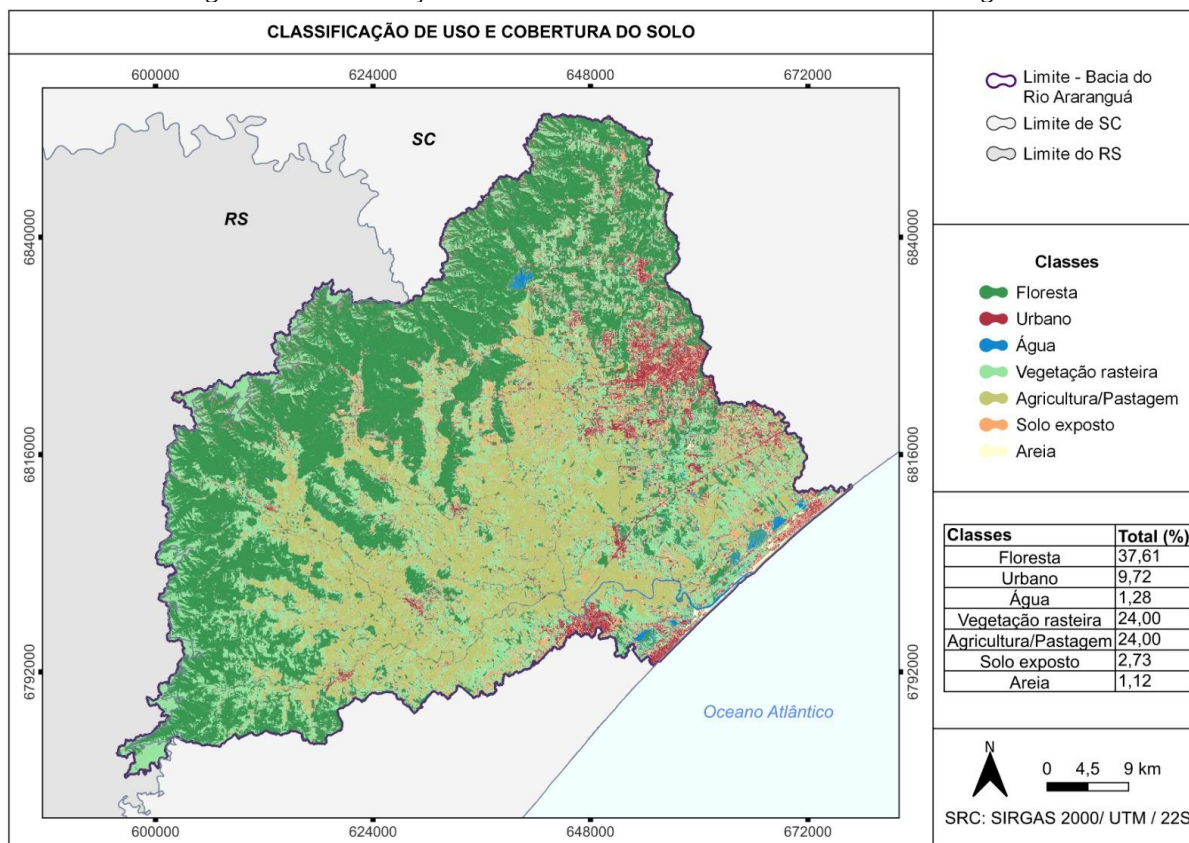
| Sistemas         | Floresta (%) | Vegetação rasteira (%) | Urbano (%) | Agricultura e pastagem (%) | Água (%) | Solo exposto (%) | Areia (%) | Área total (km <sup>2</sup> ) |
|------------------|--------------|------------------------|------------|----------------------------|----------|------------------|-----------|-------------------------------|
| Serrinha         | 72,00        | 17,00                  | 8,00       | 0,22                       | 2,30     | 0,44             | 0,04      | 116,30                        |
| Forquilha        | 56,00        | 22,55                  | 12,00      | 6,40                       | 0,94     | 1,56             | 0,55      | 507,80                        |
| Foz Manoel Alves | 60,00        | 18,00                  | 6,70       | 11,00                      | 0,16     | 2,00             | 2,14      | 346,80                        |
| Ermo             | 49,00        | 26,00                  | 3,90       | 19,56                      | 0,20     | 1,23             | 0,11      | 822,87                        |
| Turvo            | 59,00        | 24,30                  | 4,35       | 11,10                      | 0,20     | 0,95             | 0,10      | 323,15                        |
| Taguarucu        | 46,00        | 26,00                  | 3,90       | 22,26                      | 0,22     | 1,50             | 0,12      | 902,98                        |
| Bacia Araranguá  | 37,61        | 24,00                  | 9,72       | 23,54                      | 1,28     | 2,73             | 1,12      | 3072,26                       |

Fonte: O autor.

De forma geral, observa-se que 37,61% da área da bacia do rio Araranguá é ocupada por floresta, situada predominantemente nas escarpas da serra, corroborando com os resultados

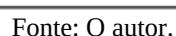
de qualidade das águas superficiais nas estações amostrais posicionadas nas cabeceiras dos rios principais. Por outro lado, observa-se que a bacia tem quase  $\frac{1}{4}$  (23,54%) ocupada por agricultura e pastagem, o que evidencia que a atividade agrícola é o que predomina na bacia. A Figura 13 apresenta o mapa de classificação de uso e cobertura do solo da bacia do rio Araranguá.

Figura 13 - Classificação de uso e cobertura do solo na bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

Embora a bacia do rio Mãe Luzia esteja ocupada em maior percentual por florestas, conforme se observa na Tabela 17 junto as estações da Serrinha (72%) e Forquilha (56%), esta bacia é ocupada pelas áreas impactadas pela mineração de carvão pertencentes a Bacia Carbonífera Catarinense (BCC). Em consulta a base de dados do Geoportal da Ação Civil Pública (ACP) do carvão, consta 1.414,54 ha de lavra a céu aberto ocupadas predominantemente por pilhas de estéril, 2.191,63 ha de áreas com depósito de rejeito e 150,63 ha de áreas a céu aberto associado a depósitos de rejeito, além das áreas de lavra de subsolo (hachuras em cor escura), que juntas tem impactado significativamente a qualidade das águas superficiais. Na Figura 14 constam as áreas mapeadas com atividades de mineração de carvão na porção da região da bacia do rio Araranguá, especialmente na bacia do Mãe Luzia.





Os impactos ambientais negativos provocados pelas atividades de mineração de carvão são alarmantes e remontam a décadas passadas. (BARBOSA, ALCOVER NETO e SOBRAL, 2002). Segundo os mesmos autores, à medida que jazidas de carvão eram exauridas, as carboníferas se deslocavam para novas reservas deixando para trás grandes depósitos de rejeitos e pilhas de estéreis ricos em poluentes.

Loch (1991) apud Kopezinski (2000) aponta uma forte influência da exploração carbonífera nas atividades agrícolas na BCC, promovendo a degradação da vegetação, alterações químicas do solo, além da poluição na rede hidrográfica. A degradação ambiental na BCC foi alarmante e refletiu numa série de conflitos de ordem legal. Baseado nisso, em janeiro de 2000 o Ministério Público Federal (MPF) do estado de Santa Catarina, sentenciou as empresas carboníferas a recuperarem o passivo ambiental (NASCIMENTO et al., 2002).

Estudos recentes realizados nas águas superficiais do sul de Santa Catarina (CARDOSO et al., 2022), permitiu constatar que as águas superficiais foram classificadas em dois grupos de formações geológicas, estando um grupo relacionado as rochas sedimentares e o outro as rochas cristalinas do embasamento. Na bacia sedimentar as amostras tiveram maior correlação com Eh,  $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca, Mg, CE, Mn, acidez, Zn e Na; enquanto o embasamento cristalino correlacionou melhor a pH, Cu, Al, K e Fe. Os autores concluíram que as concentrações anômalas têm uma relação geogênica profunda, ou seja, as concentrações dos analitos de interesse refletem as características do substrato geológico da região e os solos que resultam do intemperismo dessas rochas. E ainda, que as águas superficiais podem ser naturalmente inadequadas para alguns usos pretendidos, mesmo não sendo afetadas pela drenagem ácida de mina (DAM).

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

### 4.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

#### 4.1.1 Disponibilidade hídrica qualitativa

A água é um componente básico dos ciclos geoquímicos e bioquímicos, sendo constituída, nos próprios mananciais naturais, por outras substâncias, tais como organismos vivos, sais dissolvidos, materiais em suspensão, entre outros elementos. (LENZI; ERVIM, 2009). Embora em muitos locais a água não esteja presente como substância pura, muitas das vezes cumpre as suas funções de uso, não sendo considerada poluída. Em termos de qualidade, a captação de água superficial da bacia do rio Araranguá tem atendido alguns tipos de uso, porém, dependendo da finalidade, apresenta restrições.

No processo dinâmico do ciclo da água, várias são as fontes de contribuições que podem alterar as características naturais das águas superficiais e subterrâneas, podendo tais fontes serem naturais ou antrópicas. Nos rios Sangão, Fiorita e Mãe Luzia, os estudos realizados por Alexandre (2000) verificaram que o pH variava entre 2 e 4, com elevadas concentrações de sulfatos, acidez e metais dissolvidos, estando às concentrações de chumbo, zinco e cobre das águas várias vezes excedentes aos padrões ambientais. Essa condição é causada pela drenagem ácida de mina (DAM), que ainda contribui com a poluição destes rios na bacia do Mãe Luzia.

Nos rios que integram a bacia do rio Mãe Luzia, compreendida pelas SHR 01 a SHR 08 (Tabela 6), o pH variou de 2,8 a 7,6 na campanha menos chuvosa (inverno), com média de 5,52, e na campanha de chuvosa (janeiro a março), de 2,49 a 7,34, com média de 5,63. Os maiores valores de pH foram encontrados nos rios Serrinha, São Bento, Da Serra e do Cedro. Por outro lado, os baixos valores de pH são encontrados nas estações de amostragem dos rios Sangão e Mãe Luzia devido a lixiviação da DAM oriunda de antigos depósitos de rejeito e pilhas de estéril, da contribuição de águas ácidas de antigas bocas de minas e das características do substrato geológico da região (CARDOSO et al., 2022).

Verifica-se que, mesmo na estação chuvosa com aumento da vazão dos rios, o pH mantém-se extremamente baixo ( $<3,0$ ) no rio Sangão e nas estações no leito principal do rio Mãe Luzia ( $>2,91$  a  $<4,55$ ). Os resultados de pH corroboram com as concentrações de condutividade elétrica (CE), sendo que nos rios Sangão e Mãe Luzia foram encontrados valores máximos variando de  $1800 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$  (verão) a  $8500 \mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$  (inverno).

Nas bacias dos rios Manoel Alves e dos Porcos/Baixo Araranguá, o pH dos rios que integram estes dois subsistemas variaram de 6,15 a 7,4, com média entre 6,4 a 7,0, permanecendo dentro limites estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 para rios Classe 2. Nos rios que integram o subsistema do Itoupava, em termos de pH, as águas são de boa qualidade, variando de 5,5 a 8,6, com média de 6,99 a 7,16.

A CE da água refere-se à capacidade da água de conduzir eletricidade, sendo a água um excelente solvente eletrolítico que pode dissolver muitas substâncias iônicas em sua estrutura molecular. A condutividade indica a quantidade de íons dissolvidos na água, sendo que águas que contêm substâncias dissolvidas, como sais minerais, tem uma alta condutividade elétrica. A água com alta CE pode indicar a presença de poluentes, como sais minerais, metais pesados e produtos químicos. Ambientes aquáticos com valores de CE até  $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  refletem águas de boa qualidade e acima do referido valor passam a ser inadequadas ao consumo humano e podem indicar ambientes impactados. (CETESB, 2016; SCARLATTI, 2019).

A CE é um parâmetro de qualidade importante para fins de irrigação e avaliação indireta da salinidade. Os valores de CE encontrados na bacia do Itoupava variaram de  $18 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $1400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (média de  $43,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $102,85 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ); na bacia do Manoel Alves de  $24,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $2900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (média de  $43,2 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $102,85 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ); e dos Porcos/Baixo Araranguá de  $72,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $4300 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (média de  $194,13 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $2478,08 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). As altas concentrações de CE foram identificadas na estação EA-43-IT (Itoupava), nas EA-46-AR, EA-47-AR e EA-49-AR (Porcos/Baixo Araranguá) e na EA-06-ML (Mãe Luzia), estando todos estes pontos relacionados à salinidade devido a influência das águas salobras. No rio Sangão, nas estações EA-08-ML e EA-09-ML, a variação da CE foi de  $900 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $1220 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  (média de  $1060,0 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  a  $1172,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), estando relacionada à presença de metais na forma dissolvida (Fe, Al e Mn).

Estas informações corroboram com as análises de salinidade, sendo 0,883‰ (EA-06-ML), 0,916‰ (EA-46-AR), 2,176‰ (EA-47-AR) e 1,819‰ (EA-49-AR). Isso indica a presença de sais solúveis influenciados pela cunha salina que adentra nos rios da bacia do Araranguá. Essa condição de salinidade acaba sendo sensível aos usuários de água, especialmente para a demanda da cultura de arroz irrigado.

Turbidez, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST) e sólidos totais (ST) foram os parâmetros que apresentaram as maiores diferenças entre máximas e mínimas, característica que reflete em desvios padrão mais altos. Esta situação é evidenciada na bacia do rio Mãe Luzia na amostragem de inverno (menos chuvosa). No caso dos SST, as diferenças ocorreram na amostragem chuvosa, provavelmente devido ao carregamento de sólidos

que deixam a água turva. Os maiores valores de SDT e ST foram identificados nas estações EA-06-ML (SDT 4917 mg.L<sup>-1</sup> e ST 5036 mg.L<sup>-1</sup>) na foz do rio Mãe Luzia; EA-22-MA (SDT 1603 mg.L<sup>-1</sup> e ST 1665 mg.L<sup>-1</sup>) na foz do rio Manoel Alves; EA-46-AR (SDT 1246 mg.L<sup>-1</sup> e ST 1265 mg.L<sup>-1</sup>) e EA-47-AR (SDT 2398 mg.L<sup>-1</sup> e ST 2573 mg.L<sup>-1</sup>) no rio Araranguá; e EA-49-AR (SDT 1883 mg.L<sup>-1</sup> e ST 2068 mg.L<sup>-1</sup>) na foz do rio dos Porcos.

As variações de turbidez e SST ocorrem porque no período de estiagem os rios ficam com a água mais transparente, enquanto no período chuvoso ocorre arraste de sólidos, deixando a água bastante turva. Algumas variáveis de qualidade da água apresentam forte relação com a vazão dos rios. A concentração delas cresce com o aumento da vazão e decresce mais lentamente ao diminuir a vazão. Isso foi verificado nas variáveis SST, ST e turbidez. Esta condição pode estar relacionada ao sedimento (LIMA, 2004), que é revolvido devido ao maior fluxo das águas no fundo da calha dos rios ou devido ao carreamento de partículas de sólidos vindos de área agrícolas, de mineração (areia e argilas) e da drenagem pluvial das áreas urbanas.

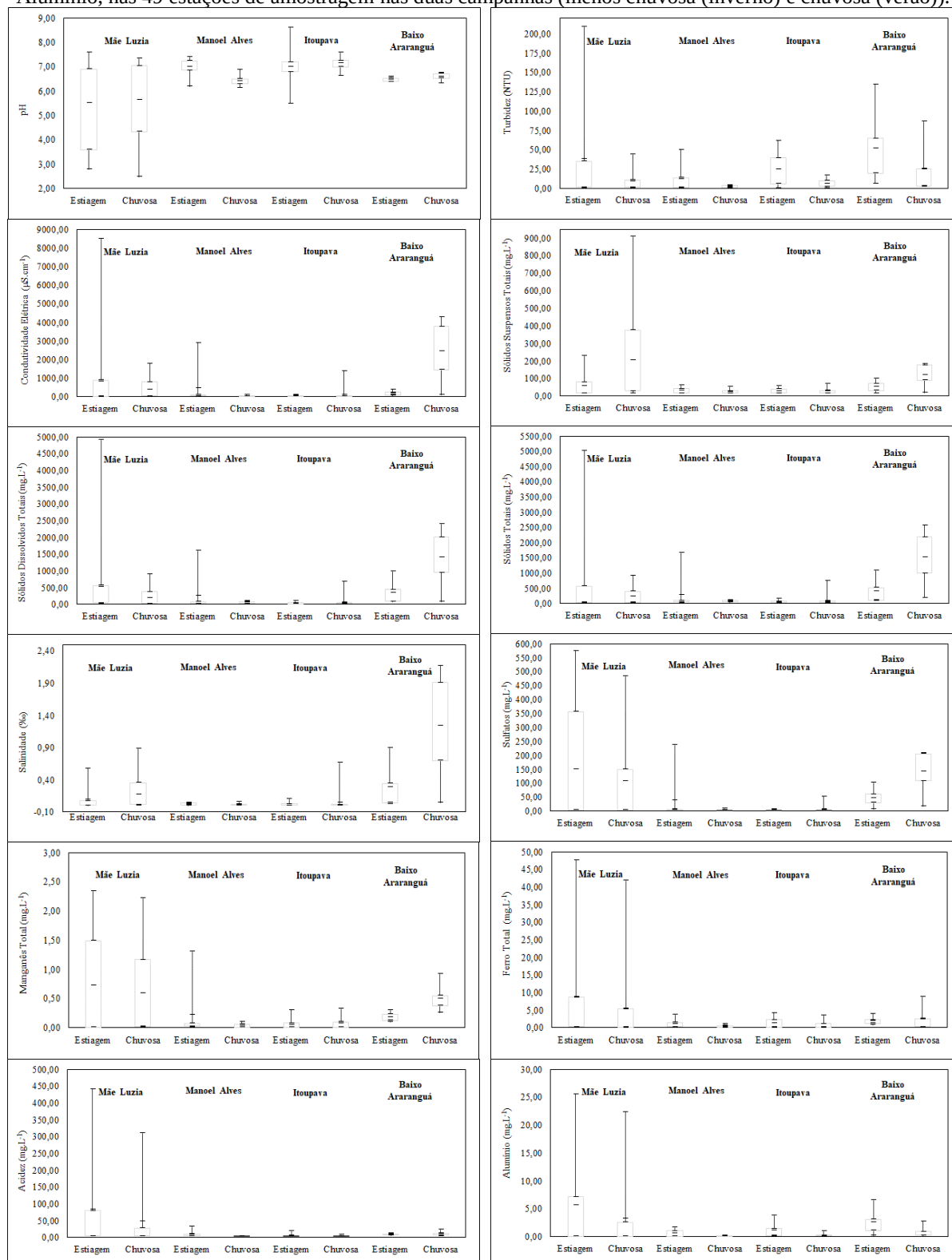
Em relação aos metais (Fe, Mn, Al), sulfatos e acidez, verifica-se que as maiores variações ocorrem na bacia do rio Mãe Luzia, especialmente na amostragem de inverno. As estações de amostragem mais impactadas por estes elementos são: EA-03-ML (Fe 25,94 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 2,34 mg.L<sup>-1</sup>, Al 5,7 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 443,0 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 133,7 mg.L<sup>-1</sup>), EA-04-ML (Fe 1,34 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 1,49 mg.L<sup>-1</sup>, Al 2,8 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 297,5 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 68,2 mg.L<sup>-1</sup>), EA-05-ML (Fe 13,6 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 2,26 mg.L<sup>-1</sup>, Al 8,4 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 387,5 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 163,6 mg.L<sup>-1</sup>) e EA-06-ML (Fe 1,36 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 0,74 mg.L<sup>-1</sup>, Al 2,6 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 575,2 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 80,4 mg.L<sup>-1</sup>) localizadas no leito do rio Mãe Luzia; EA-08-ML (Fe 47,7 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 2,25 mg.L<sup>-1</sup>, Al 25,6 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 356,8 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 441,48 mg.L<sup>-1</sup>) e EA-09-ML (Fe 31,32 mg.L<sup>-1</sup>, Mn 1,90 mg.L<sup>-1</sup>, Al 20,1 mg.L<sup>-1</sup>, Sulfatos 363,0 mg.L<sup>-1</sup>, Acidez 426,08 mg.L<sup>-1</sup>) situados no meio e foz da sub-bacia do rio Sangão.

Cabe ressalva à bacia do Mãe Luzia, que é fortemente impactada pelo despejo de esgoto sanitário associado à poluição da DAM. Nos estudos realizados por Mello e Abrahão (1998) e FEPAM (2002), a oxidação de minerais do grupo dos sulfetos, como a pirita (FeS<sub>2</sub>), presente em antigos depósitos de rejeito, pelo oxigênio atmosférico desencadeia a DAM. Na presença de água comumente são gerados sulfatos de ferro hidratados, estando associados outros elementos, como o ferro, cobalto, manganês, níquel, zinco, alumínio e cobre, no caso das águas superficiais.

A Figura 15 apresenta as separatrizes das concentrações de pH, turbidez, CE, SST, SDT, ST, Ca, Mg, K, Mn, Al e Fe, das 98 análises resultantes das 49 estações de amostragem

(menos chuvosa e chuvosa) de água superficial dos rios principais que integram as 25 SHR definidas nesta pesquisa junto a bacia do rio Araranguá.

Figura 15 - Box-Plot do pH, turbidez, CE, SST, SDT, ST, Cálcio, Magnésio, Potássio, Ferro total, Manganês e Alumínio, nas 49 estações de amostragem nas duas campanhas (menos chuvosa (inverno) e chuvosa (verão)).



Fonte: O autor.



Nas bacias dos rios Itoupava, Manoel Alves e dos Porcos/Baixo Araranguá, as variações e médias dos metais (Fe, Mn, Al), sulfatos e acidez são menores quando comparadas à bacia do rio Mãe Luzia. Os maiores valores de Fe, Mn, Al, sulfatos e acidez nestas três bacias são: 4,22 mg.L<sup>-1</sup> (EA-40-IT), 3,47 mg.L<sup>-1</sup> (EA-24-MA) e 8,76 mg.L<sup>-1</sup> (EA-48-AR) de ferro total; 0,33 mg.L<sup>-1</sup> (EA-39-IT), 1,31 mg.L<sup>-1</sup> (EA-22-MA) e 0,92 mg.L<sup>-1</sup> (EA-48-AR) de manganês; 3,8 mg.L<sup>-1</sup> (EA-40-IT), 1,7 mg.L<sup>-1</sup> (EA-24-MA) e 6,6 mg.L<sup>-1</sup> (EA-49-AR) de alumínio; 53,5 mg.L<sup>-1</sup> (EA-43-IT), 237,3 mg.L<sup>-1</sup> (EA-22-MA) e 208,2 mg.L<sup>-1</sup> (EA-47-AR) de sulfatos; e 19,1 mg.L<sup>-1</sup> (EA-27-IT), 32,4 mg.L<sup>-1</sup> (EA-22-MA) e 23,5 mg.L<sup>-1</sup> (EA-48-AR) para acidez total.

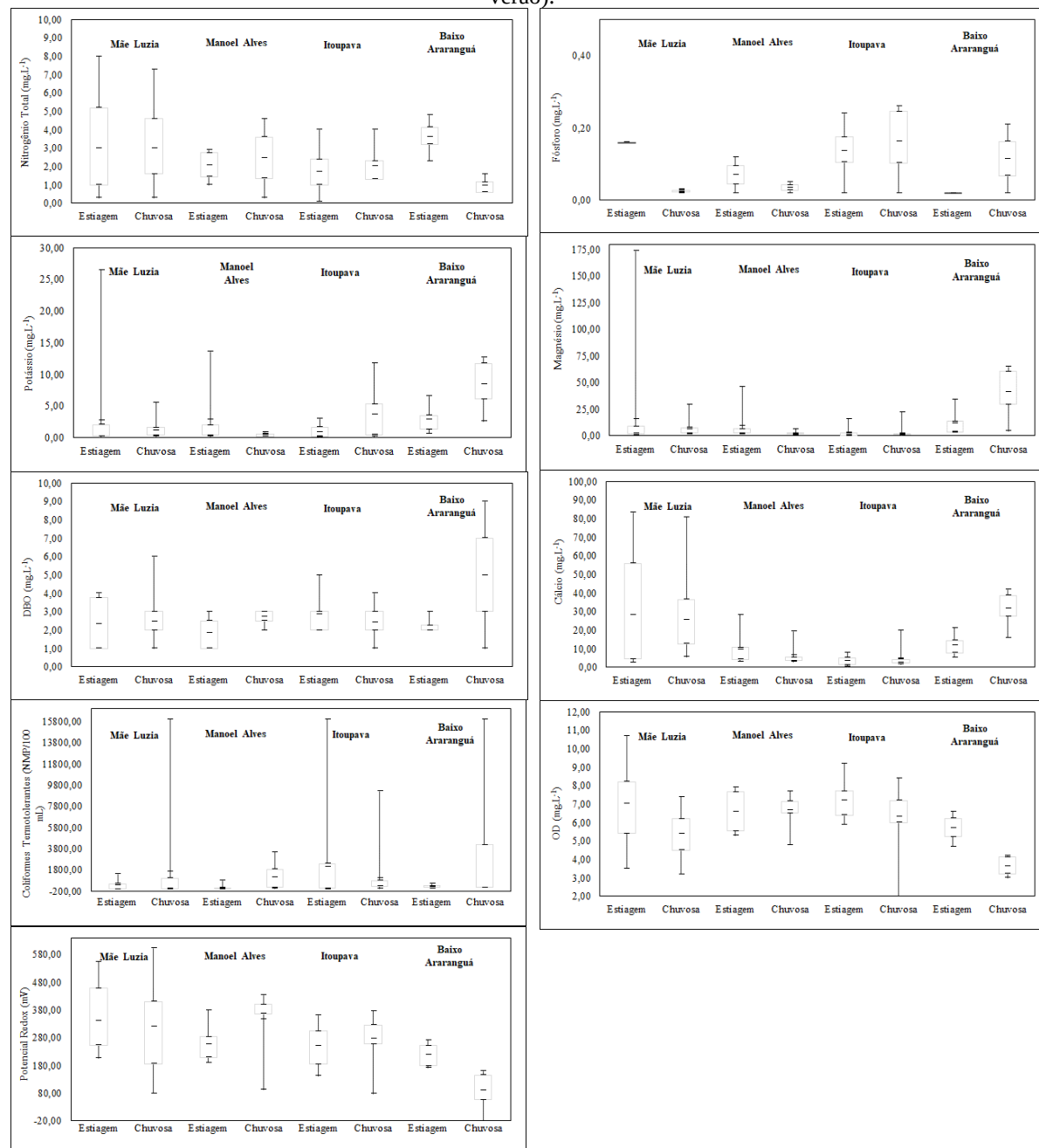
Os resultados dos elementos expressos nos Box-Plot (Figura 16), sendo pH, CE, Sulfatos, Fe, Mn, Al e acidez total, indicam que a bacia do Mãe Luzia, em termos de qualidade das águas superficiais, pode ser subdividida em dois setores. Uma região compreendida pelas SHR 01, 06 e 08, sendo os rios Pio, Sangão e Sanga do Terneiro, o rio Fiorita e o leito principal do rio Mãe Luzia, seriamente comprometido pelo impacto de DAM. E uma segunda região compreendida pelas SHR 02, 03, 04, 05 e 07, cujos rios são: Jordão, Serrinha, Braço do Cedro, São Bento, Da Serra e Cedro, onde não recebem influência de DAM.

Uma outra fonte de poluição com alteração na qualidade das águas superficiais se dá em decorrência do escoamento superficial de áreas agrícolas e ao emprego de fertilizantes nitrogenados. (SIMEONOV et al., 2003). A presença de compostos nitrogenados em corpos hídricos se dá principalmente pela dissolução destes compostos na água que escoam pelos solos em direção a rios e lagos. O nitrogênio está presente no solo devido a ação de bactérias nitrificantes que fixam o nitrogênio da atmosfera e pela adição de fertilizantes nitrogenados.

A Figura 16 apresenta as separatrizes das concentrações de nitrogênio total, fósforo, coliformes termotolerantes, DBO, potássio, magnésio, cálcio, OD e potencial redox (ORP) das 98 análises (menos chuvosa e chuvosa) de água superficial dos rios principais que integram as 25 SHR na bacia do rio Araranguá.

As perdas de nitrogênio e fósforo por causa de erosão do solo e escoamento superficial em bacias agrícolas são uma importante contribuição para os níveis de poluição dos corpos d'água. (CHEN et al., 2016). Nas amostras de água superficial da bacia do Araranguá, o nitrogênio total não apresentou variação em ordem de grandeza, chegando ao valor máximo de 7,3, com média de 1,74 mg.L<sup>-1</sup> a 3,63 mg.L<sup>-1</sup>. Os parâmetros com valores mais baixos foram o fósforo e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). O Fósforo atingiu o valor máximo de 0,26 mg.L<sup>-1</sup>, com média de 0,02 mg.L<sup>-1</sup> a 0,16 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto que a DBO teve valor máximo de 9, variando na média de 1,86 mg.L<sup>-1</sup> a 5 mg.L<sup>-1</sup>.

Figura 16 - Box-Plot de sulfatos, acidez total, nitrogênio total, turbidez, DBO, fósforo, coliformes termotolerantes, OD, ORP e salinidade, nas 49 estações de amostragem durante as duas campanhas (inverno e verão).



Fonte: O autor.

Alterações na qualidade das águas superficiais devido ao lançamento de esgoto doméstico nos cursos d'água é uma fonte de poluição nociva à biota aquática. Coliformes termotolerantes foi o parâmetro avaliado nos rios que apresentou as maiores diferenças entre máximas e mínimas, característica que reflete em desvios padrão mais altos. Os rios mais comprometidos por coliformes termotolerantes estão nas bacias do Itoupava, Dos Porcos/Baixo Araranguá e Mãe Luzia. De modo geral, as concentrações deste poluente tendem a diminuir com o aumento da vazão dos rios, mas não é regra geral. Os valores máximos encontrados

(>16000 NMP/100 mL) atinge as três bacias, com média variando de 254,75 NMP/100 mL a 4135 NMP/100 mL. Chama atenção nos rios Jordão (EA-02-ML - 1400 NMP/100 mL), Braço do Cedro (EA-13-ML - 1700 NMP/100 mL), Cedro (EA-17-ML - 1300 NMP/100 mL) e rio São Bento (EA-15-ML - 3500 NMP/100 mL), com níveis de coliformes termotolerantes elevados, provavelmente relacionado ao despejo por esgotamento sanitário.

Na bacia do rio Manoel Alves foram encontrados valores máximos variando de 790 NMP/100 mL a 3500 NMP/100 mL, com média entre 142,43 NMP/100 mL a 1095,71 NMP/100 mL. A presença de coliformes termotolerantes nos rios da bacia do rio Araranguá tem relação direta ao despejo de esgoto doméstico nos rios provindos das áreas urbanas dos municípios integrantes da bacia do Araranguá.

O oxigênio dissolvido (OD), essencial para os organismos aeróbios, se dissolve nas águas naturais devido a diferença de pressão parcial, sendo a sua reintrodução dependente da característica hidráulica proporcional à velocidade do fluxo das águas. Outra fonte importante é pelo processo de fotossíntese das algas. A perda do OD é causada por fatores, como a decomposição da matéria orgânica, por perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos, nitrificação e oxidação química abiótica de substâncias.

As concentrações de OD nas estações amostrais apresentaram variação média de 3,65 mg.L<sup>-1</sup> a 7,22 mg.L<sup>-1</sup>, com mínimo de 2,0 mg.L<sup>-1</sup> a 5,9 mg.L<sup>-1</sup>. As concentrações baixas de OD têm relação direta com a presença de esgoto doméstico, o que corrobora com os resultados das análises de coliformes termotolerantes.

Luchese et al. (2002) descrevem que o potássio tende a ser adsorvido por minerais presentes nas argilas bem como a ser consumido pelas plantas, logo, ele não apresenta tendência em permanecer em solução. O magnésio apresenta propriedades similares ao cálcio, porém, é mais solúvel e mais difícil de precipitar. A presença de magnésio e cálcio em águas naturais se justifica com a aplicação de corretivos, predominando a aplicação de calcário nas áreas agrícolas com a incorporação de Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup>, principalmente quando da utilização de calcário dolomítico.

O magnésio, de acordo com o limite de 0 a 120 mg.L<sup>-1</sup>, apresentado por Ayers e Westcot (1985) em cursos de água de irrigação foi encontrado apenas na estação EA-06-ML (foz do rio Mãe Luzia) com valor de 173,73 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto para o elemento potássio, os valores máximos variaram entre 0,9 mg.L<sup>-1</sup> a 26,5 mg.L<sup>-1</sup>, estando acima de 0 a 2 mg.L<sup>-1</sup> (faixa de valores estabelecidos por Ayers e Westcot (1985)). Dessa forma, a concentração média de potássio nas amostras analisadas variou de 0,47 mg.L<sup>-1</sup> a 8,50 mg.L<sup>-1</sup>. Normalmente, o potássio possui concentrações mais baixas nas águas quando comparadas as cálcio e magnésio devido a

sua facilidade de ser adsorvido pelos minerais de argila e de seus sais serem bastante utilizados pelos vegetais. As concentrações em águas naturais são usualmente menores do que  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ . (CETESB, 2016).

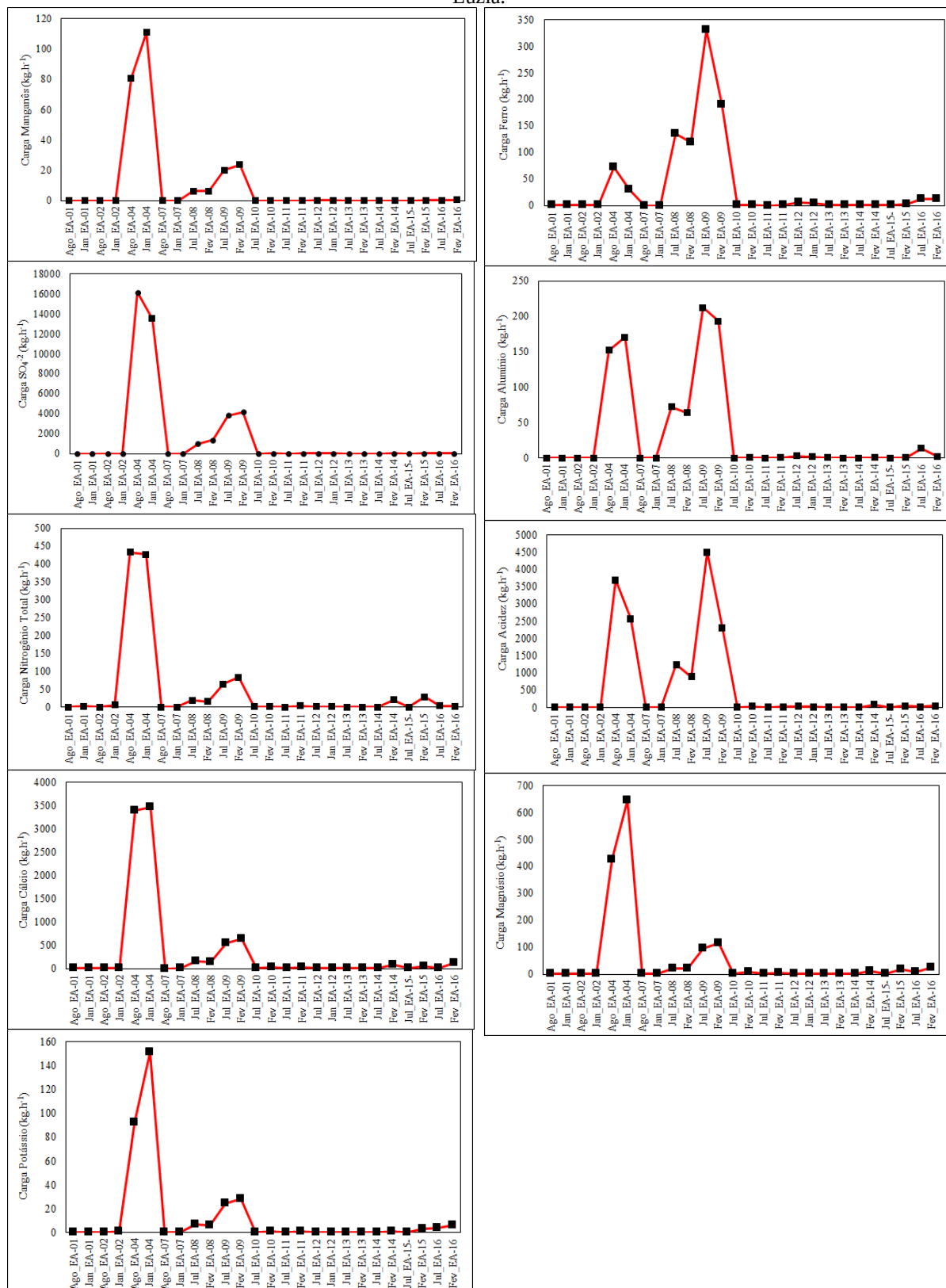
O cálcio, assim como o magnésio, é associado à dureza. Em quantidades elevadas, pode ser prejudicial ao uso doméstico e industrial, originando depósitos e incrustações, em especial nas tubulações que transportam água quente. O teor desse elemento foi mais expressivo ( $83,2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) nos rios da bacia do Mãe Luzia, com média de  $25,6 \text{ mg.L}^{-1}$  a  $28,36 \text{ mg.L}^{-1}$ .

O potencial redox (ORP) é o potencial de redução das soluções e estão relacionados à perda e recebimento de elétrons de uma solução. Segundo Silva e Pinto (2013), em um sistema de água purificada o ORP variou entre 200 e 300 mV. O conhecimento do ORP pode ajudar a definir quais são as formas dos metais que estão presentes em maior concentração no corpo d'água. Nas amostras analisadas nos rios da bacia do rio Araranguá, o ORP apresentou-se em ambiente oxidante, exceto numa amostra em ambiente redutor (EA-48-AR com -19 mV). Os valores médios de ORP ficaram entre 91 mV a 459 mV, alcançando valores máximos entre 160 mV a 601,83 mV.

As Figuras 17 a 19 apresentam a carga de poluição (inverno e verão) estimada para os elementos nitrogênio total, ferro total, manganês, sulfatos, alumínio, acidez total, cálcio, magnésio e potássio para as estações onde foi realizada a medição de vazão. Na bacia do rio Mãe Luzia (Figura 16), em Forquilha (EA-04-ML), a carga de poluição variou de 3695 kg/h a 2568,12 kg/h (acidez), 16.118,27 kg/h e 13513,46 kg/h ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), 72,6 kg/h a 30,32 kg/h (Fe), 80,72 kg/h a 110,87 kg/h (Mn), 151,70 kg/h a 170,57 kg/h (Al) e 433,43 kg/h a 426,44 kg/h (N). Nas estações EA-05-ML e EA-06-ML não foi possível realizar a medição de vazão no momento da amostragem devido a profundidade elevada.

No rio Sangão, a carga de poluição na EA-09-ML localizada na foz do rio Mãe Luzia apresentou nas duas amostragens (inverno e verão): 4495,82 kg/h a 2306,54 kg/h (acidez), 3830,23 kg/h e 4141,72 kg/h ( $\text{SO}_4^{-2}$ ), 330,47 kg/h a 189,87 kg/h (Fe), 20,04 kg/h a 23,83 kg/h (Mn) e 212,08 kg/h a 193,31 (Al) e 64,35 kg/h a 83,41 kg/k (N). As cargas de poluição destes elementos mostram que o rio Sangão é o mais poluído na bacia do rio Araranguá. No estudo realizado por Cardoso et al. (2022), avaliou-se a geoquímica das águas superficiais da bacia sedimentar de Santa Catarina e constatou-se que a qualidade das águas superficiais é imprópria para alguns usos pretendidos devido as concentrações de analitos, como o ferro, manganês e pH, e que as concentrações anômalas destes elementos têm relação geogênica, refletindo as características do substrato geológico da região e dos solos resultantes do intemperismo das rochas.

Figura 17 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Mãe Luzia.



Fonte: O autor.

O mesmo ocorre no rio Pio (EA-12-ML) que deságua no Mãe Luzia, no município de Treviso. A carga de acidez variou de 25,87 kg/h a 14,65 kg/h, sulfatos (48,82 kg/h a 44,41 kg/h), ferro total (5,08 kg/h a 3,98 kg/h), manganês (0,36 kg/h a 0,30 kg/h) e alumínio (2,64 kg/h a 1,48 kg/h), denotando que nessa estação tem influência da DAM em sua foz.

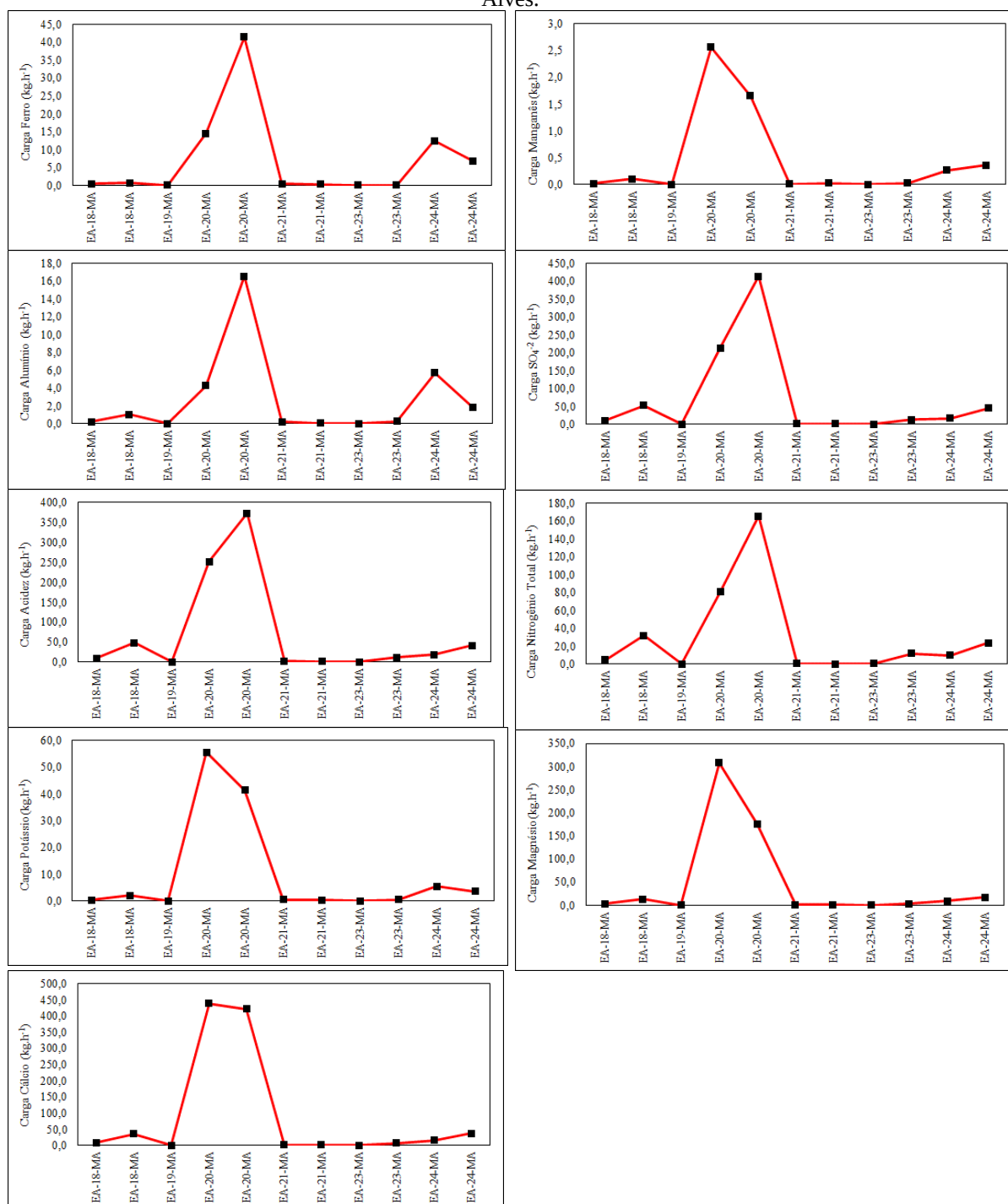
Os rios Cedro, Braço do Cedro, Serrinha, Jordão, Da Serra e São Bento são rios menos impactados por metais, sendo constatado baixas cargas para Fe, Mn, Al, sulfatos e nitrogênio, quando comparado aos rios Mãe Luzia e Sangão. Porém, são rios que apresentam valores de cálcio, potássio e magnésio, devendo estar relacionado às atividades agrícolas. As variações para estes elementos foram: EA-10-ML (Potássio 0,08 kg/h a 0,93 kg/h; Magnésio 0,55 kg/h a 7,26 kg/h; Cálcio 1,5 kg/h a 28,12 kg/h); EA-14-ML (Potássio 0,15 kg/h a 0,89 kg/h; Magnésio 1,16 kg/h a 12,62 kg/h; Cálcio 3,46 kg/h a 76,34 kg/h); EA-15-ML (Potássio 0,05 kg/h a 2,90 kg/h; Magnésio 1,08 kg/h a 16,42 kg/h; Cálcio 2,14 kg/h a 39,97 kg/h). Essas três estações integram a bacia do rio São Bento, sendo que a estação EA-15-ML fica no rio São Bento a jusante das demais estações e próxima da foz do Mãe Luzia.

As estações EA-11-ML, EA-13-ML e EA-16-ML integram a bacia do rio Cedro. Verifica-se na estação (EA-16-ML) localizada na Sanga do Engenho (meio da bacia) que ocorre incremento de Ca (111,08 kg/h), K (5,84 kg/h) e Mg (24,97 kg/h), provavelmente devido aos insumos agrícolas usados no manejo junto às canchas de arroz que lixiviam aos cursos de água.

Na bacia do rio Manoel Alves (Figura 18) chama atenção a estação de amostragem (EA-20-MA) em relação às demais. Nessa estação a carga de poluição variou de 251,72 kg/h a 372,50 kg/h (acidez), 213,32 kg/h a 413,89 kg/h ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 14,50 kg/h a 41,39 kg/h (Fe), 2,56 kg/h a 1,65 kg/h (Mn), 4,26 kg/h a 16,55 kg/h (Al), 81,06 kg/h a 165,55 kg/h (N), 41,39 kg/h a 55,46 kg/h (K), 176,32 kg/h a 308,03 kg/h (Mg) e 422,17 kg/h a 439,44 kg/h (Ca).

A principal atividade agrícola nesta bacia é o cultivo de arroz irrigado, ocupando 11% de agricultura e pastagem conforme aponta o mapeamento do uso do solo (Tabela 17 e Figura 13). Nessa bacia o uso de insumos agrícolas contribui para a lixiviação e despejo de compostos, como N, K, Mg e Ca nos cursos d'água. A carga dos elementos na estação EA-20-MA está relacionada ao aumento da vazão, pois recebe vários contribuintes de montante.

Figura 18 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Manoel Alves.

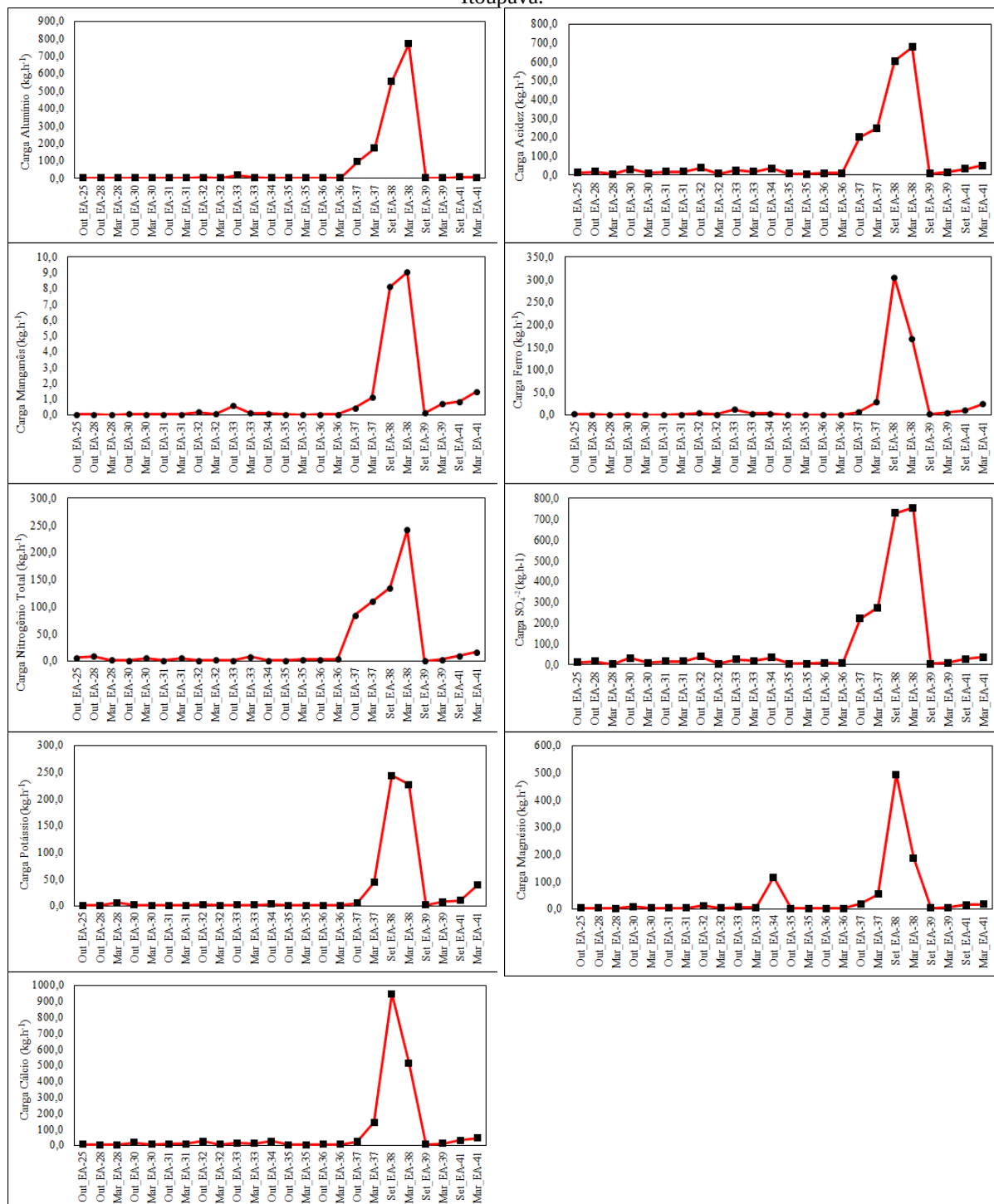


Fonte: O autor.

Na bacia do rio Itoupava (Figura 19), chama atenção a estação de amostragem (EA-38-IT) localizada no Ermo e que corresponde ao exultório desta bacia. Nessa estação a carga de poluição variou de 603,63 kg/h a 678,40 kg/h (acidez), 729,22 kg/h e 753,78 kg/h ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), 168,84 kg/h a 305,19 kg/h (Fe), 8,10 kg/h a 9,04 kg/h (Mn), 553,67 kg/h a 768,86 kg/h (Al),

135,04 kg/h a 241,21 kg/h (N), 243,07 kg/h a 226,13 kg/h (K), 186,93 kg/h a 494,25 kg/h (Mg) e 512,57 kg/h a 945,29 kg/h (Ca).

Figura 19 - Carga de poluição para nitrogênio total, ferro total, manganês, alumínio, sulfatos, acidez, potássio, magnésio e cálcio nas estações de amostragem durante as duas campanhas (inverno e verão) na bacia do rio Itoupava.



Fonte: O autor.



Verifica-se um aumento na carga de poluentes à medida em que se afasta das cabeceiras da bacia do Itoupava (estações de amostragem de montante), passando por regiões agrícolas e centro urbano de Jacinto Machado. A variação na qualidade da água é influenciada nessa região pelo manejo do arroz irrigado, atividade intensivamente praticada, favorecida ainda pela redução da vazão dos rios Amola Faca, Da Pedra, Pinheirinho, Turvo, Ribeirão Águas Claras e Itoupava no período de alta demanda para irrigação, resultando na concentração de solutos nas águas superficiais. Os solutos acabam indo e permanecendo ao sedimento dos rios, afetando os processos fotossintéticos com a redução da penetração da luz no corpo d'água e prejudicando o desenvolvimento da comunidade bentônica.

Com as análises de qualidade das águas determinou-se a classificação do Índice de Qualidade Águas (IQA), que no geral enquadrou nas faixas de ótimo a aceitável seguindo o critério de maior rigor, ou seja, a menor classe do IQA entre as duas amostragens (Tabela 18). A Figura 20 apresenta os rios classificados por cor conforme a classificação do IQA e seguindo o critério de maior rigor.

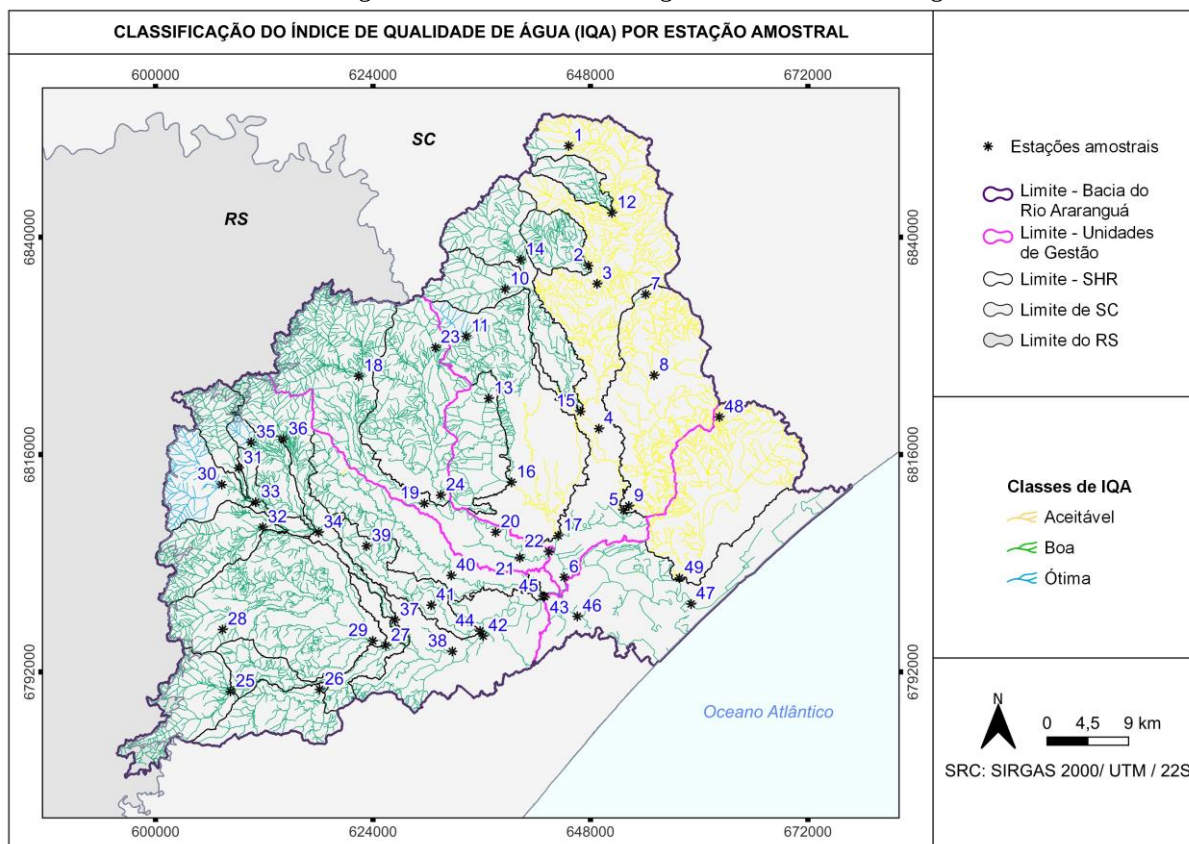
De modo geral, não se observou variações significativas nos elementos analisados entre as amostragens de inverno em relação ao período chuvoso no verão. Nos estudos de Lucas et al. (2010), observou-se que as chuvas têm importante papel na manutenção da qualidade e quantidade da água quando seu regime é regular, uma vez que evita a escassez e dilui a concentração dos poluentes nos rios, bem como produz o escoamento superficial que carrega sedimentos para as águas superficiais e subterrâneas.

Tabela 18 - Índice de qualidade das águas das estações de amostragem que integram as seções hidrológicas de referência seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.

| Subsistema                   | SH<br>R | Sub-bacia                                               | Estações             | Classificação IQA das Estações |           |           |           |           |
|------------------------------|---------|---------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Mãe Luzia                    | 01      | rio Pio                                                 | EA-12-ML             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 02      | rio Jordao                                              | EA-02-ML             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 03      | rio da Serrinha                                         | EA-10-ML             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 04      | rio Braço do Cedro                                      | EA-13-ML             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 05      | rios São Bento e Da Serra                               | EA-14/15-ML          | Boa                            |           | Boa       |           |           |
|                              | 06      | rios Sangão e Sanga do Terneiro                         | EA-07/08/09-ML       | Boa                            |           | Aceitável |           | Aceitável |
|                              | 07      | rio Cedro                                               | EA-11/16/17-ML       | Ótima                          |           | Boa       |           | Aceitável |
|                              | 08      | rios Mãe Luzia e Fiorita                                | EA-01-03-04-05-06-ML | Boa                            | Aceitável | Aceitável | Aceitável | Boa       |
| Manoel Alves                 | 09      | rios Manoel Alves, Pingador, Três Barras e Arroio Pilão | EA-18/19/20/21/22-MA | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 10      | rios Morto, Do Meio e Salto                             | EA-23/24-MA          | Boa                            |           |           | Boa       |           |
| Itoupava                     | 11      | rio Arroio Segredo                                      | EA-25-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 12      | rios Engenho Velho e Dois Irmãos                        | EA-26-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 13      | rios Da Pedra e Ribeirão Águas Claras                   | EA-27-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 14      | rios Pinheirinho e Arroio Trombudo                      | EA-28-29-IT          | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 15      | rios Seco e Serra Velha                                 | EA-30-IT             | Ótima                          |           |           |           |           |
|                              | 16      | rio Rocinha                                             | EA-31-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 17      | rios Arroio Fortuna e Arroio Figueira                   | EA-32-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 18      | rio Timbé                                               | EA-33-IT             | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 19      | rios Arroio Do Norte e Amola Faca                       | EA-34-36-37-IT       | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 20      | rio Molha Coco                                          | EA-35-IT             | Ótima                          |           |           |           |           |
|                              | 21      | rios Itoupava, Ermo e Sanga Das Águas Brancas           | EA-38-42-43-IT       | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 22      | rio Turvo                                               | EA-39-41-44-IT       | Boa                            |           |           |           |           |
|                              | 23      | rio Jundiá                                              | EA-40-45-IT          | Boa                            |           |           |           |           |
| Dos Porcos / Baixo Araranguá | 24      | rio Dos Porcos                                          | EA-48-49-AR          | Aceitável                      |           | Aceitável |           |           |
|                              | 25      | rio Araranguá                                           | EA-46-47-AR          | Boa                            |           |           |           |           |

Fonte: O autor.

Figura 20 - Índice de qualidade das águas nas estações de amostragem que integram as seções hidrológicas de referência seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.



Fonte: O autor.

Para conhecer os usos possíveis das águas superficiais da bacia do rio Araranguá, foi realizada a classificação dos corpos d'água, conforme a Resolução CONAMA n. 357/2005, utilizando 10 (pH, OD, coliformes termotolerantes, fósforo total, DBO, N, SDT, turbidez, sulfatos e manganês) dos 23 elementos analisados. Esta resolução estabelece as classes de qualidade da água bem como define as diretrizes para seu enquadramento. As águas são diferenciadas em doces, salobras e salinas, sendo que para cada uma delas há um conjunto de parâmetros que define qual a classe que cada trecho de água corresponde. As águas da bacia do rio Araranguá, conforme os valores das análises, são diferenciados em doce e salobra.

Os valores das análises nas duas campanhas de amostragem para cada parâmetro analítico foram comparados aos padrões de qualidade da água necessários ao atendimento dos usos preponderantes estabelecidos pela Resolução CONAMA n. 357/2005. No Apêndice B estão apresentados os valores das 98 análises de água superficial das estações de amostragem e as classes por parâmetro e na Tabela 19 consta a classificação das estações de amostragem e das SHR conforme as classes da Resolução CONAMA n. 357/2005.

Os resultados obtidos permitem avaliar que existem problemas relacionados à qualidade da água superficial em algumas estações de amostragem considerando os parâmetros

analisados. De modo geral, observa-se que, dos quatro subsistemas, as bacias do rio Manoel Alves, Itoupava e os rios Braço do Cedro, Jordão, São Bento, da Serrinha e Da Serra integrantes da bacia do rio Mãe Luzia apresentam similaridade. A bacia dos Porcos/Baixo Araranguá e os rios Sangão, Cedro e Mãe Luzia apresentam similaridade, o que configura cinco regiões de estudo, ou seja, bacia do rio Itoupava, Manoel Alves, Mãe Luzia (montante), Mãe Luzia (jusante) e dos Porcos/Baixo Araranguá.

Na bacia do rio Mãe Luzia as estações de amostragem 1 (cabeceira do rio Mãe Luzia - SHR 8), 10 (cabeceira do rio Serrinha - SHR 3) e 11 (cabeceira do rio Cedro - SHR 7) foram classificadas com classe 1. Os demais pontos distribuídos têm classe 3, exceto nos pontos 8 (rio Sangão intermediário - SHR 6) e 16 (rio do Cedro intermediário - SHR 7) como classe 2, e nos pontos 5 (SHR 8) e 17 (SHR 7) como classe 4. Essa bacia está inserida em parte nos limites da Bacia Carbonífera Catarinense (BCC) onde existem depósitos de rejeito e pilhas de estéril, bocas de minas abertas e galerias de subsolo inundadas, contribuindo com DAM nos cursos d'água. Contribui para este cenário o despejo de esgoto cloacal nos cursos de água pela inexistência de rede coletora e tratamento de esgoto das áreas urbanas dos municípios de Treviso, Siderópolis, parte de Criciúma, parte de Forquilha e Maracajá.

Na bacia do rio Manoel Alves as estações 18 e 19 (rio Arroio Pilão) foram classificadas como classe 1, sendo que o ponto 18 fica a montante da comunidade de Nova Roma, nas cabeceiras do rio Manoel Alves próximo as escarpas da Serra Geral. As estações 20, 21 e 22 (rio Arroio Pilão), 23 e 24 (rio do Salto) são enquadradas como classe 3. Essa região é fortemente agrícola. Estes pontos apresentam OD reduzido e presença de coliformes termotolerantes. Embora existam amostras que alcancem valores equivalentes à classe 3, a qualidade da água nessa bacia é boa conforme corrobora também a classificação do IQA.

Na bacia do rio Itoupava, as estações 28 (rio Pinheirinho), 30 (rio Serra Velha), 35 (rio Molha Coco) e 36 (rio Arroio do Norte) foram classificadas como classe 1. As estações 31 (rio Rocinha), 34 (rio Arroio do Norte), 38, 42 e 43 (rio Itoupava) como classe 2. As estações 25, 26, 27, 29, 32, 33, 37 e 39 como classe 3, enquanto as demais 40, 41, 44 e 45 (rios Turvo e Jundiá) como classe 4. As fontes de poluição nestes rios são relacionadas ao despejo de esgoto cloacal nos corpos d'água e ao escoamento de fósforo das áreas agrícolas.

Tabela 19 - Classificação dos pontos de amostragem na bacia do rio Araranguá seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.

(continua)

| Subsistema   | SHR | Sub-bacia                                               | Estações amostragem | pH | OD | Coliformes termotolerantes | DB O | P | N | SDT | Turbidez | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Mn | Classificação da estação | Classificação da SHR |
|--------------|-----|---------------------------------------------------------|---------------------|----|----|----------------------------|------|---|---|-----|----------|-------------------------------|----|--------------------------|----------------------|
| Mãe Luzia    | 01  | rio Pio                                                 | EA-12-ML            |    | 1  | 1                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             |    | 3                        | 3                    |
|              | 02  | rio Jordao                                              | EA-02-ML            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              | 03  | rio Da Serrinha                                         | EA-10-ML            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 1                    |
|              | 04  | rio Braço do Cedro                                      | EA-13-ML            | 1  | 3  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   |          | 1                             | 3  | 3                        | 3                    |
|              | 05  | rios São Bento e Da Serra                               | EA-14-ML            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              |     |                                                         | EA-15-ML            | 1  | 2  | 3                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
|              | 06  | rios Sangão e Sanga do Terreiro                         | EA-07-ML            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              |     |                                                         | EA-08-ML            |    | 2  | 1                          |      | 1 | 1 |     |          |                               |    | 2                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-09-ML            |    | 3  | 1                          |      | 1 | 1 |     |          |                               |    | 3                        |                      |
|              | 07  | rio Cedro                                               | EA-11-ML            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 4                    |
|              |     |                                                         | EA-16-ML            | 1  | 1  | 2                          | 2    | 1 | 1 | 1   |          | 1                             | 1  | 2                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-17-ML            | 1  | 4  | 3                          | 2    | 1 | 1 | 1   |          | 1                             | 3  | 4                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-01-ML            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        |                      |
|              | 08  | rios Mãe Luzia e Fiorita                                | EA-03-ML            |    | 3  | 2                          | 1    | 1 | 3 |     | 2        |                               |    | 3                        | 4                    |
|              |     |                                                         | EA-04-ML            |    | 2  | 1                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        |                               |    | 3                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-05-ML            |    | 4  | 1                          | 1    | 1 | 3 |     | 1        |                               |    | 4                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-06-ML            |    | 3  | 1                          |      | 1 | 1 |     |          |                               |    | 3                        |                      |
| Manoel Alves | 09  | rios Manoel Alves, Pingador, Três Barras e Arroio Pilão | EA-18-MA            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 3                    |
|              |     |                                                         | EA-19-MA            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-20-MA            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-21-MA            | 1  | 2  | 2                          | 1    | 3 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
|              |     |                                                         | EA-22-MA            | 1  | 3  | 1                          | 1    | 1 | 3 |     | 1        | 1                             | 3  | 3                        |                      |
|              | 10  | rios Morto, Do Meio e Salto                             | EA-23-MA            | 1  | 2  | 3                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              |     |                                                         | EA-24-MA            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 2        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
| Itoupava     | 11  | rio Arroio Segredo                                      | EA-25-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 3 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              | 12  | rios Engenho Velho e Dois Irmãos                        | EA-26-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 2        | 1                             | 3  | 3                        | 3                    |
|              | 13  | rios Da Pedra e Ribeirão Águas Claras                   | EA-27-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|              |     |                                                         | EA-28-IT            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 3                    |
|              | 14  | rios Pinheirinho e Arroio Trombudo                      | EA-29-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 2        | 1                             | 1  | 3                        |                      |

Tabela 19 - Classificação dos pontos de amostragem na bacia do rio Araranguá seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.

|                              |     |                                               |                     |    |    |                            |      |   |   |     |          |                               |    |                          | (conclusão)          |
|------------------------------|-----|-----------------------------------------------|---------------------|----|----|----------------------------|------|---|---|-----|----------|-------------------------------|----|--------------------------|----------------------|
| Subsistema                   | SHR | Sub-bacia                                     | Estações amostragem | pH | OD | Coliformes termotolerantes | DB O | P | N | SDT | Turbidez | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | Mn | Classificação da estação | Classificação da SHR |
|                              | 15  | rios Seco e Serra Velha                       | EA-29-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 2        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
|                              |     |                                               | EA-30-IT            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 1                    |
|                              | 16  | rio Rocinha                                   | EA-31-IT            | 1  | 1  | 2                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 2                        | 2                    |
|                              | 17  | rios Arroio Fortuna e Arroio Figueira         | EA-32-IT            | 1  | 3  | 2                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        | 3                    |
|                              |     |                                               | EA-33-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 3  | 3                        | 3                    |
|                              | 18  | rios Arroio Do Norte e Amola                  | EA-34-IT            | 1  | 1  | 2                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 2                        |                      |
|                              |     |                                               | EA-36-IT            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 3                    |
|                              | 19  | Faca                                          | EA-37-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 3                        |                      |
|                              |     |                                               | EA-35-IT            | 1  | 1  | 1                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 1                        | 1                    |
|                              | 20  | rio Molha Coco                                | EA-38-IT            | 1  | 1  | 2                          | 2    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 2                        |                      |
|                              |     |                                               | EA-42-IT            | 1  | 1  | 2                          | 2    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 1  | 2                        | 2                    |
|                              | 21  | rios Itoupava, Ermo e Sanga Das Águas Brancas | EA-43-IT            | 1  | 2  | 2                          |      | 1 | 1 |     | 2        |                               | 1  | 2                        |                      |
|                              |     |                                               | EA-39-IT            | 1  | 1  | 3                          | 1    | 1 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 3  | 3                        |                      |
|                              | 22  | rio Turvo                                     | EA-41-IT            | 1  | 1  | 3                          | 2    | 4 | 1 | 1   | 1        | 1                             | 3  | 4                        | 4                    |
|                              |     |                                               | EA-44-IT            | 1  | 2  | 3                          | 2    | 4 | 1 | 1   |          | 1                             | 3  | 4                        |                      |
|                              | 23  | rio Jundiá                                    | EA-40-IT            | 1  | 1  | 2                          | 2    | 4 | 1 | 1   | 2        | 1                             | 1  | 4                        | 4                    |
|                              |     |                                               | EA-45-IT            | 1  |    | 3                          | 1    | 4 | 3 | 1   |          | 1                             | 1  | 4                        |                      |
| Dos Porcos / Baixo Araranguá | 24  | rio Dos Porcos                                | EA-48-AR            | 1  | 4  | 3                          | 3    | 4 | 3 | 1   | 2        | 1                             |    | 4                        | 4                    |
|                              |     |                                               | EA-49-AR            | 1  | 3  | 2                          |      | 1 | 1 |     |          |                               | 3  | 3                        |                      |
|                              | 25  | rio Araranguá                                 | EA-46-AR            | 1  | 2  | 1                          |      | 1 | 1 |     |          |                               | 3  | 3                        | 3                    |
|                              |     |                                               | EA-47-AR            | 1  | 2  | 2                          |      | 1 | 1 |     |          |                               | 3  | 3                        |                      |

Fonte: O autor.

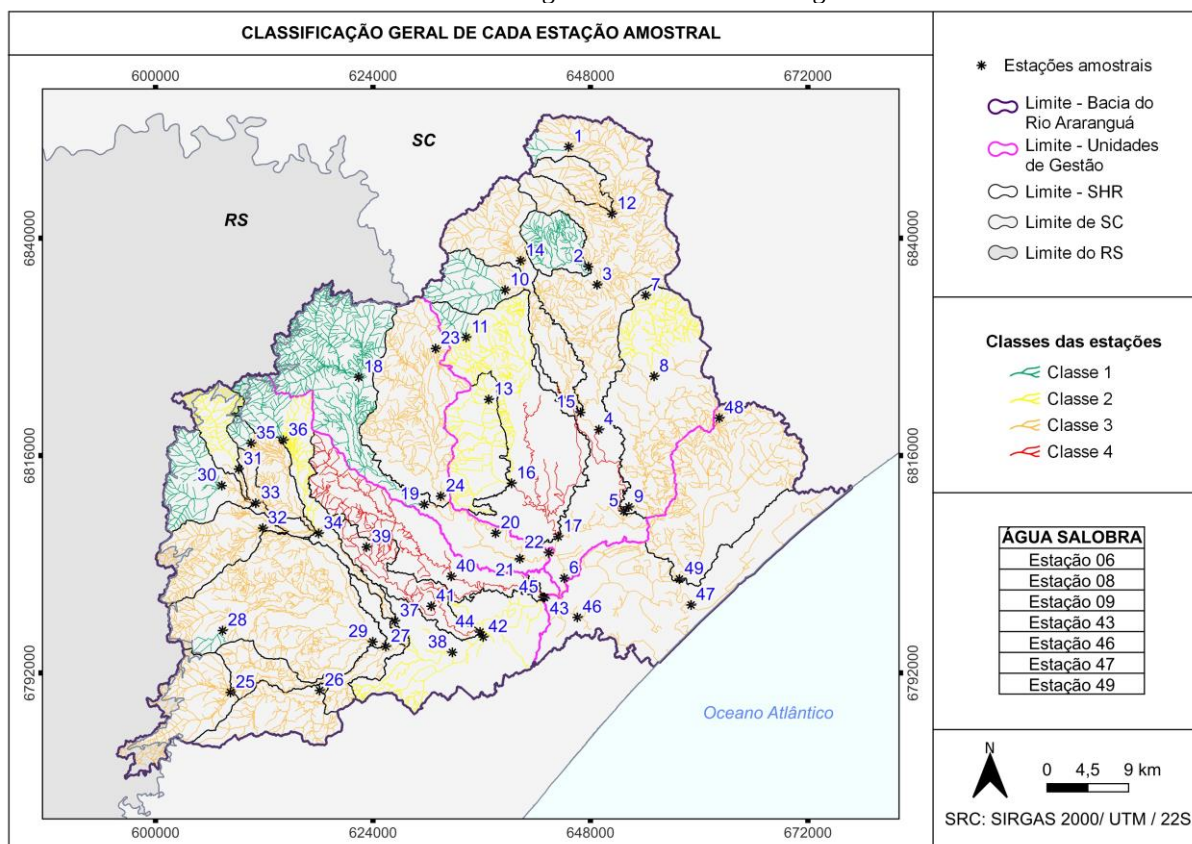
Obs.: As estações destacadas na cor azul (EA-06/08/09-ML; EA-43-IT; EA-46/47/49-AR) foram enquadradas como água salobra.

De modo geral, apesar de existirem amostras que alcançam valores equivalentes às classes 3 e 4, em geral, pode-se considerar que a qualidade das águas na bacia do Itoupava é boa. Na região dos Porcos/Baixo Araranguá, as estações 46, 47 e 49 (águas salobras) foram classificadas como classe 3 devido ao baixo OD e a presença de coliformes termotolerantes. Já a estação 48 (cabeceira do rio dos Porcos) como classe 4 devido à baixa concentração de OD, poluição por P e N, DBO e coliformes termotolerantes.

As estações EA-08-ML e EA-09-ML, na bacia do rio Sangão, enquadraram estas águas em salobras em decorrência do excesso de íons e sais dissolvidos. Da mesma forma, nas estações EA-06-ML e EA-43-IT apresentam salinidade elevada devido à influência da maré, que em algumas situações a cunha salina chega até a essas regiões, classificando-as como águas salobras.

As Figuras 21 e 22 espacializam as estações de amostragem e a rede de drenagem por SHR, classificadas conforme as cores das classes estabelecidas pela Resolução Conama 357/2005 e seguindo o critério de maior rigor.

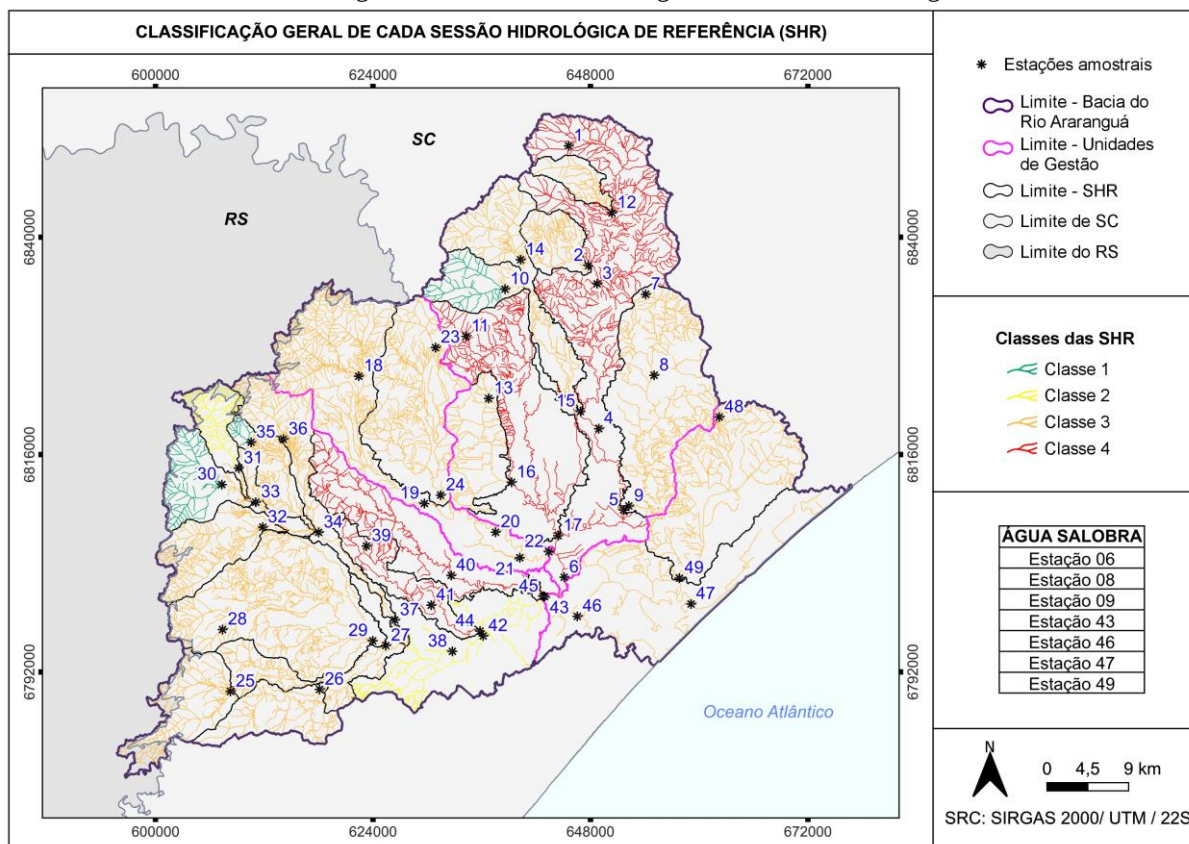
Figura 21 - Classificação das estações de amostragem, conforme Resolução CONAMA n. 357/2005 seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.



Fonte: O autor.



Figura 22 - Classificação da rede de drenagem que integram as 25 SHR, conforme Resolução CONAMA n. 357/2005 seguindo o critério de maior rigor entre as duas amostragens.



Fonte: O autor.

Com intuito de avaliar as diferenças entre os parâmetros analíticos nas 98 análises, os dados foram planilhados no Excel, onde foram calculadas as médias, desvio padrão e erro padrão para cada variável. A análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA) foi utilizada para avaliar as diferenças nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água entre as 49 estações de amostragem, no inverno e verão. Diferenças significativas foram acompanhadas por testes de comparação par a par da PERMANOVA (Tabela 20).

Observou-se que os subsistemas Itoupava, Manoel Alves e Mãe Luzia (montante - rios São Bento, Da Serra e Serrinha) são intimamente relacionados aos parâmetros analíticos quando comparados segundo o índice de morisita-horn. A Figura 23 mostra a distribuição das análises no ambiente de comparação par a par. Observa-se a segregação do subsistema Mãe Luzia em duas regiões conforme constatado anteriormente na representação das separatrizes (gráficos em boxplot), o que demonstra diferenças significativas dos rios que integram o subsistema do rio Mãe Luzia.

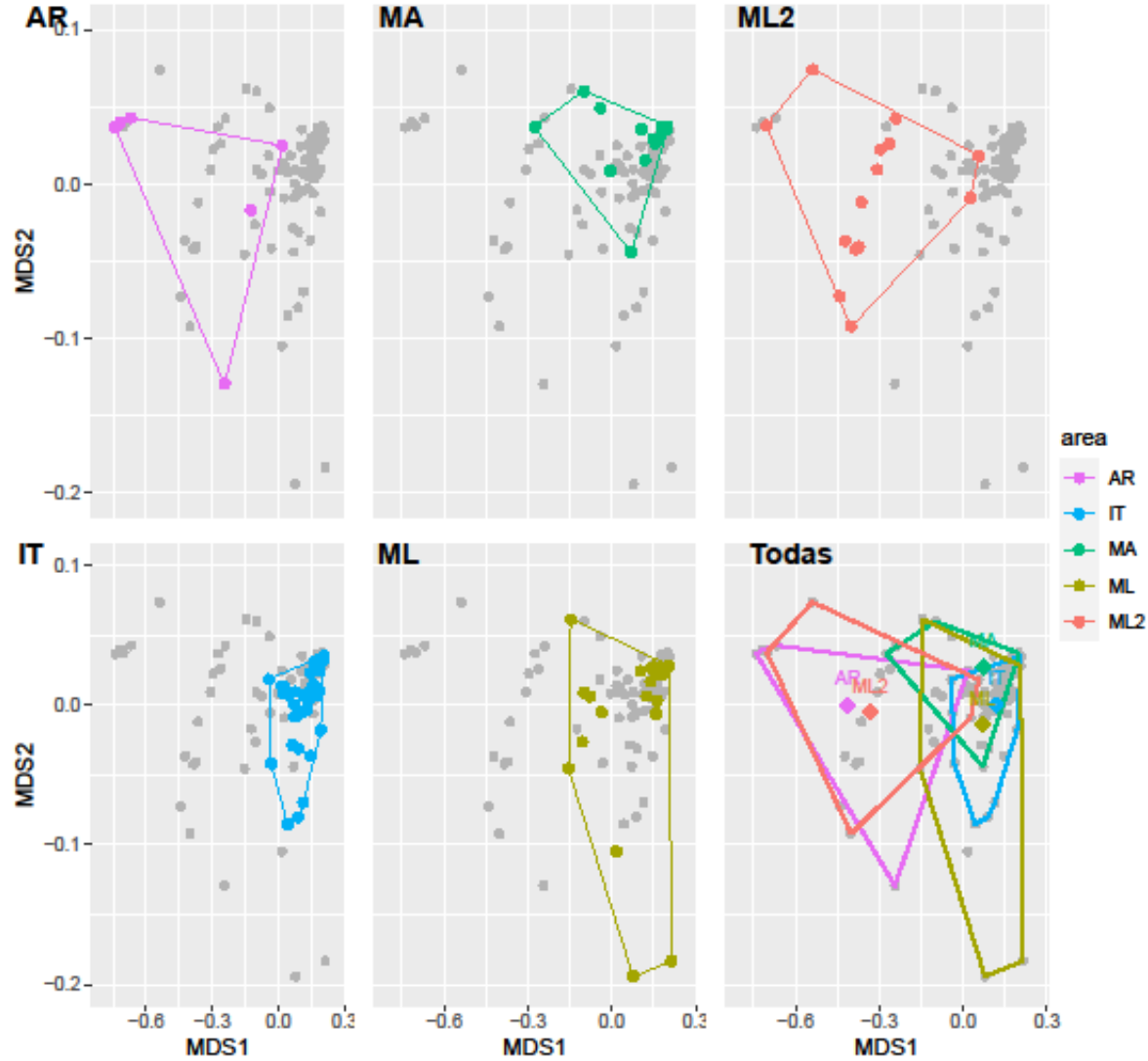


Tabela 20 - Análise multivariada permutacional da variância (PERMANOVA) das comparações das variáveis físico-químicas entre as estações amostrais na bacia do rio Araranguá.

| P                 | AR     | IT     | MA     | ML     | R2                | AR      | IT     | MA     | ML     |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------|---------|--------|--------|--------|
| Itoupava (IT)     | 0,0020 |        |        |        | Itoupava (IT)     | 0,7561  |        |        |        |
| Manoel Alves (MA) | 0,0033 | 0,1488 |        |        | Manoel Alves (MA) | 0,6226  | 0,0695 |        |        |
| Mãe Luzia (ML)    | 0,0020 | 0,1488 | 0,4733 |        | Mãe Luzia (ML)    | 0,6182  | 0,0444 | 0,0261 |        |
| Mãe Luzia (ML2)   | 0,9600 | 0,0020 | 0,0020 | 0,0020 | Mãe Luzia (ML2)   | -0,0304 | 0,8383 | 0,6901 | 0,6930 |

Fonte: O autor.

Figura 23 - Distribuição dos parâmetros analíticos em ambiente de comparação.



Fonte: O autor.

Na comparação par a par do subsistema Mãe Luiza, fracionado em duas regiões (ML e ML2) para poder fazer a análise multivariada, observa-se que o índice morisita-horn é de 0,002, o que corresponde sem similaridade nestas duas regiões. Cabe destacar que o índice

morisita-horn é uma medida de como dois conjuntos de dados são semelhantes ou diferentes, onde o índice varia de 0 (sem similaridade) a 1 (semelhança completa).

Foi observado na comparação par a par, que os rios Pio, Sangão e Sanga do Terneiro, Fiorita e leito principal do rio Mãe Luzia, que integram as SHR 01, 06 e 08, possuem similaridade em termos de qualidade da água, pois recebem contribuição de DAM. Os elementos que apresentaram maior correlação foram, pH, acidez, sulfatos, Fe, SDT e CE na ML2. Esta região, difere completamente das SHR 02, 03, 04, 05 e 07 (ML), cujos rios são o Jordão, Serrinha, Braço do Cedro, São Bento, Da Serra e Cedro, pois estes não sofrem influência pela DAM.

#### **4.1.2 Disponibilidade hídrica quantitativa**

##### **4.1.2.1 Vazões médias ( $Q_{med}$ )**

As maiores médias mensais de vazões nas seis estações fluviométricas foram registradas durante os meses de fevereiro a março, o que está associado ao regime de chuvas na bacia, ao tempo de retardo no escoamento superficial devido ao tipo de cobertura da terra e solo (MORTATTI et al., 1994; SCHMIDT; MATTOS, 2013), bem como a menor retirada de água dos rios devido à entressafra da produção de arroz irrigado.

Por outro lado, as menores médias fluviométricas ocorrem nos meses de junho e julho, coincidindo com o período de maior escassez hídrica na bacia. Nesse período, as vazões tendem a diminuir pois o volume de chuva precipitado no sul de Santa Catarina é menor, conforme se observa nos estudos realizados por Coan et al. (2014).

As Tabelas 21 e 22 constam o ranqueamento das distribuições de probabilidade para o teste de Kolmogorov-Smirnov classificadas de primeira (maior) a terceira (menor), destacadas por cor (verde escuro, verde claro e laranja).

Tabela 21 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov para as vazões médias mensais nas estações fluviométricas.

| Código /<br>Mês | Janeiro  |          |          |          |          |          | Fevereiro |          |          |          |          |          | Março    |          |          |          |          |          | Abril    |          |          |          |          |          |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição    |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal          | 3        | 2        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 1        | 1        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        |
| GM - MV         | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2         | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| LN2 - MV        | 1        | 3        | 2        | 3        | 2        | 2        | 1         | 2        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 2        | 2        | 1        | 3        | 2        |
| Código /<br>Mês | Maio     |          |          |          |          |          | Junho     |          |          |          |          |          | Julho    |          |          |          |          |          | Agosto   |          |          |          |          |          |
|                 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição    |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal          | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| GM - MV         | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 2         | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| LN2 - MV        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1         | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 3        | 1        | 1        | 1        | 3        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Código /<br>Mês | Setembro |          |          |          |          |          | Outubro   |          |          |          |          |          | Novembro |          |          |          |          |          | Dezembro |          |          |          |          |          |
|                 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição    |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal          | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 1        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| GM - MV         | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2         | 2        | 1        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| LN2 - MV        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 1         | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 3        | 2        | 3        | 2        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 2        |

Fonte: O autor.

Comparando às funções de distribuição, é possível notar que as distribuições Gama (método MV) e a Log-Normal (Tipo II método da MV) (Tabela 21) aparecem com maior frequência de aceitação, destacando-se na maioria dos meses, sendo a distribuição Normal a menos aceita.

A Tabela 22 traz os resultados do ranqueamento utilizando o teste de aderência de Anderson-Darling, sendo o valor crítico do teste de 0,752 (Dcrit). Observa-se que as distribuições Gama (MV) e a Log-Normal (MV) foram as mais aceitas em todas as estações fluviométricas, sendo a Log-Normal a de maior aceitação entre as estações fluviométricas. Portanto, os resultados demonstram que a distribuição Log-Normal é a mais indicada para representação da vazão média.

Quando analisado os resultados das distribuições de probabilidade para as vazões médias anuais, observou-se que no teste de aderência de Anderson-Darling as distribuições mais aceitas foram a Gama (MV) seguida da Log-Normal (MV). A distribuição Normal só foi aceita para o posto 84950000 (Taquaruçu). Os parâmetros dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e de Anderson-Darling estão no Apêndice C.

Tabela 22 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando o teste de aderência Anderson-Darling para as vazões médias mensais nas estações fluviométricas.

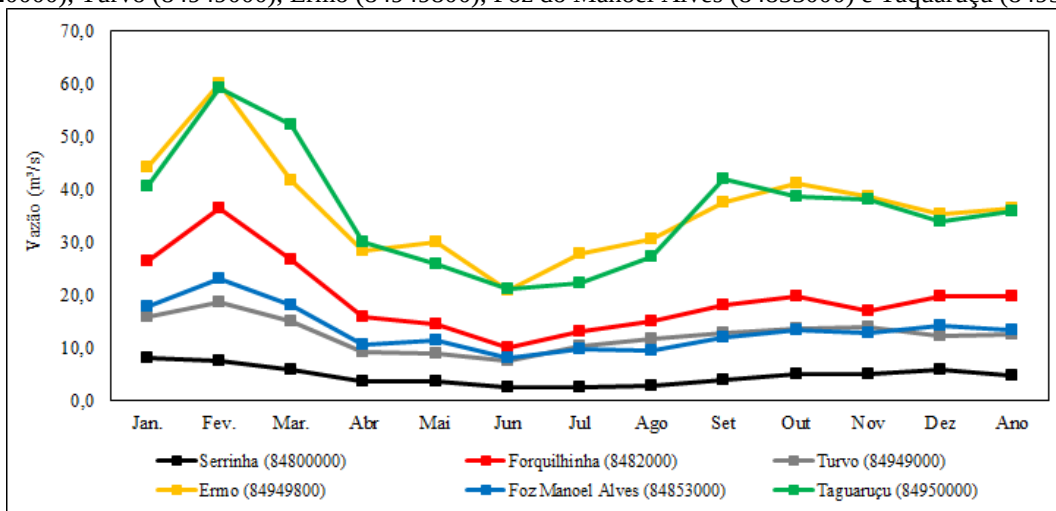
| Código / Mês | Janeiro  |          |          |          |          |          | Fevereiro |          |          |          |          |          | Março    |          |          |          |          |          | Abril    |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|              | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal       | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 1        | 2        | 1        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        |
| GM - MV      | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2         | 2        | 2        | 2        | 2        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| LN2 - MV     | 1        | 2        | 2        | 3        | 2        | 2        | 1         | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 2        | 3        | 3        | 3        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 3        | 2        |
| Código / Mês | Maio     |          |          |          |          |          | Junho     |          |          |          |          |          | Julho    |          |          |          |          |          | Agosto   |          |          |          |          |          |
|              | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal       | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| GM - MV      | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 2        | 2         | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        |
| LN2 - MV     | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1         | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        |
| Código / Mês | Setembro |          |          |          |          |          | Outubro   |          |          |          |          |          | Novembro |          |          |          |          |          | Dezembro |          |          |          |          |          |
|              | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição |          |          |          |          |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Normal       | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3         | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 2        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        | 3        |
| GM - MV      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2         | 2        | 2        | 2        | 2        | 1        | 2        | 2        | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 2        | 1        | 2        | 1        | 1        |
| LN2 - MV     | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 2        | 1         | 1        | 1        | 1        | 1        | 2        | 1        | 1        | 2        | 2        | 3        | 2        | 1        | 1        | 2        | 1        | 2        | 2        |

Fonte: O autor.

O posto que apresentou maiores médias anuais está localizado no município de Ermo, com 36,27 m<sup>3</sup>/s. Em contrapartida, o posto situado em Nova Veneza (Estação Serrinha Jusante), apresentou o menor valor médio anual (4,59 m<sup>3</sup>/s).

A Figura 24 apresenta a variação das vazões médias mensais das seis estações fluviométricas. De modo geral, as vazões tendem a aumentar quando inicia-se a estação chuvosa em outubro. O posto 84949800 (Ermo), localizado no município de Ermo, foi o que apresentou maior valor de vazões médias mensais, registrando em fevereiro 60,07 m<sup>3</sup>/s, e menor em junho, com vazão de 20,85 m<sup>3</sup>/s. Enquanto o posto 84800000 (Serrinha Jusante), em Nova Veneza, é o que apresenta a menor vazão média (2,38 m<sup>3</sup>/s a 8,01 m<sup>3</sup>/s) entre as estações fluviométricas devido a menor área de contribuição (116,25 km<sup>2</sup>).

Figura 24 - Vazões médias mensais e anuais nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000), Turvo (84949000), Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000).



Fonte: O autor.

De acordo com os dados identificados, os volumes de escoamento tendem a aumentar gradativamente a partir de outubro até março com pico no mês de fevereiro. A partir de abril, período com diminuição dos índices de chuvas, há os menores fluxos de vazão nos meses de junho a julho.

A Tabela 23 traz o comportamento das vazões médias mensais e a vazão média de longo período estimadas nas bacias dos rios Mãe Luzia, Manoel Alves, Itoupava e dos Porcos/Baixo Araranguá. Observa-se que as vazões médias seguem comportamento similar na sazonalidade quando comparado às vazões médias das estações fluviométricas. Enquanto na bacia do rio Araranguá os maiores picos de vazão são observados em novembro (345,32 m³/s) e março (314,21 m³/s) e os menores valores são registrados em maio (101,39 m³/s) e julho (109,67 m³/s).

A vazão média de longo período ( $Q_{\text{Média Longo Termo}}$ ) retrata a disponibilidade hídrica máxima de uma bacia, pois é a maior vazão que, teoricamente, pode ser regularizada, permitindo-se a avaliação dos limites superiores do uso da água para diferentes finalidades.

Na Tabela 24 estão os modelos ajustados e as equações de regressão selecionadas para estimar as vazões médias apresentadas na Tabela 23. Foram selecionados quatro dos seis modelos ajustados, sendo a equação de regressão potencial adotada para estimar seis meses, polinomial para cinco meses, linear e logarítmica um mês cada. O coeficiente de ajuste ( $R^2 > 0,90$ ) apresentou resultados satisfatórios. Na literatura, alguns trabalhos mostram resultados satisfatórios usando apenas a área como variável independente. (BAZZO et al., 2017; MACIEL et al., 2019).

Tabela 23 - Vazões médias mensais nos subsistemas das bacias dos rios Manoel Alves, Mãe Luzia, Itoupava, Porcos/Baixo Araranguá e na bacia do rio Araranguá.

| Mês                               | Subsistemas (m³/s)  |                    |                        |                              | Bacia do rio Araranguá (m³/s) |
|-----------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                   | Bacia Rio Mãe Luzia | Bacia rio Itoupava | Bacia rio Manoel Alves | Dos Porcos / Baixo Araranguá |                               |
| Jan.                              | 54,53               | 55,78              | 20,34                  | 22,02                        | 147,81                        |
| Fev.                              | 70,45               | 71,42              | 26,84                  | 30,46                        | 113,10                        |
| Mar.                              | 70,71               | 72,96              | 19,93                  | 21,95                        | 314,21                        |
| Abr.                              | 39,99               | 41,22              | 11,65                  | 12,81                        | 169,77                        |
| Mai.                              | 35,26               | 36,12              | 11,97                  | 13,10                        | 101,39                        |
| Jun.                              | 29,76               | 30,71              | 8,39                   | 9,23                         | 135,27                        |
| Jul.                              | 34,35               | 35,27              | 10,48                  | 11,56                        | 109,67                        |
| Ago.                              | 39,80               | 40,92              | 11,65                  | 12,90                        | 132,32                        |
| Set.                              | 60,15               | 62,42              | 13,93                  | 15,49                        | 343,68                        |
| Out.                              | 53,63               | 55,11              | 15,84                  | 17,53                        | 176,74                        |
| Nov.                              | 61,40               | 63,68              | 15,04                  | 16,60                        | 345,32                        |
| Dez.                              | 46,38               | 47,64              | 15,39                  | 16,75                        | 167,64                        |
| Q <sub>Média</sub><br>Longo Termo | 46,41               | 47,70              | 14,85                  | 16,24                        | 169,24                        |

Fonte: O autor.

Tabela 24 - Modelos de regressão das vazões médias e de longo termo associadas a cada subsistema das bacias dos rios Mãe Luzia, Manoel Alves, Itoupava e Porcos/Baixo Araranguá) e na bacia do rio Araranguá.

| Vazão de referência            | Nº estações | Modelo      | Equação de regressão                                                   | R²    |
|--------------------------------|-------------|-------------|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Q <sub>med</sub> Janeiro       | 6           | Linear      | Q <sub>Média</sub> Janeiro = 0,0476A+1,6244                            | 0,978 |
| Q <sub>med</sub> Fevereiro     | 5           | Logarítmica | Q <sub>Média</sub> Fevereiro = 41,965lnA-223,87                        | 0,994 |
| Q <sub>med</sub> Março         | 6           | Potencial   | Q <sub>Média</sub> Março = 0,0336e <sup>1,0704</sup>                   | 0,983 |
| Q <sub>med</sub> Abril         | 6           | Polinomial  | Q <sub>Média</sub> Abril = 0,00001A <sup>2</sup> +0,0244+0,5163        | 0,999 |
| Q <sub>med</sub> Maio          | 6           | Potência    | Q <sub>Média</sub> Maio = 0,0241e <sup>1,0392</sup>                    | 0,956 |
| Q <sub>med</sub> Junho         | 6           | Polinomial  | Q <sub>Média</sub> Junho = 0,000009A <sup>2</sup> +0,0162+0,6346       | 0,988 |
| Q <sub>med</sub> Julho         | 6           | Potência    | Q <sub>Média</sub> Julho = 0,0114e <sup>1,1422</sup>                   | 0,922 |
| Q <sub>med</sub> Agosto        | 6           | Potência    | Q <sub>Média</sub> Agosto = 0,01e <sup>1,1819</sup>                    | 0,960 |
| Q <sub>med</sub> Setembro      | 6           | Potência    | Q <sub>Média</sub> Setembro = 0,0144e <sup>1,1646</sup>                | 0,989 |
| Q <sub>med</sub> Outubro       | 6           | Potência    | Q <sub>Média</sub> Outubro = 0,0143e <sup>1,1734</sup>                 | 0,973 |
| Q <sub>med</sub> Novembro      | 6           | Polinomial  | Q <sub>Média</sub> Novembro = 0,000003A <sup>2</sup> +0,0194+2,7755    | 0,980 |
| Q <sub>med</sub> Dezembro      | 6           | Polinomial  | Q <sub>Média</sub> Dezembro = 0,000007A <sup>2</sup> +0,0326+1,4967    | 0,980 |
| Q <sub>Média</sub> Longo Termo | 6           | Polinomial  | Q <sub>Média</sub> Longo Termo = 0,000007A <sup>2</sup> +0,0334+0,6388 | 0,999 |

Fonte: O autor.

A Figura 25 ilustra a variação das vazões médias mensais nas estações fluviométricas e a Figura 26 as vazões médias mensais nos subsistemas da bacia do rio Araranguá.







#### 4.1.2.2 Vazões mínimas de referência

A vazão de referência  $Q_{7,10}$  se caracteriza pela mínima das médias de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, sendo determinada por cálculo probabilístico. No caso das vazões de permanência  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  exprimem, respectivamente, o valor de vazão em que 98%, 95% e 90% dos dados diários de vazão da série são iguais ou superiores, ou seja, 2%, 5% e 10% das vazões são inferiores a esses valores, sendo determinadas por análise de frequências.

De posse das vazões de referência ( $Q_{7,10}$ ) determinadas nos períodos anual, trimestral e mensal, ajustou-se as distribuições de probabilidade com seus respectivos métodos de estimativa de parâmetros. Obteve-se o total de 102 distribuições ajustadas, considerando que foram utilizadas as seis estações fluviométricas, totalizando 2142 distribuições de probabilidade testadas para cada vazão nos diferentes períodos sazonais.

As distribuições que melhor se ajustaram aos períodos analisados foram a Log-Normal a dois e três parâmetros, a Weibull dois e três parâmetros e a Pearson III, visto que não foram rejeitadas, ao nível de significância a 5% de probabilidade, pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling em todas as seis estações fluviométricas e nos períodos analisados (anual, trimestral e mensal).

Estudos realizados nas sub-bacias dos rios Paraná (SILVA; MARQUES; LEMOS, 2011) e Paraíba do Sul (BAENA, 2002), constataram que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros apresentaram melhores ajustes. Euclydes et al. (2001) identificaram que a distribuição Weibull foi a que melhor ajustou para representar eventos mínimos. Candorin (2022) constatou em seus estudos de estimativa e regionalização de vazões mínimas ( $Q_7$  e  $Q_{30}$ ) nas RH 09 e RH 10, no sul de Santa Catarina, que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros, a Weibull dois e três parâmetros e a Pearson III, foram as que melhor se ajustaram. Normalmente adota-se a distribuição Weibull com dois parâmetros devido a maior facilidade à determinação de seus parâmetros e por apresentar melhor aderência aos dados de vazões mínimas. (BARROS et al., 2018).

Para as vazões mínimas, verificou-se que o teste RMSE foi superior a  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  em 26 vazões mínimas estimadas, enquanto as demais vazões variaram  $<1,0 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$ . Em relação aos valores de D-index para as distribuições testadas, apenas três apresentaram valor  $>0,50 \text{ m}^3/\text{s}^{-1}$  (Estações Turvo (84949000) e Manoel Alves (84853000)). Dezesete vazões apresentaram valores entre  $<0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $>0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e as demais vazões mínimas foram inferiores a  $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . O Dcrítico estabelecido para o teste de Anderson-Darling foi de 0,752. Estes resultados

indicam desempenho favorável aos modelos de distribuição selecionados para cada estação fluviométrica.

Foi realizado o ranqueamento das distribuições de acordo com as estatísticas dos testes de aderência e dos índices de desempenho (Tabelas 25 a 27) para a vazão  $Q_{7,10}$ . Na Tabela 28 consta os parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da vazão mínima de referência ( $Q_{7,10}$ ) nas diferentes sazonalidades.

Classificou-se as distribuições de primeira a quinta ordem em cores destacadas, considerando estas cinco distribuições como sendo as que melhor se ajustaram. É importante colocar que embora apenas a melhor distribuição para ajuste da  $Q_{7,10}$  tenha sido selecionada, as outras quatro classificadas foram aceitas pelos testes de aderência, podendo ser utilizadas na estimativa de vazões mínimas.

As distribuições Normal e Gumbel Mínima pelos três métodos de estimativa (MM, MV e LM) não foram classificadas em nenhuma estação fluviométrica e nos períodos analisados. Das cinco distribuições que melhor se classificaram, a que melhor se ajustou foi a Log-Normal com três parâmetros e pelo método da máxima verossimilhança.

Tabela 25 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a  $Q_{7,10}$  de cada estação fluviométrica nos períodos anual e trimestral.

| Código<br>Distribuição | Anual    |          |          |          |          |          | 1º Trimestre |          |          |          |          |          | 2º Trimestre |          |          |          |          |          | 3º Trimestre |          |          |          |          |          | 4º Trimestre |          |          |          |          |          |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                        | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000     | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000     | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000     | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000     | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| GM - MM                | 12       | 18       | 17       | 19       | 19       | 18       |              | 19       | 16       | 15       | 16       | 16       | 18           | 19       | 15       | 19       | 15       | 15       | 17           | 16       | 15       | 19       | 15       | 15       | 16           | 15       | 16       | 19       | 16       | 15       |
| GM - LM                | 13       | 19       | 16       | 18       | 18       | 19       | 19           | 18       | 15       | 16       | 15       | 15       | 16           | 20       | 16       | 18       | 16       | 16       | 16           | 15       | 16       | 18       | 16       |          | 17           | 16       | 15       | 17       | 15       | 16       |
| GM - Chow              | 14       | 20       | 18       | 20       | 20       | 20       | 21           | 20       | 17       | 17       | 17       | 17       | 19           | 21       | 17       | 20       | 17       | 17       | 18           | 17       | 17       | 20       | 17       | 17       | 18           | 17       | 17       | 20       | 17       | 17       |
| WB2 - MM               | 9        | 6        | 12       | 15       | 8        | 3        | 13           | 13       | 7        | 9        | 2        | 4        | 14           | 13       | 8        | 15       | 10       | 1        | 13           | 6        | 11       | 15       | 8        | 13       | 6            | 6        | 6        | 14       | 6        | 5        |
| WB2 - MM(CV)           | 16       | 4        | 11       | 17       | 12       | 11       | 10           | 16       | 9        | 8        | 7        | 2        | 15           | 14       | 14       | 16       | 12       | 2        | 14           | 11       | 13       | 16       | 13       | 14       | 11           | 11       | 7        | 15       | 10       | 9        |
| WB2 - MV               | 11       | 5        | 2        | 14       | 1        | 1        | 11           | 4        | 4        | 7        | 3        | 3        | 13           | 12       | 3        | 14       | 5        | 3        | 12           | 5        | 1        | 13       | 5        | 10       | 4            | 4        | 3        | 13       | 3        | 4        |
| WB2 - LM               | 5        | 9        | 4        | 12       | 5        | 2        | 12           | 9        | 5        | 10       | 6        | 7        | 12           |          | 6        | 13       | 6        | 4        | 11           | 4        | 8        | 14       | 6        | 11       | 9            | 8        | 1        | 12       | 5        | 3        |
| WB3 - MM               | 1        | 7        | 6        |          | 13       | 6        | 14           |          | 11       | 11       | 11       | 11       |              | 11       | 5        |          | 2        |          |              |          | 6        |          | 7        |          | 3            | 3        | 11       |          | 11       | 1        |
| WB3 - MM2              | 17       | 11       | 13       |          | 14       | 9        | 17           |          | 12       | 12       | 12       | 12       |              | 10       | 10       |          | 7        |          |              |          | 3        |          | 10       |          | 1            | 2        | 12       |          | 12       | 2        |
| WB3 - LM               | 3        | 10       | 1        |          | 9        | 4        |              |          | 1        | 5        | 8        | 8        |              |          | 1        |          | 1        |          |              |          | 5        |          | 1        |          |              | 5        | 9        |          | 1        |          |
| LN2 - MM               | 6        | 13       | 9        | 6        | 3        | 5        | 5            | 6        | 3        | 3        | 5        | 6        | 5            | 3        | 4        | 2        | 3        | 11       | 9            | 9        | 4        | 5        | 9        | 4        | 2            | 9        | 4        | 2        | 7        | 8        |
| LN2 - MV               | 4        | 12       | 7        | 7        | 2        | 7        | 4            | 7        | 2        | 4        | 4        | 5        | 4            | 2        | 2        | 6        | 4        | 12       | 6            | 8        | 2        | 4        | 11       | 5        | 8            | 10       | 5        | 1        | 2        | 10       |
| LN2 - LM               | 15       | 16       | 8        | 11       | 11       | 15       | 1            | 11       | 10       | 2        | 9        | 10       | 2            | 4        | 12       | 3        | 13       | 13       | 3            | 13       | 12       | 3        | 12       | 8        | 14           | 13       | 8        | 8        | 8        | 13       |
| LN3 - MM               |          | 15       | 14       | 4        | 16       | 16       | 16           | 15       | 13       | 13       | 13       | 13       | 11           | 16       | 11       | 10       | 11       | 9        | 4            | 1        | 10       | 10       | 3        | 12       | 13           | 12       | 13       | 7        | 13       | 12       |
| LN3 - MV               |          | 1        |          | 1        | 4        | 8        | 3            | 3        | 6        | 1        | 1        | 1        | 1            | 1        | 7        | 1        | 8        | 7        | 1            | 2        | 7        | 1        | 4        | 1        | 10           | 1        | 2        | 3        | 4        | 7        |
| LN3 - LM               |          | 3        | 10       | 2        | 10       | 13       | 7            | 8        | 8        | 6        | 10       | 9        | 7            | 9        | 9        | 7        | 9        | 8        | 2            | 3        | 9        | 2        | 2        | 3        | 7            | 7        | 10       | 5        | 9        | 6        |
| PIII - MM              | 8        | 14       | 5        | 13       | 15       | 14       | 15           | 2        |          |          |          |          | 10           | 15       |          | 12       |          | 5        | 5            | 10       |          | 11       |          | 7        | 12           |          |          | 11       |          | 11       |
| PIII - MV              |          |          |          | 3        |          |          | 6            | 1        |          |          |          |          |              | 5        |          | 5        |          | 6        |              |          |          | 7        |          | 2        |              |          |          | 9        |          |          |
| PIII - LM              | 10       | 2        | 3        | 5        | 6        | 12       | 8            | 14       |          |          |          |          | 9            | 7        |          | 11       |          | 10       | 8            | 7        |          | 12       |          | 6        | 5            |          |          | 10       |          |          |
| LPIII - MMD            |          |          |          | 10       | 7        |          | 9            | 5        |          |          |          |          | 8            | 8        |          | 4        |          |          | 7            | 12       |          | 9        |          |          |              |          |          | 6        |          |          |
| LPIII - MMln           | 7        |          |          | 8        |          | 10       | 2            | 10       |          |          |          |          | 6            | 6        |          | 8        |          |          | 10           |          |          | 8        |          |          |              |          |          | 4        |          |          |
| LPIII - LM             |          | 8        |          | 9        |          |          | 20           | 12       |          |          |          |          | 3            | 17       |          | 9        |          |          |              |          |          | 6        |          |          |              |          |          | 16       |          |          |
| Normal                 | 2        | 17       | 15       | 16       | 17       | 17       | 18           | 17       | 14       | 14       | 14       | 14       | 17           | 18       | 13       | 17       | 14       | 14       | 15           | 14       | 14       | 17       | 14       | 9        | 15           | 14       | 14       | 18       | 14       | 14       |

Fonte: O autor.

Tabela 26 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a  $Q_{7,10}$  de cada estação fluviométrica no período de janeiro e junho.

| Código<br><br>Distribuição | Janeiro  |          |          |          |          |          | Fevereiro |          |          |          |          |          | Março    |          |          |          |          |          | Abril    |          |          |          |          |          | Maio     |          |          |          |          |          | Junho |    |    |    |    |    |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------|----|----|----|----|----|
|                            | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000  | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |       |    |    |    |    |    |
| GM - MM                    | 19       | 21       | 17       | 19       | 17       | 20       | 21        | 20       | 17       | 20       | 17       | 19       | 20       | 22       | 16       | 19       | 17       | 22       | 19       | 22       | 16       | 19       | 16       | 20       | 17       | 20       | 16       | 19       | 16       | 19       | 18    | 21 | 16 | 19 | 16 | 21 |
| GM - LM                    | 20       | 20       | 16       | 18       | 15       | 19       | 22        | 19       | 16       | 19       | 16       | 18       | 21       | 21       | 17       | 18       | 16       | 21       | 18       | 21       | 17       | 18       | 17       | 19       | 16       | 21       | 17       | 17       | 17       | 20       | 16    | 22 | 17 | 18 | 17 | 20 |
| GM - Chow                  | 21       | 22       | 18       | 20       | 18       | 21       | 23        | 21       | 18       | 21       | 18       | 20       | 23       | 23       | 18       | 20       | 18       | 23       | 20       | 23       | 18       | 20       | 18       | 21       | 18       | 22       | 18       | 20       | 18       | 21       | 19    | 23 | 18 | 20 | 18 | 22 |
| WB2 - MM                   | 8        | 12       | 4        | 12       | 6        | 8        | 10        | 15       | 6        | 9        | 6        | 8        | 13       | 14       | 7        | 15       | 9        | 16       | 14       | 18       | 7        | 15       | 3        | 13       | 12       | 14       | 10       | 14       | 12       | 2        | 12    | 13 | 12 | 14 | 5  | 17 |
| WB2 - MM(CV)               | 12       | 10       | 8        | 10       | 5        | 2        | 9         | 16       | 9        | 8        | 9        | 7        | 8        | 12       | 12       | 16       | 7        | 18       | 15       | 19       | 14       | 16       | 13       | 17       | 14       | 17       | 13       | 16       | 14       | 1        | 14    | 12 | 13 | 15 | 7  | 18 |
| WB2 - MV                   | 7        | 8        | 2        | 9        | 4        | 7        | 7         | 12       | 1        | 6        | 2        | 6        | 10       | 11       | 1        | 13       | 6        | 13       | 12       | 15       | 3        | 14       | 6        | 12       | 7        | 13       | 4        | 13       | 6        | 4        | 9     | 11 | 4  | 12 | 2  | 14 |
| WB2 - LM                   | 11       | 13       | 1        | 11       | 7        | 9        | 11        | 14       | 5        | 11       | 1        | 9        | 14       | 13       | 4        | 14       | 10       | 15       | 13       | 16       | 5        | 12       | 5        | 11       | 10       | 15       | 7        | 11       | 11       | 3        | 11    | 14 | 10 | 13 | 8  | 15 |
| WB3 - MM                   | 10       | 14       | 11       | 13       | 12       | 14       | 13        | 7        | 11       | 10       | 11       | 13       | 15       | 16       | 9        |          | 12       | 9        |          | 12       | 8        |          | 7        |          |          | 12       | 5        |          | 1        | 7        |       | 15 | 6  |    | 11 | 4  |
| WB3 - MM2                  | 6        |          | 13       | 14       | 13       | 15       | 19        | 11       | 12       | 7        | 12       | 12       | 18       | 15       | 13       |          | 11       | 2        |          | 11       | 15       |          | 15       |          |          | 11       | 8        |          | 4        | 10       |       | 16 | 3  |    | 12 | 6  |
| WB3 - LM                   | 9        |          |          | 7        | 9        | 11       | 14        |          | 7        | 13       | 8        |          | 9        | 7        | 6        |          | 10       |          | 1        | 1        |          | 4        | 6        |          |          | 1        |          | 5        |          |          | 7     | 1  |    |    |    |    |
| LN2 - MM                   | 13       | 2        | 3        | 4        | 3        | 3        | 4         | 2        | 3        | 1        | 3        | 2        | 4        | 5        | 3        | 5        | 8        | 5        | 4        | 7        | 6        | 2        | 12       | 7        | 6        | 2        | 3        | 3        | 2        | 13       | 5     | 5  | 5  | 2  | 4  | 7  |
| LN2 - MV                   | 14       | 3        | 5        | 5        | 2        | 4        | 6         | 4        | 2        | 4        | 5        | 3        | 6        | 2        | 2        | 8        | 5        | 6        | 6        | 5        | 2        | 3        | 11       | 8        | 8        | 1        | 2        | 6        | 3        | 14       | 4     | 3  | 2  | 5  | 6  | 9  |
| LN2 - LM                   | 17       | 5        | 12       | 1        | 8        | 12       | 12        | 8        | 8        | 12       | 7        | 11       | 5        | 3        | 10       | 11       | 3        | 11       | 7        | 9        | 12       | 4        | 10       | 15       | 13       | 6        | 14       | 10       | 15       | 17       | 3     | 2  | 14 | 3  | 10 | 12 |
| LN3 - MM                   | 3        | 18       | 14       | 16       | 14       | 17       | 16        | 17       | 14       | 17       | 14       | 16       | 17       | 18       | 14       | 12       | 14       | 19       | 11       | 17       | 11       | 8        | 9        | 4        | 4        | 18       | 12       | 5        | 10       | 11       | 13    | 18 | 11 | 10 | 14 | 16 |
| LN3 - MV                   | 1        | 1        | 7        |          | 1        | 1        | 8         | 1        | 4        | 3        | 4        | 1        | 2        | 1        | 5        | 1        | 1        | 3        | 1        | 4        | 4        | 1        | 1        | 1        | 2        | 5        | 6        | 2        | 8        | 9        | 1     | 1  | 7  | 1  | 1  | 2  |
| LN3 - LM                   | 5        | 7        | 6        | 8        | 10       | 13       | 18        | 13       | 10       | 15       | 10       | 14       | 12       | 10       | 8        | 2        | 2        | 17       | 2        | 10       | 9        | 10       | 2        | 5        | 1        | 10       | 9        | 9        | 7        | 8        | 2     | 10 | 9  | 6  | 9  | 5  |
| PIII - MM                  | 2        | 16       | 9        | 15       | 11       | 16       | 15        | 9        | 13       | 16       | 13       | 15       | 16       | 17       | 11       | 10       | 13       | 14       | 10       | 14       | 10       | 13       | 8        | 16       | 3        | 16       | 11       | 15       | 9        | 5        | 10    | 17 | 8  | 11 | 13 | 8  |
| PIII - MV                  |          | 4        |          |          |          |          | 3         | 10       |          |          |          | 10       | 1        | 6        |          | 3        |          | 8        | 3        | 3        |          | 9        |          | 2        |          | 8        |          | 1        |          | 6        |       | 6  |    | 8  |    | 1  |
| PIII - LM                  | 4        | 6        | 10       | 6        |          | 10       | 17        |          |          | 14       |          | 5        | 11       | 8        |          | 6        | 4        | 12       | 9        | 2        |          | 11       |          | 3        | 5        | 9        |          | 12       |          | 12       | 7     | 9  |    | 9  | 3  | 12 |
| LPIII - MMD                | 15       | 9        |          |          |          |          | 1         | 6        |          |          |          |          | 7        | 9        |          | 4        |          | 1        | 8        | 6        |          | 5        |          | 14       | 11       | 7        |          | 7        |          | 16       | 8     | 8  |    | 7  |    | 3  |
| LPIII - MMln               | 16       | 11       |          | 3        |          | 6        | 5         | 5        |          | 5        |          | 4        | 3        | 4        |          | 9        |          | 7        | 5        | 8        |          | 6        |          | 9        | 9        | 3        |          | 4        |          | 15       | 6     | 4  |    | 4  |    | 10 |
| LPIII - LM                 |          | 17       |          | 2        |          | 5        | 2         | 3        |          | 2        |          |          | 22       | 19       |          | 7        |          | 4        | 17       | 13       |          | 7        |          | 10       |          | 4        |          | 8        |          |          | 15    | 19 |    | 16 |    | 11 |
| Normal                     | 18       | 15       | 15       | 17       | 16       | 18       | 20        | 18       | 15       | 18       | 15       | 17       | 19       | 20       | 15       | 17       | 15       | 20       | 16       | 20       | 13       | 17       | 14       | 18       | 15       | 19       | 15       | 18       | 13       | 18       | 17    | 20 | 15 | 17 | 15 | 19 |

Fonte: O autor.

Tabela 27 - Ranqueamento das distribuições de probabilidade utilizando os testes e critérios de seleção para escolha das melhores distribuições ajustadas a  $Q_{7,10}$  de cada estação fluviométrica no período de julho a dezembro.

| Código       | Julho    |          |          |          |          |          | Agosto   |          |          |          |          |          | Setembro |          |          |          |          |          | Outubro  |          |          |          |          |          | Novembro |          |          |          |          |          | Dezembro |          |          |          |          |          |
|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|              | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 | 84800000 | 84820000 | 84949000 | 84949800 | 84853000 | 84950000 |
| Distribuição |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| GM – MM      | 18       | 19       | 16       | 19       | 16       | 19       | 17       | 16       | 18       | 21       | 17       | 19       | 19       | 16       | 16       | 16       | 16       | 19       | 21       | 21       | 16       | 18       | 17       | 20       | 18       | 19       | 17       | 18       | 17       | 19       | 15       | 19       | 17       | 18       | 17       | 18       |
| GM – LM      | 16       | 18       | 17       | 18       | 17       | 18       | 15       | 15       | 17       | 20       | 16       | 18       | 20       | 15       | 14       | 17       | 17       | 18       | 20       | 20       | 15       | 17       | 16       | 21       | 17       | 18       | 16       | 16       | 16       | 18       | 16       | 18       | 16       | 16       | 16       | 17       |
| GM – Chow    | 20       | 20       | 18       | 20       | 18       | 20       | 18       | 17       | 19       | 22       | 18       | 20       | 21       | 17       | 17       | 18       | 18       | 20       | 22       | 22       | 17       | 19       | 18       | 22       | 19       | 20       | 18       | 19       | 18       | 20       | 17       | 20       | 18       | 19       | 18       | 19       |
| WB2 – MM     | 14       | 14       | 11       | 15       | 7        | 15       | 13       | 9        | 5        | 17       | 6        | 15       | 2        | 3        | 6        | 11       | 7        | 15       | 17       | 17       | 3        | 13       | 6        | 16       | 14       | 14       | 9        | 14       | 9        | 14       | 6        | 12       | 3        | 12       | 6        | 2        |
| WB2 - MM(CV) | 17       | 15       | 13       | 16       | 13       | 16       | 14       | 8        | 3        | 18       | 11       | 16       | 12       | 9        | 5        | 14       | 11       | 16       | 18       | 18       | 7        | 14       | 9        | 18       | 15       | 15       | 10       | 15       | 10       | 16       | 13       | 11       | 7        | 14       | 9        | 6        |
| WB2 – MV     | 13       | 11       | 7        | 14       | 1        | 13       | 11       | 4        | 2        | 14       | 4        | 12       | 1        | 2        | 2        | 9        | 1        | 14       | 14       | 14       | 2        | 12       | 2        | 14       | 12       | 12       | 4        | 11       | 3        | 11       | 3        | 6        | 2        | 9        | 1        | 5        |
| WB2 – LM     | 12       | 12       | 10       | 13       | 2        | 11       | 10       | 7        | 4        | 15       | 5        | 13       | 10       | 1        | 7        | 10       | 6        | 13       | 16       | 15       | 1        | 11       | 3        | 15       | 13       | 13       | 8        | 13       | 6        | 12       | 1        | 8        | 1        | 11       | 5        | 3        |
| WB3 – MM     |          |          | 1        |          | 8        |          |          | 11       | 8        | 12       | 9        |          | 14       |          |          |          | 9        |          | 11       | 11       |          |          | 11       | 11       |          |          | 5        |          | 4        |          | 9        | 13       | 8        |          | 11       | 4        |
| WB3 - MM2    |          |          | 2        |          | 10       |          |          | 10       | 6        | 10       | 10       |          | 17       |          |          |          | 12       |          | 8        | 8        | 13       |          | 12       | 9        |          |          | 7        |          | 11       |          | 14       | 9        | 9        |          | 12       | 1        |
| WB3 – LM     |          |          | 3        |          | 3        |          |          |          |          |          | 1        |          | 4        |          | 8        |          | 4        |          |          |          |          |          | 1        |          |          | 1        | 11       |          | 1        |          | 7        |          | 10       |          | 8        |          |
| LN2 – MM     | 5        | 5        | 4        | 4        | 6        | 5        | 8        | 6        | 7        | 3        | 3        | 4        | 5        | 5        | 3        | 6        | 3        | 9        | 3        | 6        | 4        | 2        | 4        | 2        | 6        | 6        | 2        | 6        | 8        | 6        | 4        | 3        | 5        | 3        | 2        | 9        |
| LN2 – MV     | 8        | 2        | 5        | 7        | 5        | 7        | 7        | 5        | 9        | 1        | 2        | 1        | 8        | 6        | 4        | 7        | 2        | 7        | 1        | 3        | 5        | 5        | 5        | 1        | 4        | 7        | 3        | 4        | 2        | 8        | 5        | 4        | 6        | 2        | 3        | 10       |
| LN2 – LM     | 4        | 6        | 14       | 9        | 14       | 10       | 2        | 3        | 13       | 8        | 13       | 6        | 13       | 13       | 12       | 13       | 10       | 1        | 7        | 10       | 9        | 1        | 10       | 6        | 2        | 4        | 13       | 8        | 13       | 9        | 11       | 10       | 12       | 5        | 7        | 14       |
| LN3 – MM     | 1        | 10       | 12       | 3        | 12       | 4        | 3        | 13       | 14       | 16       | 14       | 14       | 16       | 4        | 9        | 5        | 14       | 3        | 15       | 16       | 11       | 9        | 14       | 17       | 11       | 11       | 14       | 12       | 14       | 13       | 10       | 16       | 14       | 13       | 14       | 15       |
| LN3 – MV     | 3        | 3        | 8        | 1        | 4        | 2        | 1        | 1        | 12       | 5        | 7        | 2        | 6        | 7        | 10       | 2        | 5        | 4        | 5        | 1        | 6        | 4        | 7        | 4        | 1        | 3        | 6        | 1        | 7        | 4        | 2        | 1        | 4        | 1        | 4        | 8        |
| LN3 – LM     | 9        | 1        | 6        | 2        | 9        | 9        | 4        | 2        | 11       | 6        | 8        | 7        | 11       | 8        | 11       | 1        | 8        | 5        | 6        | 9        | 8        | 7        | 8        | 12       | 3        | 9        | 12       | 2        | 12       | 3        | 8        | 2        | 13       | 6        | 10       | 7        |
| PIII – MM    | 11       | 13       | 9        | 12       | 11       | 14       | 9        | 12       | 1        | 13       | 12       | 10       | 15       | 11       | 13       | 3        | 13       | 12       | 13       | 13       | 12       | 8        | 13       | 13       | 5        | 10       | 1        | 9        | 5        | 15       |          | 15       | 11       | 8        | 13       | 13       |
| PIII – MV    | 7        | 7        |          | 10       |          | 1        |          |          | 15       | 7        |          | 8        |          |          |          |          |          | 10       | 9        | 2        |          |          |          | 8        |          |          |          |          |          | 1        |          |          |          |          |          |          |
| PIII – LM    | 10       | 8        |          | 11       |          | 12       | 12       |          | 10       | 9        |          | 11       | 9        | 10       | 1        | 4        |          | 11       | 10       | 5        | 10       | 10       |          | 10       | 10       | 2        |          | 7        |          | 10       |          | 14       |          | 10       |          | 12       |
| LPIII – MMD  | 2        | 9        |          | 8        |          | 3        | 6        |          |          | 11       |          | 9        | 7        | 12       |          | 12       |          | 2        | 12       | 12       |          | 6        |          | 7        | 8        | 8        |          | 10       |          | 2        |          |          | 7        |          |          |          |
| LPIII – MMIn | 6        | 4        |          | 5        |          | 6        |          |          |          | 2        |          | 4        |          |          |          | 8        |          | 8        | 2        | 4        |          | 3        |          | 3        | 7        | 5        |          | 3        |          | 7        |          | 5        |          | 4        |          | 11       |
| LPIII – LM   | 19       | 16       |          | 6        |          | 8        | 5        |          |          | 4        |          | 3        | 3        |          |          |          | 6        | 4        | 7        |          | 15       |          | 5        | 9        | 16       |          | 5        |          | 5        |          | 7        |          | 15       |          |          |          |
| Normal       | 15       | 17       | 15       | 17       | 15       | 17       | 16       | 14       | 16       | 19       | 15       | 17       | 18       | 14       | 15       | 15       | 15       | 17       | 19       | 19       | 14       | 16       | 15       | 19       | 16       | 17       | 15       | 17       | 15       | 17       | 12       | 17       | 15       | 17       | 15       | 16       |

Fonte: O autor.

Tabela 28 - Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ) anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex).

(continua)

| Código   | Período      | Distribuição | Parâmetro Forma | Parâmetro Escala | Parâmetro Posição | Dmax   | AD     | RMSE   | MAE     | Dindex |
|----------|--------------|--------------|-----------------|------------------|-------------------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 84800000 | Anual        | WB3 - MM     | 5,8955          | 1,3773           | -0,7180           | 0,1363 | 0,3742 | 0,0396 | 0,0325  | 0,3236 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 0,8146          | 0,3582           | -0,9013           | 0,0616 | 0,1325 | 0,0710 | 0,0521  | 0,1459 |
| 84949000 |              | WB3 - LM     | 1,0667          | 0,7467           | -0,1196           | 0,1332 | 0,6983 | 0,1399 | 0,0983  | 0,4809 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 1,1019          | 0,4328           | -0,5540           | 0,0887 | 0,2397 | 0,2518 | 0,1553  | 0,1441 |
| 84853000 |              | WB2 - MV     | 0,5394          | 0,7752           |                   | 0,1254 | 0,4637 | 0,1656 | 0,0959  | 0,1092 |
| 84950000 |              | WB2 - MV     | 3,4640          | 1,2614           |                   | 0,1019 | 0,5644 | 0,3831 | 0,2828  | 0,1861 |
| 84800000 | 1º Trimestre | LN2 - MV     | 0,5172          | 0,6023           |                   | 0,1368 | 0,7289 | 0,4395 | 0,2598  | 0,3074 |
| 84820000 |              | PIII - MV    | 3,2775          | 1,1041           | 0,5169            | 0,1088 | 0,7372 | 0,6024 | 0,3916  | 0,0732 |
| 84949000 |              | WB3 - LM     | 0,7788          | 2,0852           | -0,0432           | 0,1768 | 0,6602 | 0,4299 | 0,2968  | 0,0482 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 1,4062          | 0,9353           | 0,7391            | 0,1011 | 0,3194 | 1,9134 | 0,8627  | 0,0952 |
| 84853000 |              | LN3 - MV     | 0,2019          | 1,2310           | -0,0627           | 0,1331 | 0,3508 | 1,0823 | 0,3409  | 0,0461 |
| 84950000 |              | LN3 - MV     | 1,7253          | 0,8580           | -0,6929           | 0,0713 | 0,261  | 1,8008 | 0,7263  | 0,0950 |
| 84800000 | 2º Trimestre | LN3 - MV     | 0,0240          | 0,6154           | -0,1281           | 0,1407 | 0,6684 | 0,3411 | 0,1683  | 0,3286 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 0,9444          | 0,5908           | -0,1403           | 0,0726 | 0,3714 | 0,4059 | 0,1993  | 0,1509 |
| 84949000 |              | WB3 - LM     | 1,8165          | 2,3698           | -0,5444           | 0,0834 | 0,4141 | 0,149  | 0,11951 | 0,5916 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 1,5204          | 0,6154           | -0,2188           | 0,0746 | 0,1822 | 0,5670 | 0,3199  | 0,0930 |
| 84853000 |              | WB3 - LM     | 1,5568          | 2,5993           | -0,2058           | 0,0779 | 0,1403 | 0,1114 | 0,0887  | 0,1432 |
| 84950000 |              | WB2 - MM     | 6,4254          | 1,8285           |                   | 0,1253 | 0,7079 | 0,5280 | 0,3956  | 0,1239 |
| 84800000 | 3º Trimestre | LN3 - MV     | -0,0336         | 0,4813           | -0,2329           | 0,1362 | 0,5035 | 0,1224 | 0,0836  | 0,1940 |
| 84820000 |              | LN3 - MM     | 1,0869          | 0,4794           | -0,9824           | 0,0628 | 0,2229 | 0,1958 | 0,1269  | 0,1651 |
| 84949000 |              | WB2 - MV     | 1,3864          | 1,1589           |                   | 0,1386 | 0,7189 | 0,1712 | 0,1382  | 0,3589 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 1,5667          | 0,5417           | -0,6533           | 0,0971 | 0,2771 | 0,4481 | 0,2747  | 0,1164 |
| 84853000 |              | WB3 - LM     | 1,3008          | 1,6915           | -0,2219           | 0,0892 | 0,2928 | 0,147  | 0,1022  | 0,2641 |
| 84950000 |              | LN3 - MV     | 1,7034          | 0,4854           | -0,9035           | 0,0904 | 0,6559 | 0,5134 | 0,3812  | 0,0974 |
| 84800000 | 4º Trimestre | WB3 - MM2    | 1,5845          | 1,3982           | 0,0226            | 0,1041 | 0,3010 | 0,1062 | 0,0873  | 0,1319 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 1,1616          | 0,4579           | -0,8724           | 0,0680 | 0,1492 | 0,1517 | 0,1018  | 0,0760 |
| 84949000 |              | WB2 - LM     | 1,1940          | 0,8060           |                   | 0,0962 | 0,2644 | 0,1528 | 0,1056  | 0,0537 |
| 84949800 |              | LN2 - MV     | 1,3565          | 0,6012           |                   | 0,0690 | 0,2301 | 0,9409 | 0,3871  | 0,1947 |
| 84853000 |              | WB3 - LM     | 1,0859          | 1,2138           | -0,1943           | 0,1292 | 0,8043 | 0,1417 | 0,11626 | 0,5542 |
| 84950000 |              | WB3 - MM     | 1,4922          | 6,5694           | -0,4259           | 0,0775 | 0,536  | 0,5766 | 0,4525  | 0,1690 |
| 84800000 | Janeiro      | LN3 - MV     | 1,6296          | 0,3140           | -2,2867           | 0,1304 | 0,2789 | 0,1990 | 0,1662  | 0,1417 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 1,4796          | 0,9118           | 0,0088            | 0,0781 | 0,2632 | 1,5278 | 0,6308  | 0,0837 |
| 84949000 |              | WB2 - LM     | 3,0372          | 0,8327           |                   | 0,1406 | 0,3751 | 0,6026 | 0,3254  | 0,0544 |
| 84949800 |              | LN2 - LM     | 1,9780          | 0,9313           |                   | 0,0937 | 0,5137 | 1,7867 | 1,2065  | 0,1557 |
| 84853000 |              | LN3 - MV     | 0,6086          | 1,4112           | -0,0532           | 0,0811 | 0,1663 | 2,5931 | 0,6664  | 0,0314 |
| 84950000 |              | LN3 - MV     | 1,9011          | 1,1480           | -0,2973           | 0,0628 | 0,226  | 6,1683 | 1,6585  | 0,0450 |
| 84800000 | Fevereiro    | LPIII - MMD  | -0,2712         | 3,9165           | 2,1852            | 0,0950 | 0,4446 | 0,6943 | 0,4498  | 0,0897 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 1,8705          | 1,0048           | -0,0743           | 0,0919 | 0,3901 | 2,3112 | 1,2593  | 0,1197 |
| 84949000 |              | WB2 - LV     | 4,415           | 0,7616           |                   | 0,1138 | 0,3076 | 1,1337 | 0,6640  | 0,0657 |
| 84949800 |              | LN2 - MM     | 2,3638          | 0,9744           |                   | 0,1413 | 0,4725 | 4,9568 | 2,5976  | 0,1185 |
| 84853000 |              | WB2 - LM     | 6,0899          | 0,8865           |                   | 0,1176 | 0,446  | 1,2061 | 0,86321 | 0,0642 |
| 84950000 |              | LN3 - MV     | 2,5740          | 0,9321           | -1,0036           | 0,0686 | 0,2815 | 4,5327 | 1,9144  | 0,0561 |
| 84800000 | Março        | PIII - MV    | 1,5302          | 1,1418           | 0,6661            | 0,1649 | 0,5459 | 0,4057 | 0,2576  | 0,0703 |
| 84820000 |              | LN3 - MV     | 1,6650          | 0,7978           | 0,4665            | 0,0815 | 0,3084 | 1,7467 | 0,7270  | 0,0612 |
| 84949000 |              | LN2 - MV     | 4,0012          | 1,0171           |                   | 0,1057 | 0,7332 | 0,7264 | 0,4695  | 0,2414 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 2,3163          | 0,6153           | -0,9214           | 0,0893 | 0,2321 | 1,3544 | 0,7299  | 0,1242 |
| 84853000 |              | LN3 - MV     | 1,4894          | 0,7332           | -0,6967           | 0,0579 | 0,131  | 0,7406 | 0,3535  | 0,1635 |
| 84950000 |              | LPIII - MMD  | -0,2781         | 9,5720           | 5,0821            | 0,0601 | 0,2445 | 4,9584 | 2,1991  | 0,0422 |
| 84800000 | Abril        | LN3 - MV     | 0,5129          | 0,5641           | -0,1522           | 0,0880 | 0,2415 | 0,1993 | 0,1264  | 0,1581 |
| 84820000 |              | WB3 - LM     | 1,1052          | 4,0269           | 1,3404            | 0,0701 | 0,2824 | 0,3652 | 0,2634  | 0,0496 |
| 84949000 |              | WB3 - LM     | 2,0528          | 5,0693           | -1,4626           | 0,1037 | 0,491  | 0,3519 | 0,2731  | 0,5738 |
| 84949800 |              | LN3 - MV     | 2,1027          | 0,5139           | -0,7323           | 0,0981 | 0,3128 | 1,3702 | 0,7068  | 0,1508 |
| 84853000 |              | LN3 - MV     | 2,0026          | 0,2797           | -3,9251           | 0,1076 | 0,3611 | 0,4059 | 0,25268 | 0,208  |
| 84950000 |              | PIII - MV    | 3,7578          | 2,5053           | 0,4130            | 0,0845 | 0,4112 | 1,3207 | 0,6320  | 0,1782 |
| 84820000 |              | LN2 - MV     | 1,1637          | 0,6158           |                   | 0,1086 | 0,3454 | 0,6114 | 0,2447  | 0,1715 |

Tabela 28 - Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ) anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex).

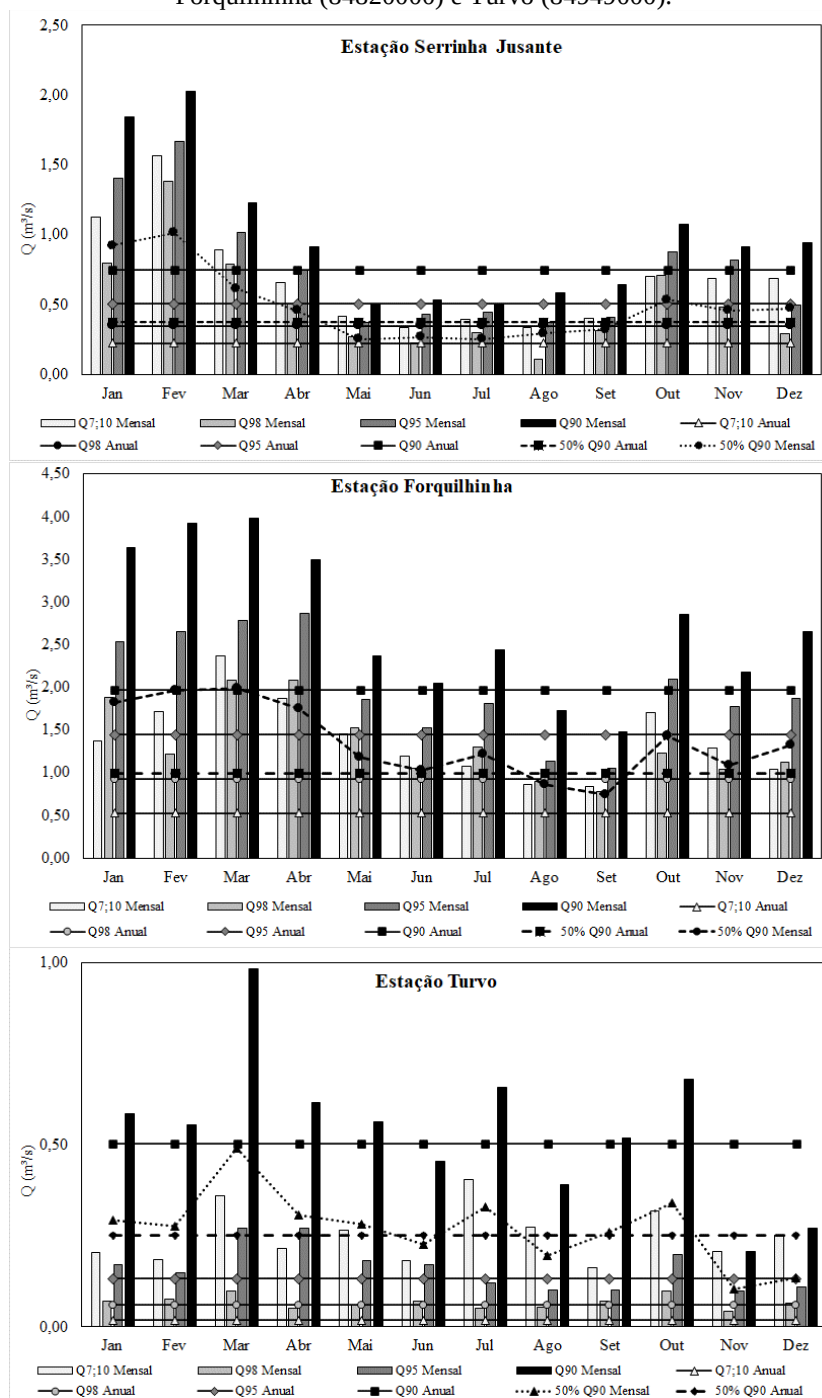
| (conclusão) |          |               |                 |                  |                   |        |        |        |        |        |
|-------------|----------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Código      | Período  | Distribuição  | Parâmetro Forma | Parâmetro Escala | Parâmetro Posição | Dmax   | AD     | RMSE   | MAE    | Dindex |
| 84800000    | Maio     | LN3 - LM      | 0,4098          | 0,4852           | -0,3925           | 0,1068 | 0,197  | 0,0973 | 0,0727 | 0,1575 |
| 84820000    |          | LN2 - MV      | 1,1637          | 0,6158           |                   | 0,1086 | 0,3454 | 0,6114 | 0,2447 | 0,1715 |
| 84949000    |          | WB3 - LM      | 1,5315          | 3,4991           | -0,4946           | 0,0604 | 0,1799 | 0,1872 | 0,1329 | 0,260  |
| 84949800    |          | PIII - MV     | 4,3847          | 1,4627           | 0,9441            | 0,1027 | 0,4001 | 1,8822 | 0,8322 | 0,1742 |
| 84853000    |          | WB3 - MM      | 1,9078          | 4,0342           | -0,5844           | 0,0881 | 0,3823 | 0,2677 | 0,2160 | 0,3487 |
| 84950000    |          | WB2 - MM (CV) | 8,2976          | 1,5971           |                   | 0,0936 | 0,4928 | 0,4899 | 0,4092 | 0,1109 |
| 84800000    | Junho    | LN2 - LM      | -0,0828         | 0,7894           |                   | 0,1324 | 0,7945 | 0,2425 | 0,1706 | 0,4468 |
| 84820000    |          | LN3 - MV      | 0,8943          | 0,7129           | 0,2155            | 0,0768 | 0,4891 | 0,7428 | 0,3276 | 0,1098 |
| 84949000    |          | WB3 - LM      | 1,6681          | 2,9479           | -0,4395           | 0,0867 | 0,3073 | 0,2151 | 0,1466 | 0,2994 |
| 84949800    |          | LN3 - MV      | 1,6496          | 0,6516           | -0,2012           | 0,0687 | 0,1661 | 0,8557 | 0,4148 | 0,1118 |
| 84853000    |          | LN3 - MV      | 0,9289          | 0,7061           | -0,4247           | 0,0697 | 0,1873 | 0,4962 | 0,2471 | 0,0697 |
| 84950000    |          | PIII - MV     | 2,9250          | 2,1017           | 0,7555            | 0,1093 | 0,6717 | 0,7132 | 0,5337 | 0,0955 |
| 84800000    | Julho    | LN3 - MM      | 0,0022          | 0,4977           | -0,1372           | 0,1127 | 0,2612 | 0,1189 | 0,0664 | 0,1904 |
| 84820000    |          | LN3 - LM      | 0,9287          | 0,7763           | 0,1398            | 0,0830 | 0,2384 | 0,6558 | 0,2794 | 0,0644 |
| 84949000    |          | WB3 - MM      | 1,5547          | 2,9718           | -0,295            | 0,1059 | 0,4504 | 0,2614 | 0,2104 | 0,2608 |
| 84949800    |          | LN3 - MV      | 1,8666          | 0,5322           | -0,5935           | 0,0982 | 0,2135 | 0,7529 | 0,4135 | 0,0887 |
| 84853000    |          | WB2 - MV      | 3,1585          | 1,3362           |                   | 0,0922 | 0,228  | 0,2232 | 0,1476 | 0,1169 |
| 84950000    |          | PIII - MV     | 3,4310          | 1,8198           | 0,9206            | 0,0730 | 0,3886 | 0,8806 | 0,4912 | 0,1108 |
| 84800000    | Agosto   | LN3 - MV      | 0,1575          | 0,5571           | -0,2378           | 0,1384 | 0,6296 | 0,1926 | 0,1289 | 0,3754 |
| 84820000    |          | LN3 - MV      | 1,2477          | 0,6832           | -0,5985           | 0,0665 | 0,3648 | 0,4936 | 0,3055 | 0,2752 |
| 84949000    |          | PIII - MM     | 2,5215          | 1,0048           | 0,0163            | 0,0674 | 0,2331 | 0,3616 | 0,1888 | 0,1307 |
| 84949800    |          | LN2 - MV      | 1,7538          | 0,6517           |                   | 0,0770 | 0,3015 | 0,9337 | 0,5522 | 0,1894 |
| 84853000    |          | WB3 - LM      | 1,0143          | 2,7527           | -0,0526           | 0,1223 | 0,4458 | 0,2933 | 0,2266 | 0,1504 |
| 84950000    |          | LN2 - MV      | 1,8203          | 0,6742           |                   | 0,0785 | 0,3613 | 0,9069 | 0,5273 | 0,1283 |
| 84800000    | Setembro | WB2 - MV      | 1,6930          | 1,5584           |                   | 0,1009 | 0,3196 | 0,1637 | 0,1141 | 0,1604 |
| 84820000    |          | WB2 - LM      | 4,4874          | 1,4353           |                   | 0,1201 | 0,6366 | 0,6573 | 0,4188 | 0,1076 |
| 84949000    |          | PIII - LM     | 2,3065          | 1,2375           | -0,0198           | 0,1109 | 0,6152 | 0,827  | 0,4017 | 0,1926 |
| 84949800    |          | LN3 - LM      | 2,2299          | 0,3724           | -3,5059           | 0,0750 | 0,0842 | 0,3270 | 0,1985 | 0,1171 |
| 84853000    |          | WB2 - MV      | 2,2672          | 0,951            |                   | 0,1055 | 0,5981 | 0,5501 | 0,2584 | 0,1388 |
| 84950000    |          | LN2 - LM      | 2,0418          | 0,6339           |                   | 0,0873 | 0,4421 | 1,0272 | 0,6365 | 0,2667 |
| 84800000    | Outubro  | LN2 - MV      | 0,5361          | 0,6820           |                   | 0,1015 | 0,313  | 0,1827 | 0,1424 | 0,1527 |
| 84820000    |          | LN3 - MV      | 1,1348          | 0,8412           | 0,6445            | 0,0830 | 0,2004 | 0,7156 | 0,3166 | 0,0785 |
| 84949000    |          | WB2 - LM      | 3,4290          | 0,9466           |                   | 0,0894 | 0,5133 | 1,3605 | 0,6138 | 0,0443 |
| 84949800    |          | LN2 - LM      | 1,9483          | 0,6563           |                   | 0,0867 | 0,3636 | 1,1369 | 0,7462 | 0,1502 |
| 84853000    |          | WB3 - LM      | 0,9379          | 2,6293           | -0,0565           | 0,0668 | 0,2205 | 0,4659 | 0,2341 | 0,0858 |
| 84950000    |          | LN2 - MV      | 2,1877          | 0,6521           |                   | 0,0837 | 0,3025 | 1,3536 | 0,7022 | 0,0855 |
| 84800000    | Novembro | LN3 - MV      | 0,7297          | 0,5907           | -0,2861           | 0,0917 | 0,2848 | 0,1769 | 0,1268 | 0,2296 |
| 84820000    |          | WB3 - LM      | 1,0430          | 3,7337           | 0,8573            | 0,0909 | 0,2821 | 0,5765 | 0,3064 | 0,0616 |
| 84949000    |          | PIII - MM     | 3,3859          | 0,9137           | -0,0649           | 0,0777 | 0,5542 | 0,5598 | 0,3725 | 0,1174 |
| 84949800    |          | LN3 - MV      | 1,3315          | 1,0436           | 1,5054            | 0,0821 | 0,1929 | 1,2895 | 0,5634 | 0,0880 |
| 84853000    |          | WB3 - LM      | 0,9527          | 2,496            | -0,1593           | 0,091  | 0,3439 | 0,3756 | 0,2295 | 0,1419 |
| 84950000    |          | PIII - MV     | 7,8956          | 1,1620           | 1,0895            | 0,0741 | 0,3524 | 1,7705 | 0,7825 | 0,0744 |
| 84800000    | Dezembro | WB2 - LM      | 2,4126          | 1,4969           |                   | 0,1024 | 0,2406 | 0,2256 | 0,1536 | 0,1711 |
| 84820000    |          | LN3 - MV      | 1,3235          | 0,7884           | -0,3311           | 0,0817 | 0,3396 | 1,0846 | 0,4724 | 0,1064 |
| 84949000    |          | WB2 - LM      | 2,9024          | 0,9197           |                   | 0,0851 | 0,4307 | 0,4044 | 0,2914 | 0,0571 |
| 84949800    |          | LN3 - MV      | 1,6730          | 0,7575           | -0,2536           | 0,1403 | 0,6895 | 1,5354 | 0,8153 | 0,2275 |
| 84853000    |          | WB2 - MV      | 2,0210          | 0,7764           |                   | 0,1409 | 0,7537 | 0,7327 | 0,3512 | 0,0560 |
| 84950000    |          | WB3 - MM2     | 1,1364          | 8,6868           | -0,2061           | 0,0951 | 0,4116 | 0,9122 | 0,5867 | 0,0976 |

Fonte: O autor.

Nas Figuras 27 a 28 estão representados os valores de vazão de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) nas sazonalidades anual, trimestral e mensal determinados para as seis estações

fluviométricas. Também foi comparada a vazão máxima outorgável (50% da  $Q_{90}$ ) anual com os períodos trimestral e mensal, considerando que na bacia do rio Araranguá a vazão de referência  $Q_{90}$  anual é adotada no plano de recursos hídricos, sendo a vazão máxima outorgável 50% da  $Q_{90}$ .

Figura 27 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000) e Turvo (84949000).



Fonte: O autor.



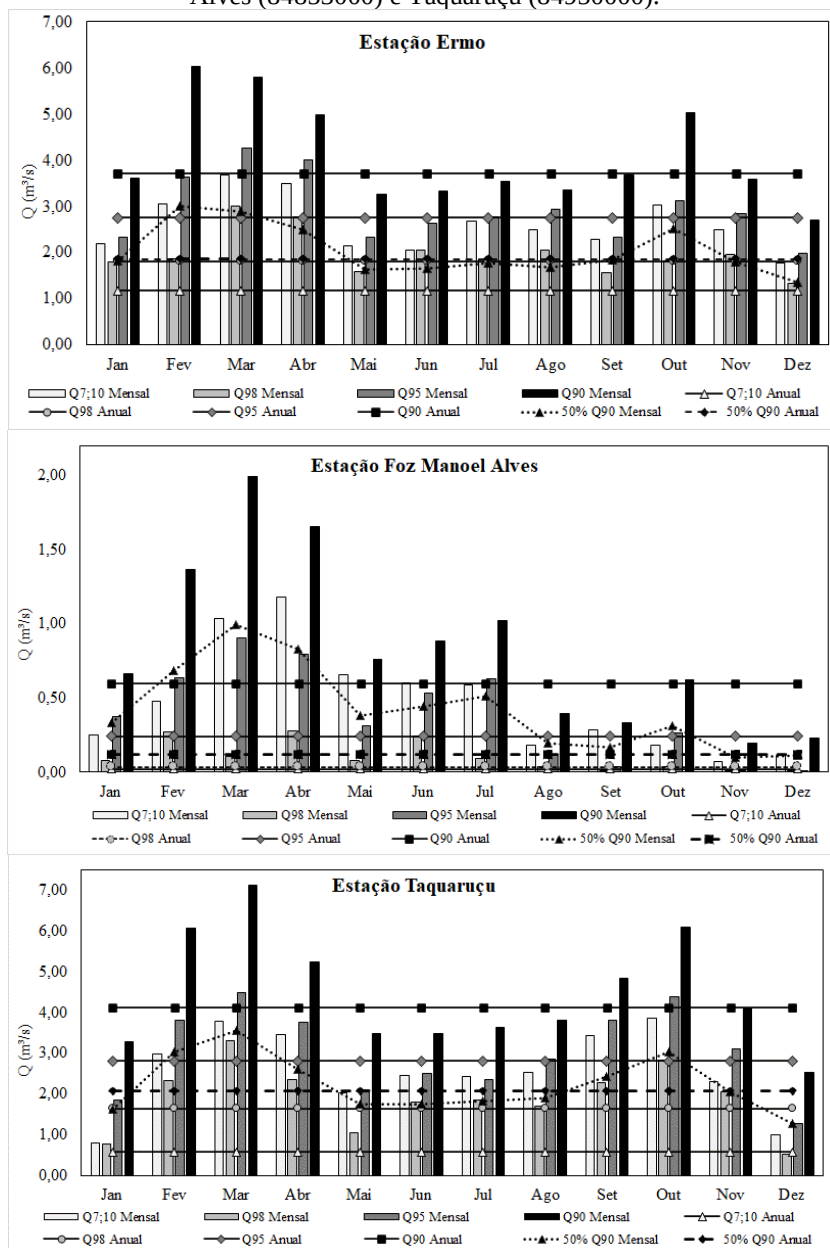
Os resultados obtidos nas vazões mínimas mensais mostraram tendência de comportamento similar nas seis estações fluviométricas analisadas. A  $Q_{7,10}$  mensal foi superior em todos os 12 meses nas seis estações em comparação à  $Q_{7,10}$  anual tendo em média um ganho de 667,02%. Os meses com maiores ganhos foi em março (1267,97%), abril (1199,49%) e julho (850,06%), respectivamente, em comparação à  $Q_{7,10}$  anual. Os meses com menores ganhos foram em novembro (327,77%), dezembro (338,56%) e agosto (433,50%), porém todos superiores à  $Q_{7,10}$  anual.

Em análise à  $Q_{98}$  mensal, observa-se um ganho superior nos sete primeiros meses (janeiro a julho) e em outubro, estes em comparação à  $Q_{98}$  anual. Ao longo dos doze meses, o ganho em média foi de 51,64%. Os oito primeiros meses teve vazões superiores a 30,57% (agosto) chegando a 172,08% (fevereiro), e em outubro foi 44,82%. Nos meses de setembro, novembro e dezembro, teve redução quando comparada à  $Q_{98}$  anual, variando de -8,37% (setembro) a -28,38% (dezembro).

A  $Q_{95}$  mensal foi similar à  $Q_{98}$  mensal, tendo ganho superior nos sete primeiros meses (janeiro a julho) e em outubro, todos estes em comparação à  $Q_{95}$  anual. Ao longo dos doze meses, o ganho em média foi de 30,60%. Os sete primeiros meses o ganho variou de 4,99% (maio) a 114,60% (março), e em outubro foi 41,50%. Nos meses de agosto, setembro, novembro e dezembro, teve redução quando comparada à  $Q_{95}$  anual, variando de -3,66% (novembro) a -28,08% (dezembro).

Em análise da  $Q_{90}$  mensal, observa-se ganho superior nos quatro primeiros meses (janeiro a abril), em julho e outubro, todos estes comparados à  $Q_{90}$  anual. Os meses de maio, junho, agosto, setembro, novembro e dezembro tiveram perdas. Ao longo dos 12 meses, o ganho em média foi de 22,49%. Os meses com ganho superior variaram de 12,44% (julho) a 103,67% (março), enquanto os meses de perda variaram de -0,11% (maio) a -18,91% (dezembro).

Figura 28 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000).

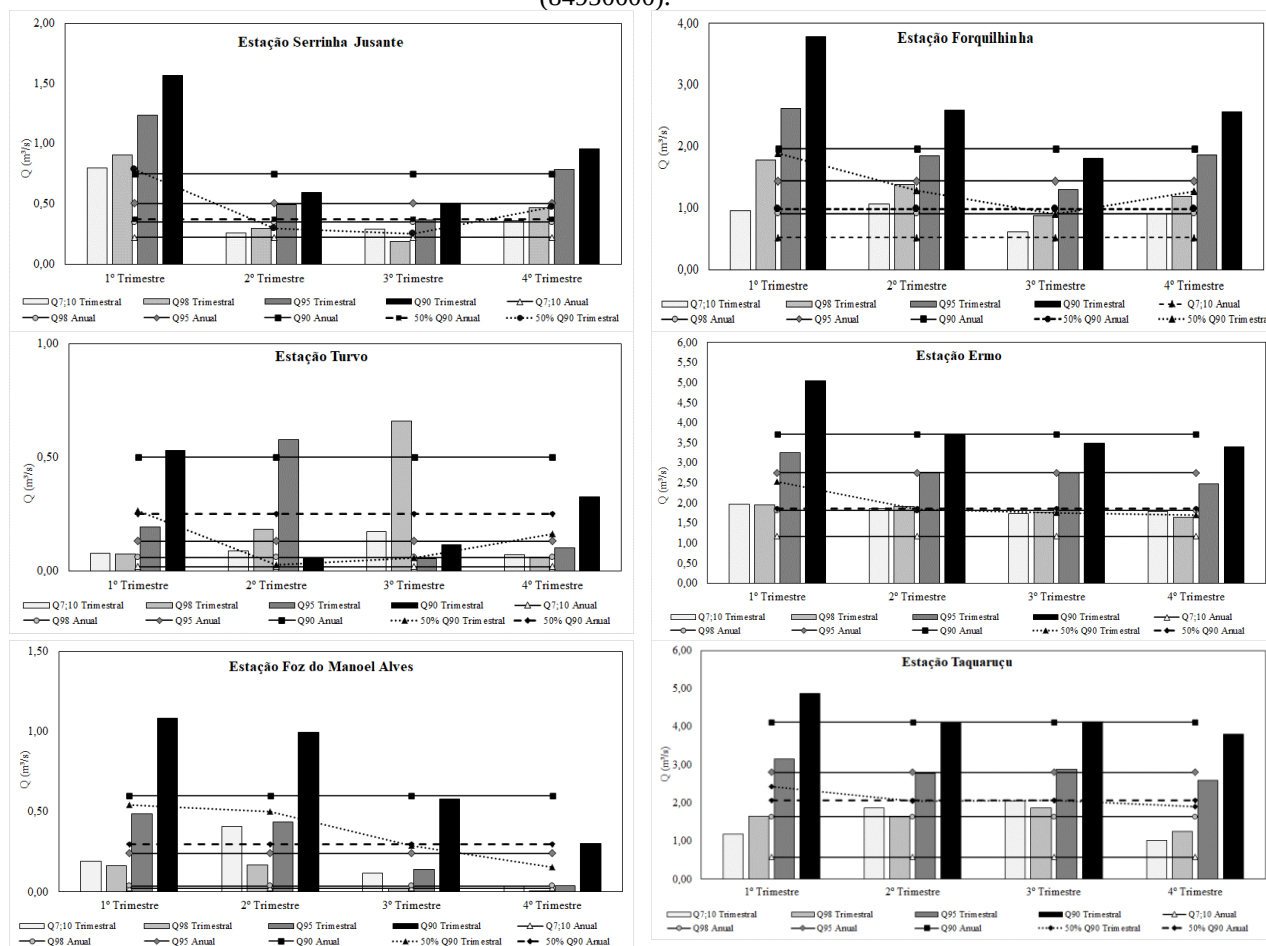


Fonte: O autor.

Analisando as vazões mínimas nos quatro trimestres (Figura 29), verifica-se tendência de comportamento similar entre as seis estações fluviométricas. A  $Q_{7,10}$  trimestral foi superior em todos os quatro trimestres nas seis estações em comparação à  $Q_{7,10}$  anual, tendo em média um ganho de 255,87%. O 1º trimestre apresentou ganho de 257,35%, 2º trimestre de 406,52%, o 3º trimestre de 260,32% e o 4º trimestre de 99,29%, respectivamente em comparação à  $Q_{7,10}$  anual. Os resultados obtidos corroboram com o aumento proporcionado na disponibilidade hídrica em todos os trimestres (379% no 1º trimestre; 174,5% no 2º trimestre; 36,1% no 3º trimestre; 14,7% no 4º trimestre) (SILVA et al., 2011; SILVA; SILVA; MOREIRA, 2015)

observados nos principais rios da bacia do São Francisco a montante do reservatório de Três Marias.

Figura 29 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilha (84820000), Turvo (84949000), Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000).



Fonte: O autor.

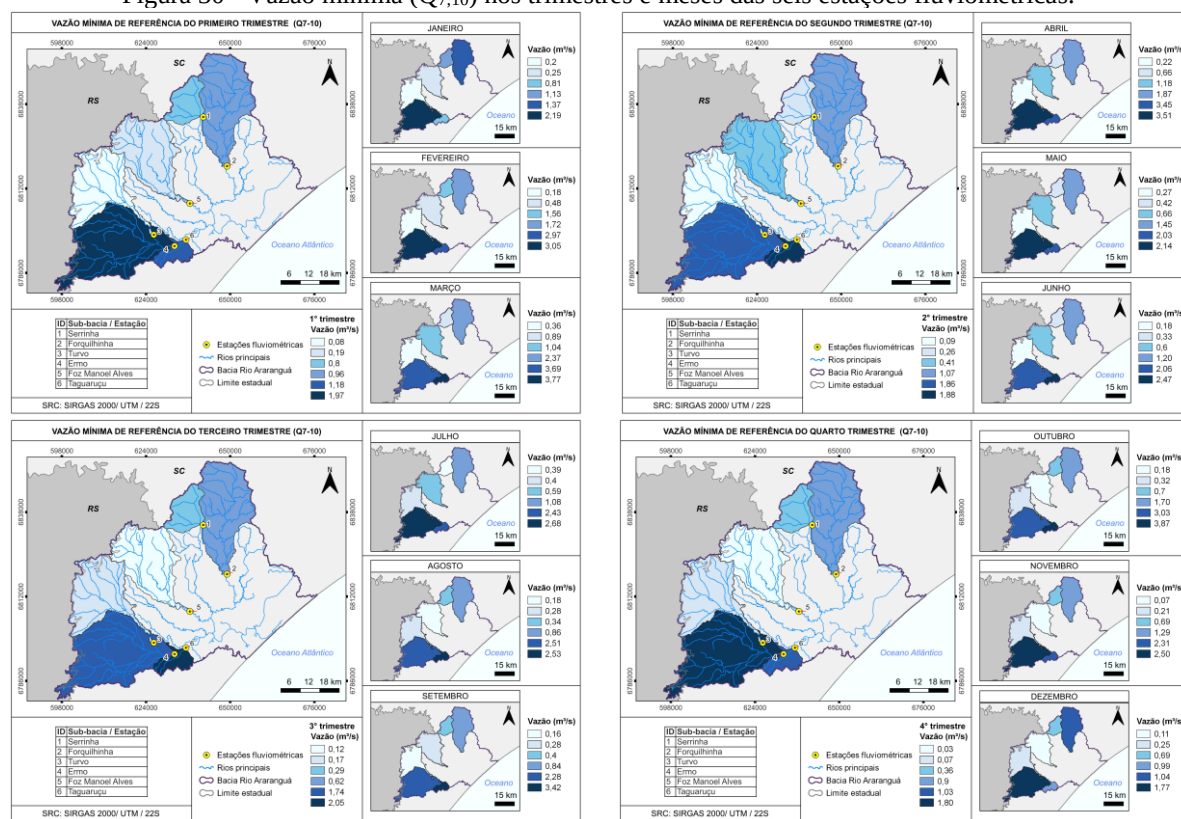
A  $Q_{98}$  trimestral foi superior nos três primeiros trimestres nas seis estações em comparação à  $Q_{98}$  anual, tendo em média um ganho no período de 86,37%. Os três primeiros trimestres apresentaram ganho superior a  $Q_{98}$  anual correspondente a 103,80%, 100,29% e 149,63%, respectivamente, enquanto no 4º trimestre uma redução de -8,23%. A  $Q_{95}$  trimestral foi superior nos dois primeiros trimestres nas seis estações em comparação com a  $Q_{95}$  anual, tendo em média um ganho no período de 27,89%. Os dois primeiros trimestres apresentaram ganho superior em relação a  $Q_{95}$  anual correspondente a 67,08% e 73,70%, respectivamente, enquanto no 3º e 4º trimestres uma perda de -22,51% e -6,72%.

A  $Q_{90}$  trimestral foi superior apenas no 1º trimestre em todas as seis estações em comparação com a  $Q_{90}$  anual, tendo em média no período um ganho de 6,60%. O 1º trimestre

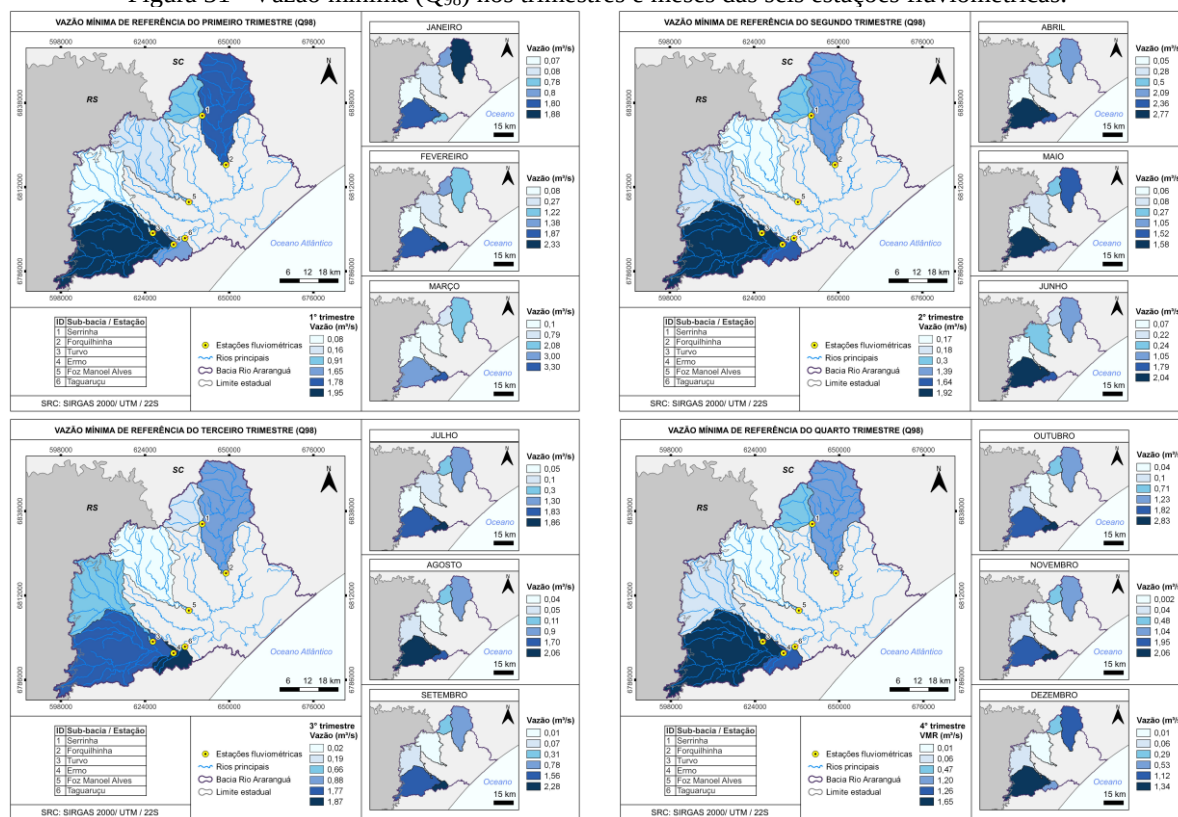
apresentou ganho superior de 56,95%, enquanto nos 2º, 3º e 4º trimestres uma redução de - 2,22%, -21,17% e -7,14%.

Considerando as projeções do uso no critério de vazão máxima permissível para a concessão de outorga nas seis estações avaliadas, obtêm-se um ganho de até 248,34% comparando os critérios de 50% da  $Q_{90}$  mensal em relação a 50% da  $Q_{90}$  anual, e de 36,03% de ganho comparando os critérios de 50% da  $Q_{90}$  trimestral em relação a 50% da  $Q_{90}$  anual. As Figuras 30 a 33 espacializam a variação da vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) nos períodos trimestral e mensal em comparação as do período anual (Figura 34) das seis estações fluviométricas na bacia do rio Araranguá.

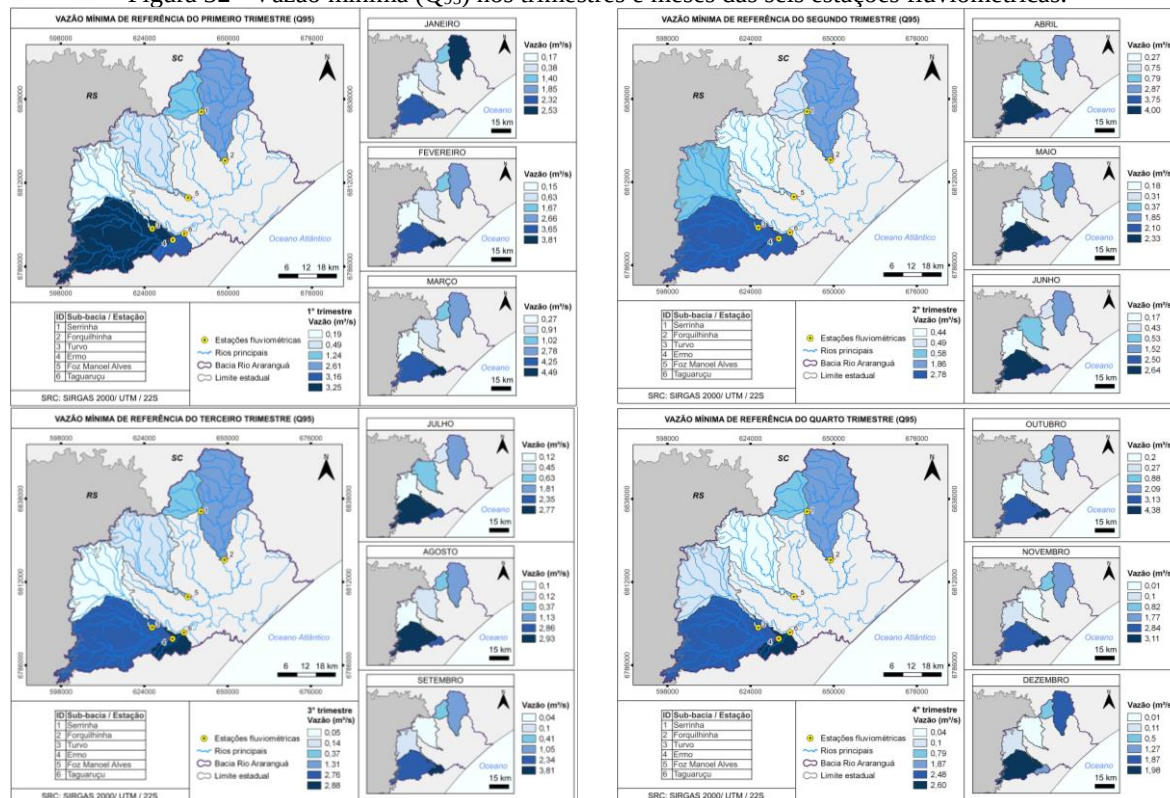
Figura 30 - Vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas.



Fonte: O autor.

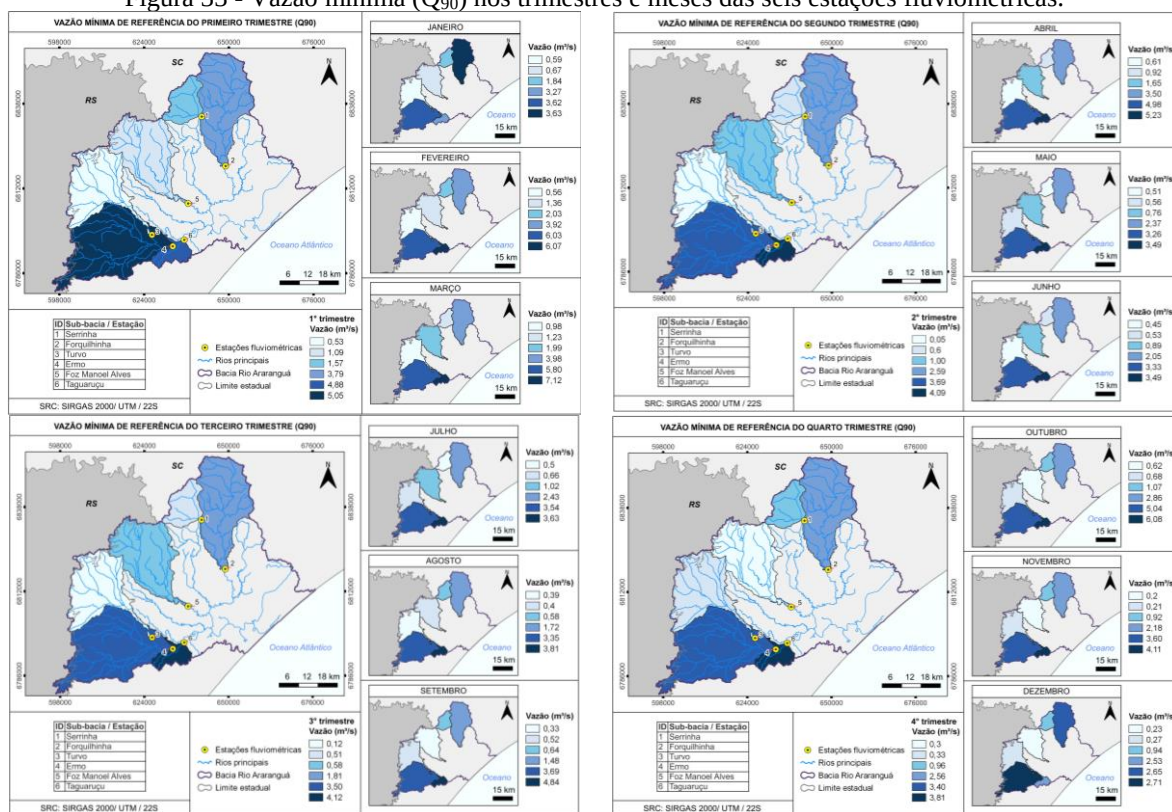
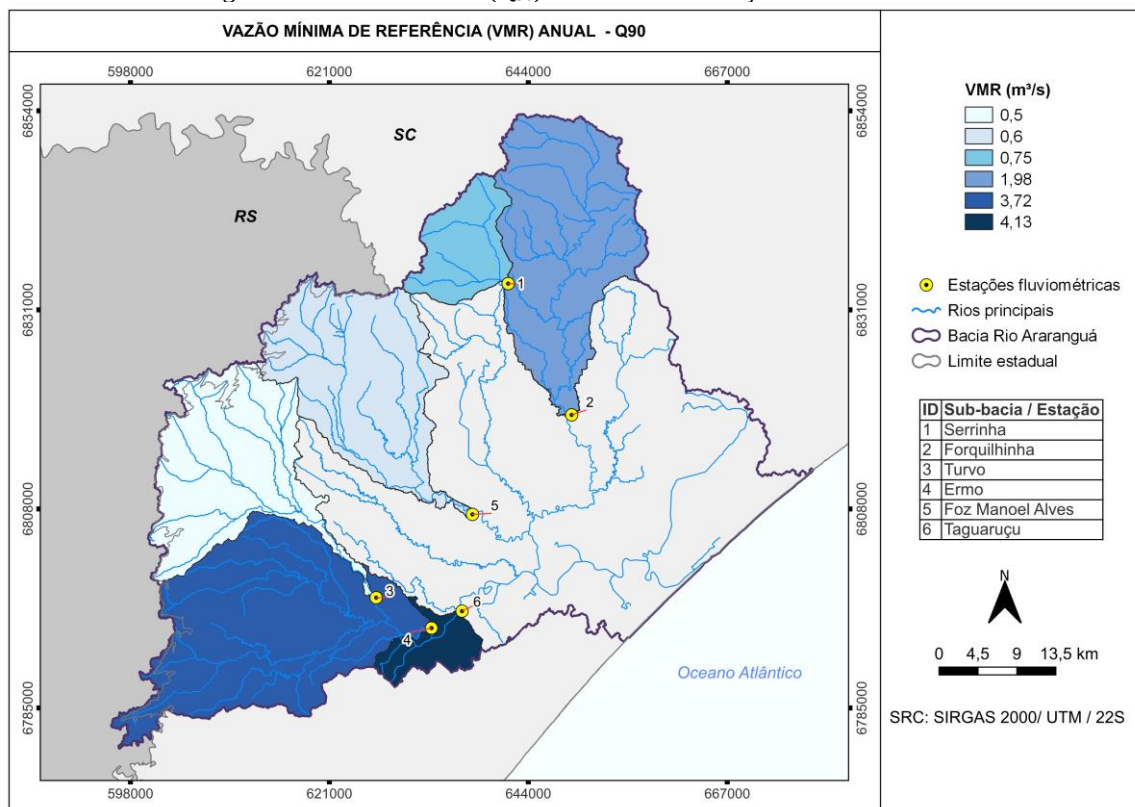
Figura 31 - Vazão mínima ( $Q_{98}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas.

Fonte: O autor.

Figura 32 - Vazão mínima ( $Q_{95}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas.

Fonte: O autor.



Figura 33 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) nos trimestres e meses das seis estações fluviométricas.Figura 34 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) anual das seis estações fluviométricas.

Na Tabela 29 constam os valores das vazões de referência estimados para os subsistemas correspondente às bacias dos rios Mãe Luzia, Itoupava, Manoel Alves, dos Porcos/Baixo Araranguá e a bacia do rio Araranguá. Enquanto a Tabela 30 traz os valores das vazões de referência (anual) obtidos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá (Fase A) extraídos do estudo Piava Sul (2011) em comparação as presente estudo.

Tabela 29 - Vazões de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) estimadas neste estudo para os subsistemas e na bacia do rio Araranguá com base anual, trimestral e mensal.

(continua)

| Vazão de Referência       | Subsistemas - Vazão ( $m^3/s$ ) |          |              |                          |                        |
|---------------------------|---------------------------------|----------|--------------|--------------------------|------------------------|
|                           | Mãe Luzia                       | Itoupava | Manoel Alves | Porcos / Baixo Araranguá | Bacia do rio Araranguá |
| $Q_{7,10}$ anual          | 1,53                            | 1,56     | 0,24         | 0,35                     | 2,79                   |
| $Q_{98}$ anual            | 2,22                            | 2,26     | 0,36         | 0,51                     | 4,03                   |
| $Q_{95}$ anual            | 3,54                            | 3,61     | 0,64         | 0,88                     | 6,38                   |
| $Q_{90}$ anual            | 4,88                            | 4,97     | 1,09         | 1,41                     | 8,60                   |
| $Q_{7,10}$ - 1º Trimestre | 2,58                            | 2,63     | 0,44         | 0,62                     | 4,67                   |
| $Q_{7,10}$ - 2º Trimestre | 2,36                            | 2,40     | 0,53         | 0,69                     | 4,14                   |
| $Q_{7,10}$ - 3º Trimestre | 2,73                            | 2,82     | 0,29         | 0,41                     | 9,40                   |
| $Q_{7,10}$ - 4º Trimestre | 2,39                            | 2,44     | 0,36         | 0,53                     | 4,38                   |
| $Q_{98}$ - 1º Trimestre   | 2,27                            | 2,31     | 0,40         | 0,55                     | 4,10                   |
| $Q_{98}$ - 2º Trimestre   | 2,23                            | 2,27     | 0,45         | 0,59                     | 3,97                   |
| $Q_{98}$ - 3º Trimestre   | 2,49                            | 2,54     | 0,28         | 0,46                     | 4,65                   |
| $Q_{98}$ - 4º Trimestre   | 1,84                            | 1,88     | 0,27         | 0,40                     | 3,37                   |
| $Q_{95}$ - 1º Trimestre   | 4,03                            | 4,10     | 0,81         | 1,08                     | 7,17                   |
| $Q_{95}$ - 2º Trimestre   | 3,47                            | 3,53     | 0,96         | 1,17                     | 5,92                   |
| $Q_{95}$ - 3º Trimestre   | 3,59                            | 3,66     | 0,55         | 0,80                     | 6,57                   |
| $Q_{95}$ - 4º Trimestre   | 3,77                            | 3,87     | 0,39         | 0,59                     | 7,72                   |
| $Q_{90}$ - 1º Trimestre   | 6,16                            | 6,26     | 1,49         | 1,88                     | 10,73                  |
| $Q_{90}$ - 2º Trimestre   | 4,89                            | 4,98     | 1,06         | 1,38                     | 8,64                   |
| $Q_{90}$ - 3º Trimestre   | 4,82                            | 4,90     | 0,89         | 1,22                     | 8,65                   |
| $Q_{90}$ - 4º Trimestre   | 4,68                            | 4,76     | 1,03         | 1,33                     | 8,25                   |
| $Q_{7,10}$ Jan.           | 2,94                            | 2,99     | 0,62         | 0,81                     | 5,21                   |
| $Q_{7,10}$ Fev.           | 3,78                            | 3,85     | 0,86         | 1,11                     | 6,63                   |
| $Q_{7,10}$ Mar.           | 4,67                            | 4,75     | 1,26         | 1,54                     | 8,01                   |
| $Q_{7,10}$ Abr.           | 4,30                            | 4,37     | 1,14         | 1,40                     | 7,39                   |
| $Q_{7,10}$ Mai.           | 2,56                            | 2,60     | 0,72         | 0,88                     | 4,35                   |
| $Q_{7,10}$ Jun.           | 2,82                            | 2,86     | 0,69         | 0,86                     | 4,90                   |
| $Q_{7,10}$ Jul.           | 3,39                            | 3,47     | 0,70         | 0,86                     | 6,01                   |
| $Q_{7,10}$ Ago.           | 3,70                            | 3,82     | 0,47         | 0,62                     | 12,52                  |
| $Q_{7,10}$ Set.           | 4,24                            | 4,38     | 0,44         | 0,62                     | 14,63                  |
| $Q_{7,10}$ Out.           | 4,38                            | 4,46     | 0,78         | 1,08                     | 7,89                   |
| $Q_{7,10}$ Nov.           | 3,06                            | 3,11     | 0,55         | 0,76                     | 5,51                   |
| $Q_{7,10}$ Dez.           | 2,33                            | 2,37     | 0,48         | 0,64                     | 4,14                   |
| $Q_{98}$ Jan.             | 2,88                            | 2,97     | 0,29         | 0,42                     | 9,93                   |
| $Q_{98}$ Fev.             | 2,70                            | 2,75     | 0,53         | 0,71                     | 4,83                   |
| $Q_{98}$ Mar.             | 4,13                            | 4,20     | 0,74         | 1,02                     | 7,44                   |
| $Q_{98}$ Abr.             | 3,65                            | 3,72     | 0,61         | 0,86                     | 6,63                   |
| $Q_{98}$ Mai.             | 2,46                            | 2,54     | 0,24         | 0,35                     | 8,54                   |
| $Q_{98}$ Jun.             | 2,43                            | 2,48     | 0,47         | 0,64                     | 4,35                   |
| $Q_{98}$ Jul.             | 2,42                            | 2,47     | 0,46         | 0,63                     | 4,34                   |
| $Q_{98}$ Ago.             | 2,40                            | 2,44     | 0,37         | 0,53                     | 4,38                   |
| $Q_{98}$ Set.             | 2,43                            | 2,51     | 0,21         | 0,32                     | 8,51                   |
| $Q_{98}$ Out.             | 2,99                            | 3,05     | 0,43         | 0,64                     | 5,50                   |
| $Q_{98}$ Nov.             | 2,84                            | 2,92     | 0,26         | 0,40                     | 5,69                   |

Tabela 29 - Vazões de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) estimadas neste estudo para os subsistemas e na bacia do rio Araranguá com base anual, trimestral e mensal.

(conclusão)

| Vazão de Referência  | Subsistemas - Vazão ( $m^3/s$ ) |          |              |                          |                        |
|----------------------|---------------------------------|----------|--------------|--------------------------|------------------------|
|                      | Mãe Luzia                       | Itoupava | Manoel Alves | Porcos / Baixo Araranguá | Bacia do rio Araranguá |
| Q <sub>98</sub> Dez. | 1,76                            | 1,80     | 0,26         | 0,38                     | 3,24                   |
| Q <sub>95</sub> Jan. | 2,59                            | 2,63     | 0,60         | 0,76                     | 4,53                   |
| Q <sub>95</sub> Fev. | 4,69                            | 4,78     | 0,93         | 1,25                     | 8,37                   |
| Q <sub>95</sub> Mar. | 5,47                            | 5,57     | 1,20         | 1,56                     | 9,65                   |
| Q <sub>95</sub> Abr. | 4,97                            | 5,06     | 1,27         | 1,57                     | 8,60                   |
| Q <sub>95</sub> Mai. | 2,77                            | 2,82     | 0,58         | 0,76                     | 4,92                   |
| Q <sub>95</sub> Jun. | 3,24                            | 3,29     | 0,76         | 0,96                     | 5,66                   |
| Q <sub>95</sub> Jul. | 3,26                            | 3,32     | 0,84         | 1,04                     | 5,64                   |
| Q <sub>95</sub> Ago. | 4,34                            | 4,48     | 0,46         | 0,65                     | 14,92                  |
| Q <sub>95</sub> Set. | 4,69                            | 4,85     | 0,38         | 0,60                     | 16,45                  |
| Q <sub>95</sub> Out. | 4,84                            | 4,93     | 0,87         | 1,20                     | 8,73                   |
| Q <sub>95</sub> Nov. | 3,88                            | 3,95     | 0,63         | 0,90                     | 7,05                   |
| Q <sub>95</sub> Dez. | 2,32                            | 2,39     | 0,23         | 0,34                     | 8,00                   |
| Q <sub>90</sub> Jan. | 4,24                            | 4,31     | 1,10         | 1,36                     | 7,31                   |
| Q <sub>90</sub> Fev. | 7,64                            | 7,77     | 1,94         | 2,42                     | 13,21                  |
| Q <sub>90</sub> Mar. | 7,99                            | 8,12     | 2,34         | 2,81                     | 13,51                  |
| Q <sub>90</sub> Abr. | 6,38                            | 6,48     | 1,90         | 2,27                     | 10,75                  |
| Q <sub>90</sub> Mai. | 5,50                            | 5,69     | 1,33         | 1,49                     | 27,38                  |
| Q <sub>90</sub> Jun. | 4,23                            | 4,30     | 1,15         | 1,41                     | 7,25                   |
| Q <sub>90</sub> Jul. | 4,32                            | 4,43     | 1,40         | 1,54                     | 12,96                  |
| Q <sub>90</sub> Ago. | 4,48                            | 4,56     | 0,90         | 1,20                     | 7,98                   |
| Q <sub>90</sub> Set. | 6,24                            | 6,44     | 0,78         | 1,05                     | 21,13                  |
| Q <sub>90</sub> Out. | 6,98                            | 7,11     | 1,46         | 1,92                     | 12,38                  |
| Q <sub>90</sub> Nov. | 4,96                            | 5,05     | 0,88         | 1,22                     | 8,95                   |
| Q <sub>90</sub> Dez. | 3,28                            | 3,34     | 0,65         | 0,86                     | 5,86                   |

Fonte: O autor.

Tabela 30 - Vazões de referência anual ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) estimadas neste estudo e no estudo Piava Sul (2011) para os subsistemas e a bacia do rio Araranguá.

| Vazão de Referência                  | Subsistemas - Vazão ( $m^3/s$ ) |          |              |                          |                        |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------|--------------|--------------------------|------------------------|
|                                      | Mãe Luzia                       | Itoupava | Manoel Alves | Porcos / Baixo Araranguá | Bacia do rio Araranguá |
| <sup>1</sup> Q <sub>7,10</sub> anual | 3,00                            | 1,44     | 0,24         | 5,60                     | 8,46                   |
| <sup>2</sup> Q <sub>7,10</sub> anual | 1,53                            | 1,56     | 0,24         | 0,35                     | 2,79                   |
| <sup>1</sup> Q <sub>98</sub> anual   | 5,02                            | 2,81     | 0,73         | 7,93                     | 10,86                  |
| <sup>2</sup> Q <sub>98</sub> anual   | 2,22                            | 2,26     | 0,36         | 0,51                     | 4,03                   |
| <sup>1</sup> Q <sub>95</sub> anual   | 8,16                            | 4,58     | 1,19         | 12,89                    | 17,65                  |
| <sup>2</sup> Q <sub>95</sub> anual   | 3,54                            | 3,61     | 0,64         | 0,88                     | 6,38                   |
| <sup>1</sup> Q <sub>90</sub> anual   | 12,56                           | 7,04     | 2,44         | 19,83                    | 27,16                  |
| <sup>2</sup> Q <sub>90</sub> anual   | 4,88                            | 4,97     | 1,09         | 1,41                     | 8,60                   |

Fonte: <sup>1</sup>Estudo Piava Sul (2011) utilizando equações de regionalização de vazões por Santa Catarina (2006);  
<sup>2</sup>Presente estudo (2023).

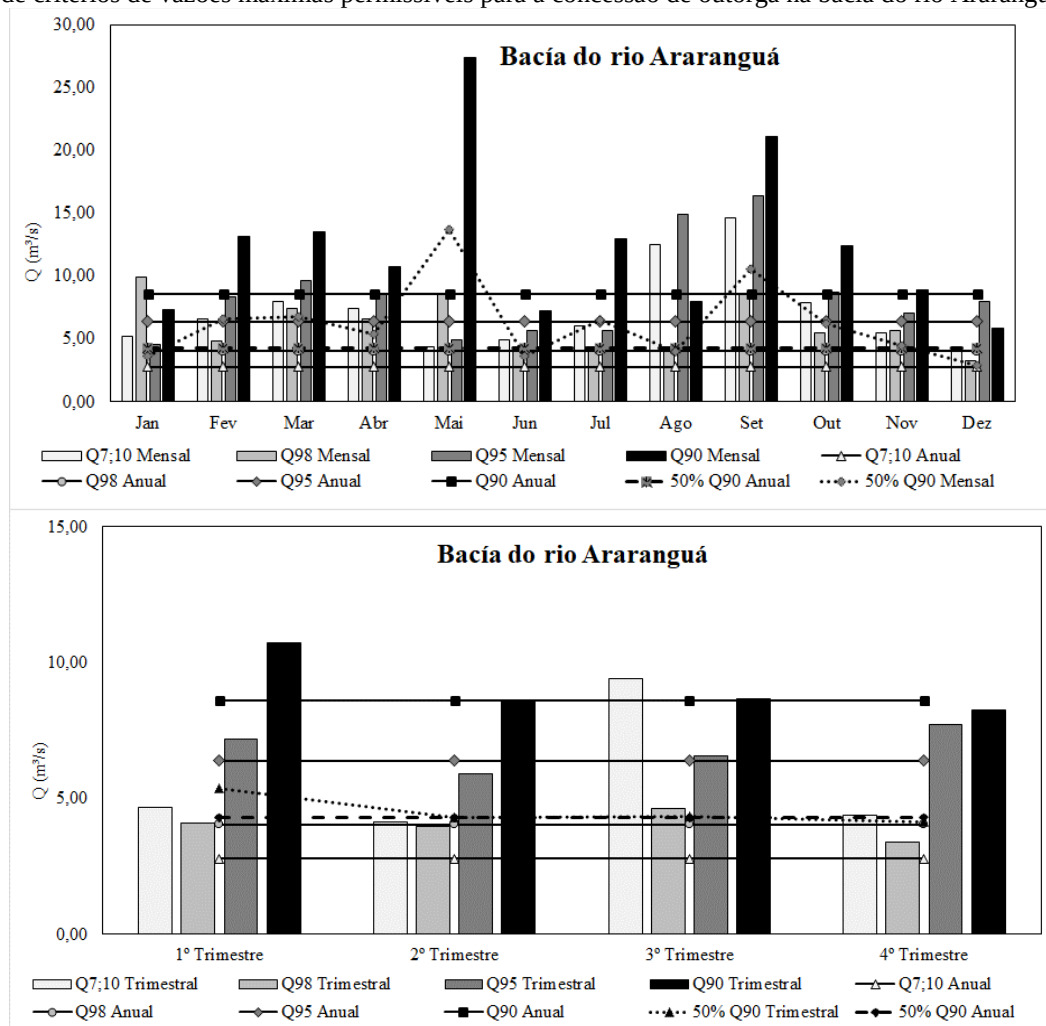
As equações de regressão que foram adotadas para determinação das vazões de referência nos subsistemas e nas SHR estão nos Apêndices D e. A análise de regressão do presente estudo obteve coeficientes de determinação entre 0,91 e 0,99 para todas as equações nas SHR e nos subsistemas. Foram utilizadas, ainda, todas as estações com séries históricas superiores a 36 anos e com dados das estações em operação atualizados até 2022.



A Figura 35 apresenta as vazões mínimas nos períodos trimestral e mensal comparadas à vazão anual para a bacia do rio Araranguá. A  $Q_{7,10}$  mensal foi superior em todos os 12 meses na bacia do rio Araranguá em comparação com a  $Q_{7,10}$  anual, tendo em média um ganho de 160,72%. Os meses com maiores aumentos foram em setembro (424,88%), agosto (349,09%) e março (187,39%), respectivamente, em comparação a  $Q_{7,10}$  anual. Os meses com perdas foram em dezembro (48,39%), maio (56,09%) e junho (75,87%), porém todos superiores a  $Q_{7,10}$  anual.

Em análise a  $Q_{98}$  mensal, observa-se um ganho superior nos meses de janeiro a novembro (7,63% em julho a 146,20% em janeiro), exceto em dezembro com perda de -9,79%, estes em comparação à  $Q_{98}$  anual. Ao longo dos doze meses, o ganho em média foi de 51,59%. No caso da  $Q_{95}$  mensal, verifica-se ganho superior em oito meses (fevereiro a abril, agosto a dezembro) e perda em quatro meses (janeiro, maio a julho), todos estes em comparação com a  $Q_{95}$  anual. Ao longo dos doze meses, o ganho em média foi de 33,84%.

Figura 35 - Vazões mínimas de referência ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$ ,  $Q_{90}$ ) mensais, trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para a concessão de outorga na bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

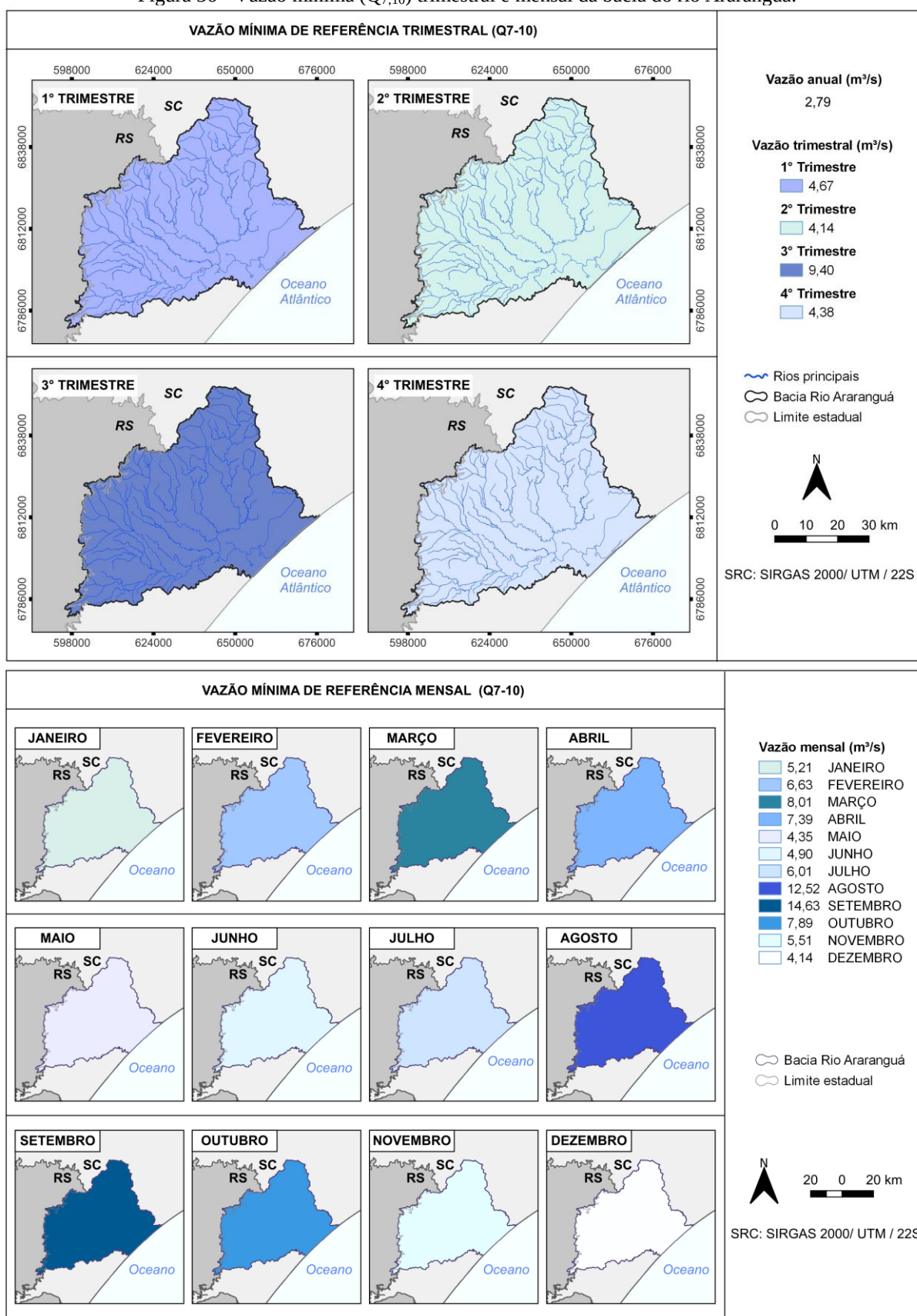
Em análise da  $Q_{90}$  mensal, observa-se ganho superior nos meses fevereiro a maio, julho, setembro a novembro e perda nos meses de janeiro, junho, agosto e dezembro, estes comparados a  $Q_{90}$  anual. Ao longo do período (12 meses), o ganho em média foi de 44,12%. Os meses com ganho superior variaram de 4,14% (novembro) a 218,53% (maio), enquanto os meses de perda variaram de -31,86% (dezembro) a -7,12% (agosto).

Portanto, podemos concluir que os meses mais críticos para a demanda de água de irrigação, especialmente na cultura de arroz irrigado, são de setembro a dezembro. Os resultados indicam que daria de outorgar mais água em outubro, e racionar nos meses de agosto e dezembro.

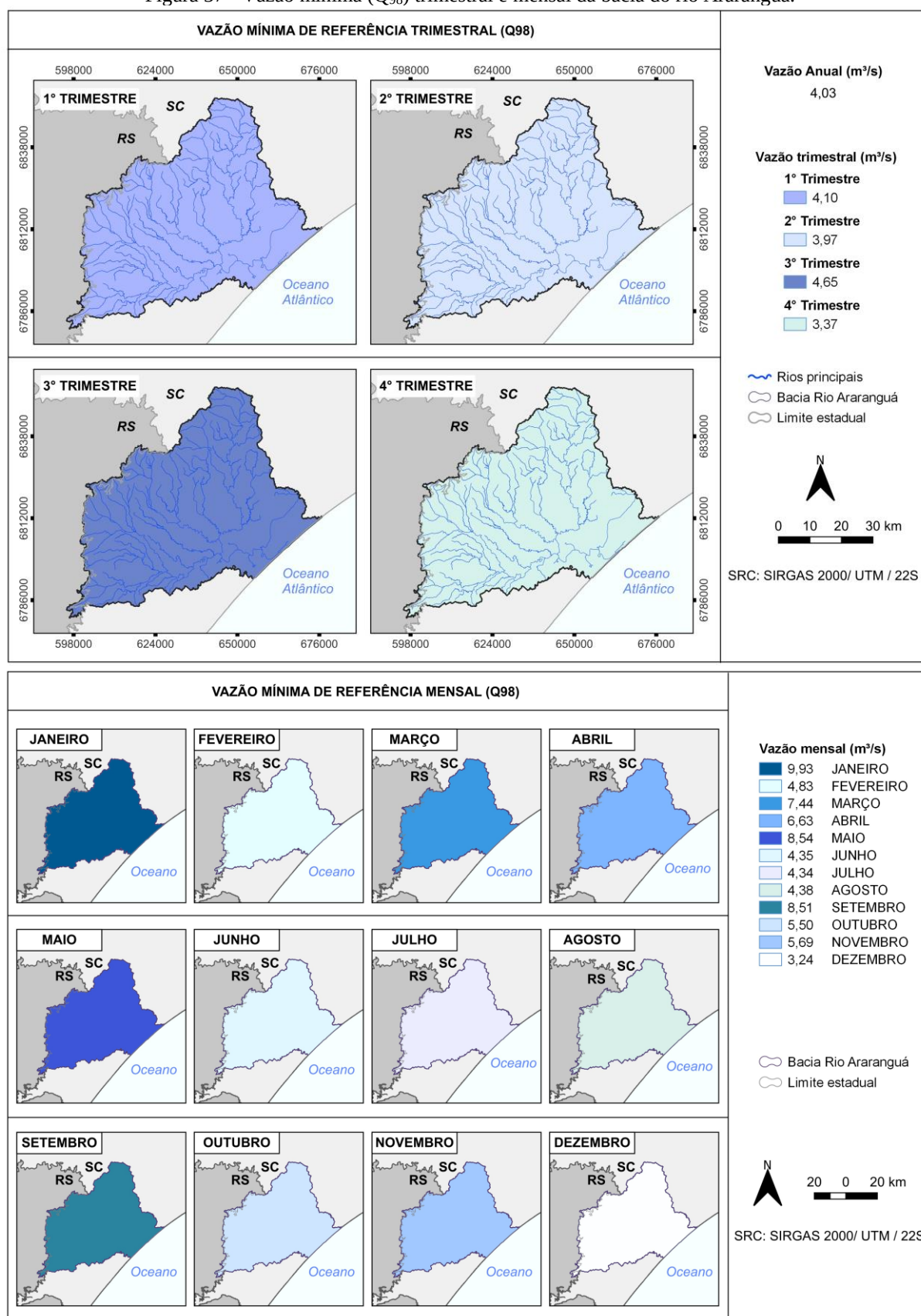
Em análise a  $Q_{7,10}$  trimestral (Figura 36), verifica-se um ganho em todos os quatro trimestres em comparação com a  $Q_{7,10}$  anual, tendo em média um aumento de 102,61%. O 1º trimestre apresentou um ganho de 67,69%, 2º trimestre com 48,57%, o 3º trimestre com 237,18% e o 4º trimestre com 57,02%, todos em comparação à  $Q_{7,10}$  anual.

A  $Q_{98}$  trimestral (Figura 37) foi superior nos dois primeiros trimestres nas seis estações em comparação com a  $Q_{98}$  anual e apresentando perda no segundo e quarto trimestres. Em média, no período de 12 meses houve redução de -0,28% em comparação à  $Q_{7,10}$  anual. Já a  $Q_{95}$ , exceto o 2º trimestre (Figura 38), os outros três trimestres apresentaram ganhos superiores em comparação com a  $Q_{98}$  anual tendo, em média, aumento de 7,26% no período analisado.

Para a  $Q_{90}$ , constata-se um ganho nos três primeiros trimestres (24,76% no 1º trimestre, 0,46% no 2º trimestre e 0,66% no 3º trimestre) em comparação com a  $Q_{90}$  anual (Figura 39) tendo no período, em média, ganho de 5,45%. O 4º trimestre apresentou perda de -4,06%.

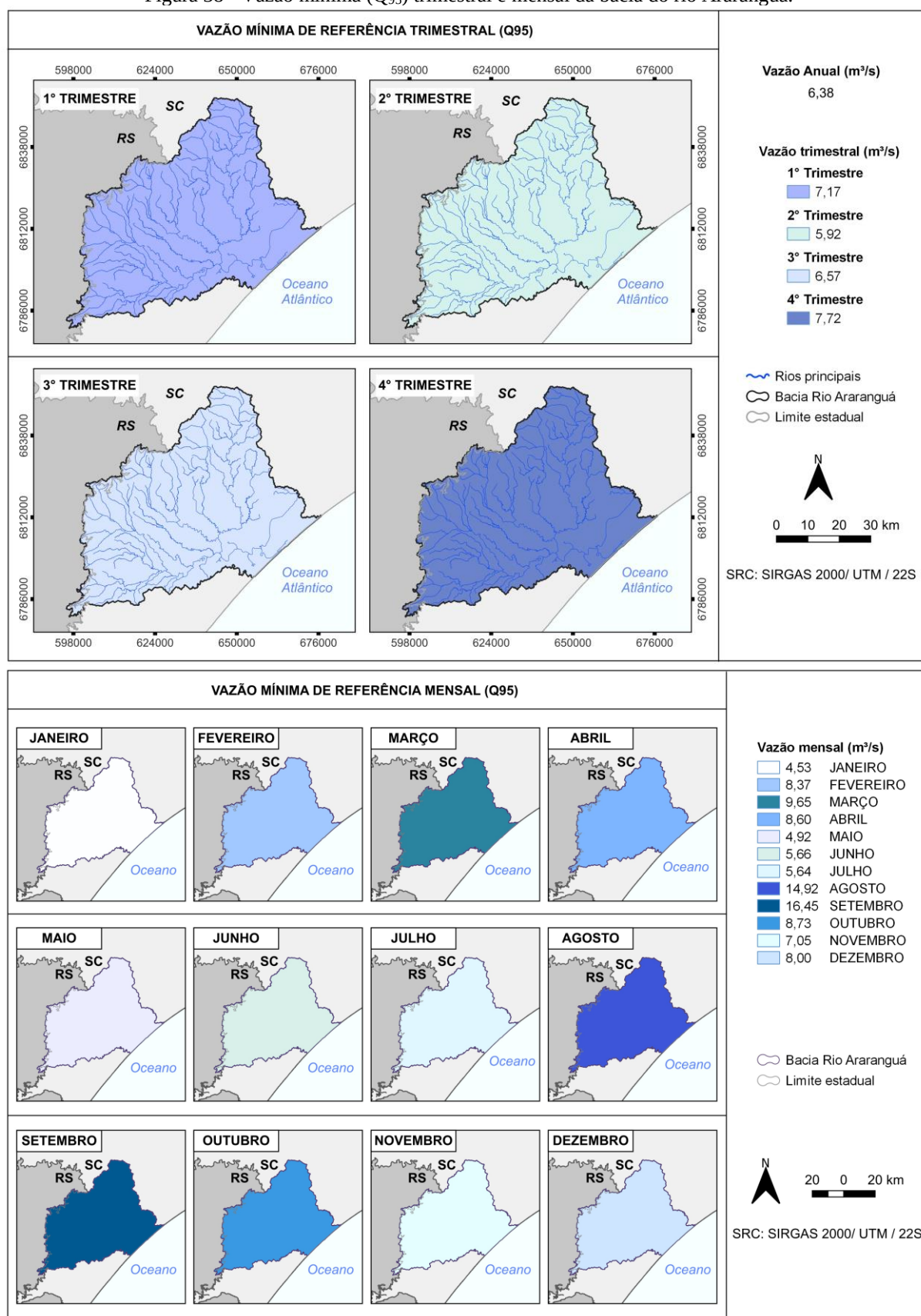
Figura 36 - Vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.

Fonte: O autor.

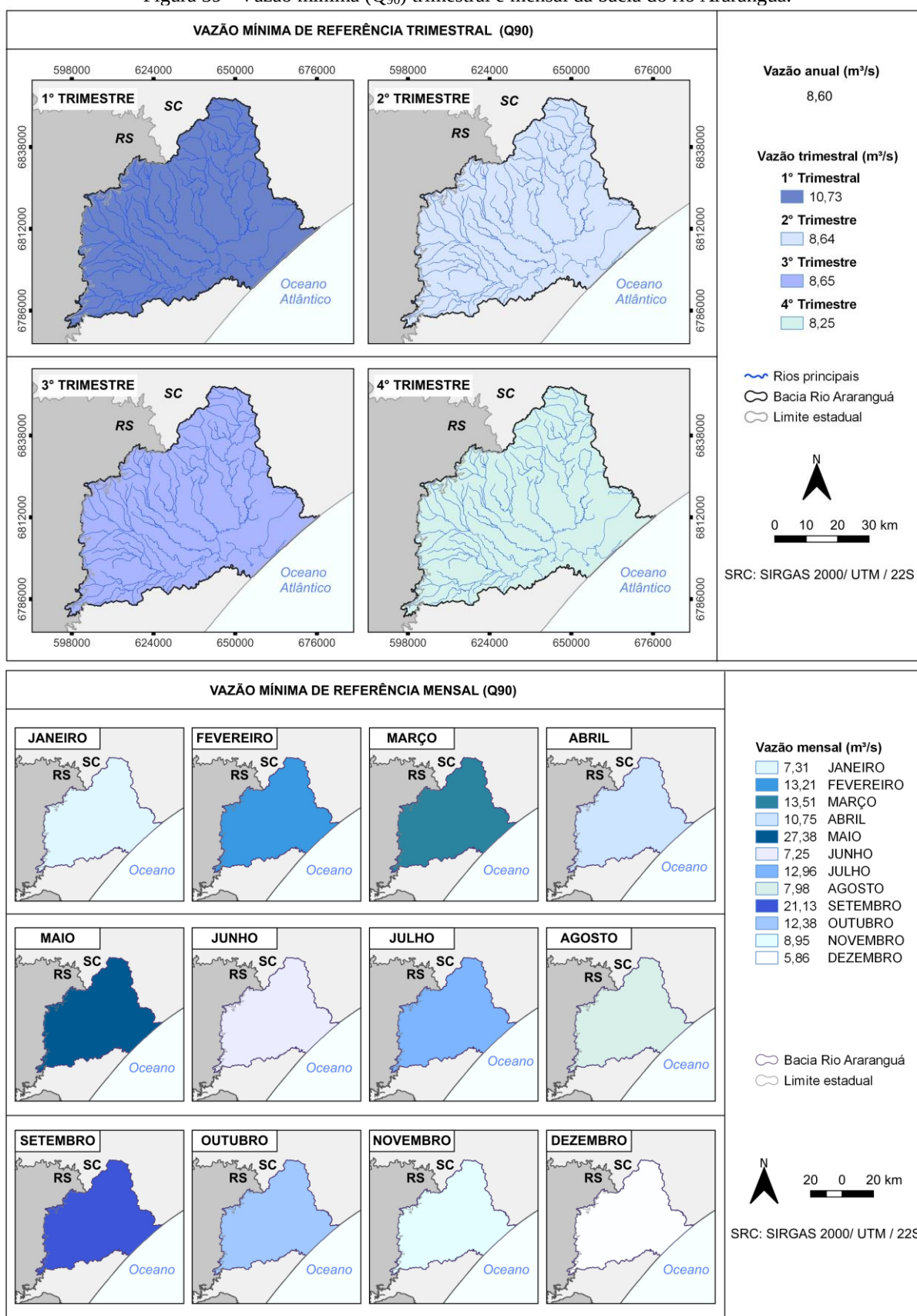
Figura 37 - Vazão mínima ( $Q_{98}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.

Fonte: O autor.



Figura 38 - Vazão mínima ( $Q_{95}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.

Fonte: O autor.

Figura 39 - Vazão mínima ( $Q_{90}$ ) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá.

Fonte: O autor.

Em análise ao valor da  $Q_{7,10}$  (anual) determinados no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina, no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Araranguá e no trabalho de Candorin (2022) observou-se que as vazões variam entre os estudos. Este fato deve ter relação com a utilização de diferentes métodos de estimativa de vazão, pela distribuição de probabilidade adotada e o número de estações fluviométricas consideradas. Na Tabela 31 consta um comparativo entre as vazões  $Q_{7,10}$  dos estudos realizados na bacia do rio Araranguá.

Tabela 31 - Comparação de valores de  $Q_{7,10}$  (anual) de diferentes estudos desenvolvidos na bacia do rio Araranguá.

| Estudo                                                                                  | $Q_{7,10}$ (anual) (m <sup>3</sup> /s) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <sup>(1)</sup> Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Araranguá - Fase A.           | 8,46                                   |
| <sup>(2)</sup> Plano de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina                   | 8,11                                   |
| <sup>(3)</sup> Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá                     | 8,11                                   |
| <sup>(4)</sup> Estimativa e regionalização de vazões mínimas em região do sul do Brasil | 2,77                                   |
| Presente estudo                                                                         | 2,79                                   |

Fonte: <sup>(1)</sup> Piava Sul (2011); <sup>(2)</sup> SDS (2017); <sup>(3)</sup> SDS (2014); <sup>(4)</sup> Candorin (2022).

Os três planos de recursos hídricos (PIAVA SUL, 2011; SDS, 2014; SDS, 2017) utilizaram na determinação da  $Q_{7,10}$  o estudo de regionalização de vazões. (SADR, 2006). O estudo de Candorin (2022) utilizou para determinação da vazão mínima equações de regressão múltipla das regiões hidrologicamente homogêneas e fez um rigoroso tratamento estatístico adotando as melhores distribuições de probabilidade. Candorin (2022) verificou que o parâmetro área foi o que melhor se ajustou na equação de regressão. No presente estudo utilizou-se a regressão linear simples tendo a área como parâmetro de cálculo.

#### 4.1.3 Comparação entre as vazões de referência

Nas Tabelas 32 e 33 verifica-se a diferença percentual média das vazões sazonais em relação à vazão anual correspondente às estações fluviométricas utilizadas no estudo. Pela análise dos valores, pode-se constatar que houve flexibilidade do uso das vazões com a adoção dos períodos sazonais. Na análise da  $Q_{7,10}$  verifica-se que os trimestres apresentaram flexibilidade média de 99,29%, 257,35%, 260,32 e 406,52%, respectivamente. Para a sazonalidade mensal, os ganhos são maiores em relação ao trimestre, variando de 327,77% (novembro) a 1267,97% (março).

Em relação às vazões mínimas associadas à curva de permanência ( $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ ), observou-se flexibilidade nos quatro trimestres com média no período de 86,37 % ( $Q_{98}$ ), 27,89 % ( $Q_{95}$ ) e 6,6 % ( $Q_{90}$ ). Houve diminuição dos valores das vazões de referência no 1º trimestre (-8,23 % para a  $Q_{98}$ ), 2º e 3º trimestres (-22,5 % e -6,72 % para a  $Q_{95}$ ) e 2º, 3º e 4º trimestres (-

2,22 %, -21,17 % e -7,14 % para a Q<sub>90</sub>). De modo geral, observou-se ganhos de disponibilidade hídrica sazonal na bacia do rio Araranguá, conforme evidenciado também nos estudos desenvolvidos na bacia rio Paracatu (BOF, 2010) integrante da bacia rio São Francisco e na bacia do rio Doce (MARQUES et al., 2009), localizado no estado de Minas Gerais, no Brasil. Apesar das particularidades encontradas em algum período sazonal, os ganhos percentuais no uso na vazão sazonal no período de maior demanda hídrica (agosto a fevereiro) comparativamente à vazão anual podem contribuir na gestão dos recursos hídricos superficiais principalmente na redução de conflitos de uso da água.

A adoção de períodos sazonais para flexibilidade na disponibilidade hídrica para outorga corrobora aos resultados de outras bacias hidrográficas brasileiras, conforme Catalunha (2004), Euclydes et al. (2006), Marques (2010) e Silva et al. (2011). Portanto, apesar das particularidades encontradas em algum tipo de período sazonal testado neste estudo, os ganhos percentuais no uso da vazão sazonal nos períodos de maior disponibilidade comparativamente à vazão anual trazem melhor gestão dos recursos hídricos, diminuindo conflitos pelo uso.

Tabela 32 - Comparação dos valores de Q<sub>7;10</sub>, Q<sub>98</sub>, Q<sub>95</sub> e Q<sub>90</sub> para cada trimestre com as Q<sub>7;10</sub>, Q<sub>98</sub>, Q<sub>95</sub> e Q<sub>90</sub> anual das seis estações fluviométricas.

| Código   | Flexibilização em relação a Q <sub>7;10</sub> anual (%) |              |              |              | Flexibilização em relação a Q <sub>98</sub> anual (%) |              |              |              |
|----------|---------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|
|          | 1º Trimestre                                            | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre | 1º Trimestre                                          | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre |
| 84800000 | 260,81                                                  | 17,57        | 30,18        | 62,16        | 160,46                                                | -15,19       | -45,56       | 34,10        |
| 84820000 | 81,94                                                   | 102,66       | 18,25        | 71,86        | 93,26                                                 | 51,20        | -4,13        | 29,89        |
| 84949000 | 305,26                                                  | 368,42       | 805,26       | 284,21       | 22,95                                                 | 202,95       | 981,97       | 0,00         |
| 84949800 | 67,80                                                   | 58,43        | 48,21        | 53,07        | 7,62                                                  | 5,79         | -2,43        | -9,22        |
| 84853000 | 726,09                                                  | 1669,57      | 408,70       | 47,83        | 337,84                                                | 356,76       | -45,95       | -81,08       |
| 84950000 | 102,23                                                  | 222,51       | 251,37       | 76,63        | 0,73                                                  | 0,24         | 13,90        | -23,11       |
|          | Flexibilização em relação a Q <sub>95</sub> anual (%)   |              |              |              | Flexibilização em relação a Q <sub>90</sub> anual (%) |              |              |              |
|          | 1º Trimestre                                            | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre | 1º Trimestre                                          | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre |
| 84800000 | 144,46                                                  | -2,76        | -27,47       | 55,53        | 109,35                                                | -20,05       | -32,21       | 27,67        |
| 84820000 | 81,08                                                   | 28,69        | -9,49        | 29,72        | 91,64                                                 | 30,98        | -8,25        | 29,77        |
| 84949000 | 46,21                                                   | 337,12       | -59,09       | -23,48       | 5,37                                                  | -89,24       | -77,09       | -34,90       |
| 84949800 | 17,98                                                   | 0,68         | 0,00         | -10,18       | 36,00                                                 | -0,67        | -5,94        | -8,42        |
| 84853000 | 100,41                                                  | 79,75        | -41,32       | -84,29       | 81,30                                                 | 66,61        | -3,34        | -49,24       |
| 84950000 | 12,34                                                   | -1,24        | 2,31         | -7,61        | 18,04                                                 | -0,99        | -0,19        | -7,77        |

Fonte: O autor.



Tabela 33 - Comparação dos valores de  $Q_{7;10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  para cada mês com as  $Q_{7;10}$ ,  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$  anual das seis estações fluviométricas.

| Código   | Flexibilização em relação a $Q_{7;10}$ anual (%) |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |         |
|----------|--------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
|          | Jan.                                             | Fev.    | Mar.    | Abr.    | Mai.    | Jun.    | Jul.    | Ago.    | Set.    | Out.    | Nov.   | Dez.    |
| 84800000 | 406,76                                           | 603,60  | 301,35  | 196,40  | 87,84   | 50,00   | 76,58   | 50,90   | 80,18   | 217,12  | 209,46 | 209,46  |
| 84820000 | 161,22                                           | 226,43  | 350,19  | 254,75  | 176,43  | 127,38  | 104,56  | 63,12   | 59,13   | 223,76  | 145,06 | 97,15   |
| 84949000 | 973,68                                           | 868,42  | 1789,47 | 1036,84 | 1294,74 | 852,63  | 2026,32 | 1347,37 | 757,89  | 1573,68 | 989,47 | 1221,05 |
| 84949800 | 86,63                                            | 159,80  | 214,05  | 198,64  | 82,54   | 75,21   | 127,94  | 113,46  | 94,12   | 157,75  | 112,86 | 50,34   |
| 84853000 | 978,26                                           | 1991,30 | 4404,35 | 5017,39 | 2752,17 | 2508,70 | 2447,83 | 691,30  | 1130,43 | 691,30  | 213,04 | 382,61  |
| 84950000 | 39,00                                            | 410,14  | 548,45  | 492,96  | 248,45  | 323,54  | 317,18  | 334,88  | 487,46  | 564,09  | 296,74 | 70,79   |
|          | Flexibilização em relação a $Q_{98}$ anual (%)   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |         |
|          | Jan.                                             | Fev.    | Mar.    | Abr.    | Mai.    | Jun.    | Jul.    | Ago.    | Set.    | Out.    | Nov.   | Dez.    |
| 84800000 | 127,79                                           | 296,56  | 126,07  | 44,13   | -22,92  | -36,10  | -14,90  | -69,91  | -10,89  | 102,01  | 38,11  | -17,48  |
| 84820000 | 103,91                                           | 32,17   | 125,98  | 126,85  | 65,43   | 14,13   | 41,74   | -2,07   | -14,89  | 33,26   | 12,50  | 21,30   |
| 84949000 | 18,03                                            | 22,95   | 62,30   | -16,39  | 0,00    | 16,98   | -14,72  | -11,48  | 18,03   | 63,41   | -27,61 | 6,52    |
| 84949800 | -0,66                                            | 3,37    | 65,67   | 53,04   | -13,02  | 12,64   | 1,10    | 13,80   | -13,96  | 0,50    | 7,67   | -26,21  |
| 84853000 | 118,92                                           | 635,14  | 181,08  | 659,46  | 105,41  | 551,35  | 156,76  | 2,70    | -67,57  | -2,70   | -94,59 | -86,49  |
| 84950000 | -52,50                                           | 42,32   | 101,46  | 43,78   | -35,91  | 9,27    | 13,48   | 3,60    | 39,02   | 72,50   | 25,43  | -67,99  |
|          | Flexibilização em relação a $Q_{95}$ anual (%)   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |         |
|          | Jan.                                             | Fev.    | Mar.    | Abr.    | Mai.    | Jun.    | Jul.    | Ago.    | Set.    | Out.    | Nov.   | Dez.    |
| 84800000 | 176,88                                           | 229,25  | 100,59  | 47,63   | -26,09  | -14,43  | -12,06  | -26,28  | -18,97  | 73,32   | 62,25  | -1,98   |
| 84820000 | 75,47                                            | 83,99   | 92,58   | 98,61   | 28,41   | 5,34    | 25,29   | -21,41  | -27,44  | 45,11   | 22,94  | 29,80   |
| 84949000 | 29,55                                            | 13,64   | 106,06  | 106,06  | 38,52   | 29,55   | -8,90   | -23,48  | -23,48  | 51,36   | -25,00 | -17,65  |
| 84949800 | -15,77                                           | 32,16   | 54,13   | 45,07   | -15,37  | -4,28   | 0,58    | 6,38    | -15,26  | 13,56   | 3,01   | -28,25  |
| 84853000 | 54,96                                            | 161,57  | 274,38  | 227,27  | 29,75   | 119,01  | 160,33  | -50,83  | -83,06  | 9,92    | -95,87 | -95,45  |
| 84950000 | -34,02                                           | 35,48   | 59,89   | 33,45   | -25,23  | -11,17  | -16,51  | 1,78    | 35,52   | 55,77   | 10,68  | -54,98  |
|          | Flexibilização em relação a $Q_{90}$ anual (%)   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |        |         |
|          | Jan.                                             | Fev.    | Mar.    | Abr.    | Mai.    | Jun.    | Jul.    | Ago.    | Set.    | Out.    | Nov.   | Dez.    |
| 84800000 | 146,26                                           | 170,72  | 64,04   | 22,33   | -32,35  | -29,01  | -32,75  | -22,19  | -13,90  | 43,18   | 22,46  | 26,07   |
| 84820000 | 83,95                                            | 98,43   | 101,62  | 76,96   | 20,15   | 3,65    | 23,24   | -12,76  | -24,91  | 44,76   | 10,38  | 33,97   |
| 84949000 | 16,73                                            | 10,64   | 95,62   | 22,45   | 12,13   | -9,56   | 30,82   | -22,11  | 3,19    | 35,26   | -58,65 | -45,82  |
| 84949800 | -2,53                                            | 62,30   | 55,97   | 33,96   | -12,22  | -10,36  | -4,82   | -9,93   | -0,78   | 35,55   | -3,23  | -27,21  |
| 84853000 | 11,02                                            | 127,71  | 232,55  | 175,96  | 27,21   | 47,75   | 70,28   | -33,72  | -44,57  | 3,51    | -67,13 | -61,77  |
| 84950000 | -20,82                                           | 46,94   | 72,23   | 26,60   | -15,59  | -15,64  | -12,08  | -7,79   | 17,16   | 47,16   | -0,48  | -38,76  |

Fonte: O autor.

## 4.2 DEMANDA HÍDRICA

Esse capítulo traz uma visão geral dos usos de água superficial na bacia, resultando nas demandas relacionadas a cada finalidade, apresentando uma consolidação das retiradas que serão utilizadas na estimativa de balanço hídrico superficial na bacia do rio Araranguá.

As demandas hídricas correspondem à quantia de água que cada usuário necessita para desenvolver suas atividades afins, sendo atendidas por diferentes fontes hídricas como as águas de rios, lagos, lagoas e nascentes, bem como as águas subterrâneas e as salobras.

No Brasil, segundo informações apresentadas no manual de usos consuntivos de água (ANA, 2019a), a demanda por água é crescente, com aumento estimado de 80% no total retirado nas últimas duas décadas. A evolução dos usos da água está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização das cidades brasileiras, com

ampliação da importância do uso urbano e relevante expansão dos usos industrial e agricultura irrigada. Neste aspecto, a previsão é de que ocorra um aumento de 24% na demanda até 2030.

Na bacia do rio Araranguá, as principais fontes hídricas provêm das águas superficiais, resultando na retirada de água de rios, açudes, nascentes, de pequenos barramentos e/ou represamento em rios e da barragem do rio São Bento. Existe ainda uma parcela retirada de água subterrânea por meio de poços piezométricos para uso industrial e em menor escala para agricultura de irrigação. Para o presente estudo de demanda hídrica, a contribuição pela retirada de água subterrânea não foi considerada.

Cabe destacar que, dependendo da finalidade do uso, uma parcela da retirada de água não é efetivamente consumida, retornando aos corpos hídricos na forma de efluentes, sendo lançados diretamente no corpo hídrico ou de forma difusa (infiltração no solo).

#### **4.2.1 Avaliação dos usos não consuntivos**

Os usos não consuntivos identificados na bacia foram a aquicultura, lançamento de efluente, drenagem e desassoreamento de rio. Nos registros do SIOUT para os municípios da bacia do rio Araranguá, foram identificados 34 cadastros, sendo 22 para aquicultura, quatro para lançamento de efluentes, seis para desassoreamento de rios e duas drenagens. Observando os locais de captação das águas superficiais para aquicultura, constata-se que ocorre em açudes, nascentes e rios. A Tabela 34 traz o número de registro e consumo para manejo da aquicultura. Nos usos não consuntivos identificados nas declarações (drenagem, desassoreamento e lançamento de efluentes) não constam informações de vazão, por isso não será considerado nos cálculos para balanço hídrico.

A demanda de água para a aquicultura ocorre em função das perdas de volume por evaporação (VERDEGEM; BOSMA, 2009) devido a necessidade de manutenção de uma concentração mínima de oxigênio dissolvido nos tanques. (PBDGRHS, 2020). Verdegem e Bosma (2009), citam um estudo realizado em lagoas de camarão na Tailândia em que observou que a perda por evaporação foi de  $3,1 \text{ mm.dia}^{-1}$ . Na bacia do rio Araranguá, observou-se que, em algumas propriedades, o manejo da aquicultura corresponde a manutenção de um fluxo constante de água, sendo que, na prática, os produtores utilizam tanques junto ao leito de rios.

Tabela 34 - Número de registro e consumo para a categoria aquicultura na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema               | Município       | Total por finalidade | Consumo (m³/mês) | Consumo (m³/s) |
|--------------------------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|
| Mãe Luzia                | Treviso         | 1                    | -                | -              |
|                          | Ermo            | 1                    | 17.107,20        | 0,0066         |
| Itoupava                 | Jacinto Machado | 10                   | 4.924,80         | 0,0019         |
|                          | Turvo           | 8                    | 4.665,60         | 0,0018         |
|                          | Morro Grande    | 1                    | 15.033,60        | 0,0058         |
| Porcos / Baixo Araranguá | Araranguá       | 1                    | -                | -              |
| Total                    |                 | 22                   | 41.731,20        | 0,0161         |

Fonte: Adaptado do Sistema de Outorga de Água (SIOUT), 2023.

Embora saiba-se que na bacia do rio Araranguá existam práticas de turismo e balneários em locais estratégicos dos rios, especialmente na região próxima as cabeceiras destes rios, não foram identificados nenhum registro no SIOUT para essas categorias. Portanto, essas categorias não serão abordadas no presente estudo.

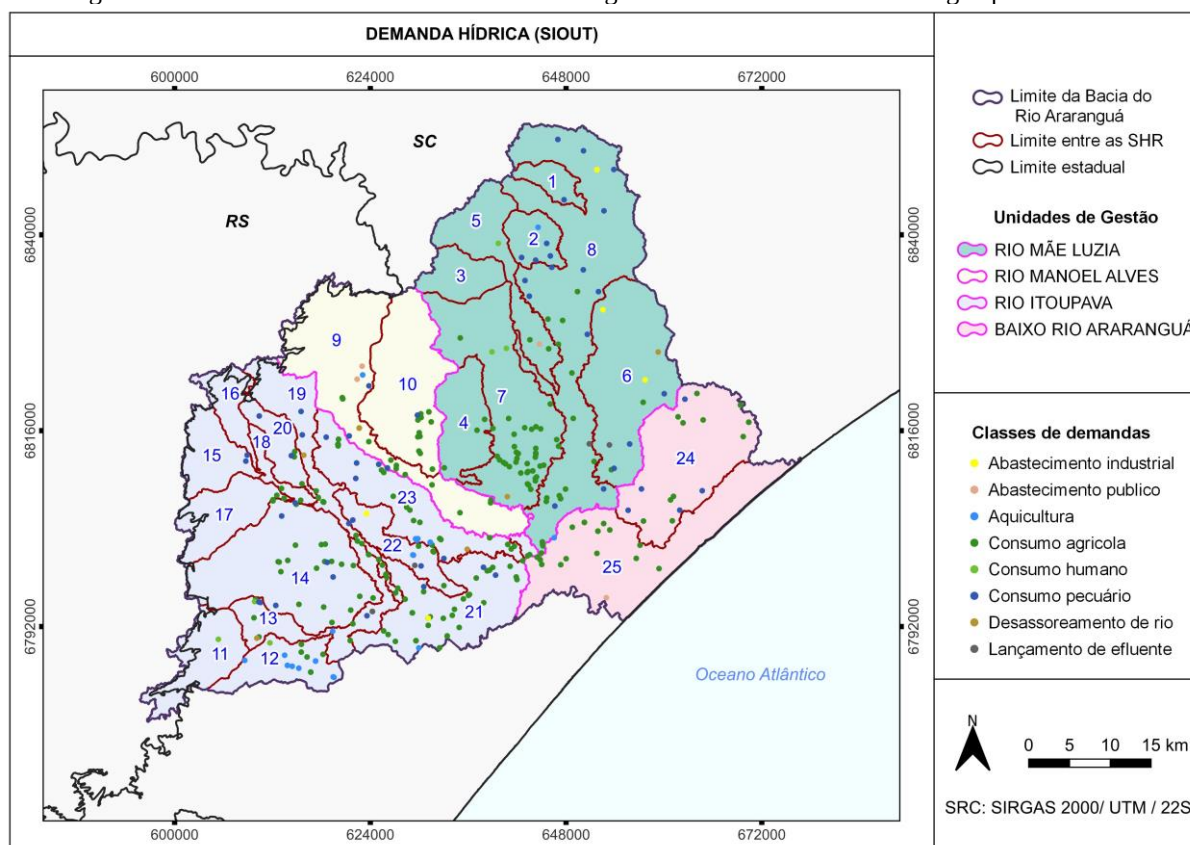
#### 4.2.2 Avaliação dos usos consuntivos

##### 4.2.2.1 Usos regularizados

Foram considerados como usos regularizados os usos consuntivos devidamente registrados no SIOUT. Porém, acredita-se que existam usuários de água que não possuem seus usos devidamente cadastrados, seja por desconhecimento da legislação ou por descaso.

Em consulta ao banco de dados do SIOUT, foi possível gerar um mapa com os principais usos consuntivos e não consuntivos registrados na bacia (Figura 40). Até o período de pesquisa (fevereiro de 2023), estavam cadastrados 315 registros de usos consuntivos, sendo que mais de três partes destes registros, 241 (76,51%), se destinam ao consumo agrícola. Observa-se que este uso está mais concentrado nos subsistemas Itoupava, Manoel Alves e Mãe Luzia. A bacia do rio Itoupava também se concentra grande parte dos usos destinados à criação animal (17,78%). Consumo humano e industrial representam juntos 4,44% e abastecimento público 1,27%. A Tabela 35 reúne a quantidade de registros por finalidade e subsistemas na bacia do rio Araranguá.

Figura 40 - Usos consuntivos e não consuntivos registrados na bacia do rio Araranguá por finalidade.



Fonte: Adaptado do Sistema de Outorga de Água (SIOUT), 2023.

Tabela 35 - Informações de uso da água por número de registro e consumo na bacia do rio Araranguá.

| Uso não consuntivo        | Subsistema |              |           |                          | Total por finalidade | Total por consumo (m³/s) |
|---------------------------|------------|--------------|-----------|--------------------------|----------------------|--------------------------|
|                           | Itoupava   | Manoel Alves | Mãe Luzia | Porcos / Baixo Araranguá |                      |                          |
| Consumo agrícola          | 127        | 19           | 64        | 31                       | 241                  | 47,382                   |
| Consumo humano            | 4          |              | 3         |                          | 7                    | 0,301                    |
| Abastecimento público     | 2          |              | 2         |                          | 4                    | 0,162                    |
| Abastecimento industrial  | 3          |              | 4         |                          | 7                    | 0,122                    |
| Consumo pecuário (animal) | 29         |              | 21        | 6                        | 56                   | 0,067                    |
| <b>Total</b>              | <b>165</b> | <b>19</b>    | <b>94</b> | <b>37</b>                | <b>315</b>           | <b>48,034</b>            |

Fonte: Adaptado do Sistema de Outorga de Água (SIOUT), 2023.

O local de captação das águas superficiais para consumo industrial é em açudes, nascentes e rios, enquanto para abastecimento público predomina por nascentes, seguido de lagoa natural, barragem de acumulação e em rios. Para uso na criação pecuária, predomina locais de captação em nascentes, seguido de açudes, lago natural e em rios. Enquanto para a agricultura de irrigação predomina a captação em rios e cursos d'água, seguido de açudes, lagos e lagoas naturais e em menor escala por nascentes e poços piezométricos.

Chama atenção o número de registros cadastrados no PRHBRA (2014) apenas para o setor de irrigação, com 1.218 declarações, com demanda média de 56,00 m<sup>3</sup>/s, considerando uma área de cultivo de 56.456 hectares. A diferença na quantidade de registros no PRHBRA (2014) com o observado em fevereiro de 2023, deve-se a mobilização efetiva dos agricultores na época do plano de recursos hídricos em realizar o cadastro. Como a Diretoria de Recursos Hídricos de Santa Catarina aderiu ao sistema SIOUT, o banco de dados do cadastro de usuários foi descartado, sendo necessário realizar um novo cadastro dos usuários na bacia.

É importante ressaltar que não foram considerados as fontes de captação em água subterrânea, mas apenas as intervenções (captações) diretas em corpos hídricos (superficial) e em reservatórios (lagoa, represa e barragem).

Percebeu-se no cadastro do sistema SIOUT maior tendência de registros para a finalidade de consumo agrícola. Este fato pode estar relacionado à necessidade de regularização das captações para irrigação, impulsionada pelas condicionantes de processos de licenciamento ambiental e de financiamento bancário. Cabe destacar que não foram consultados os processos de licenciamento de atividades para obtenção de informações de categorias e vazões de consumo, devido à dificuldade em reunir esses dados, além das informações apresentarem limitação pela natureza do processo de licenciamento (registro a nível municipal).

Portanto, considera-se que os dados obtidos junto aos registros do SIOUT são de grande valia para a caracterização dos usos consuntivos regularizados na bacia do rio Araranguá, pois permite identificar os padrões regionais de demanda.

#### 4.2.2.2 Usos estimados

Embora o inventário de cadastros e outorgas de uso da água no sistema SIOUT seja útil para diversas aplicações, não garante precisão quanto aos volumes efetivamente utilizados. Em Santa Catarina, a implementação do registro de cadastro usuário e a emissão de outorga estão em diferentes estágios, ou seja, com diferentes níveis de cobertura e consistência das outorgas frente ao universo de usuários. Assim, acredita-se que muitos usuários não realizam seus cadastros ou informam vazões de consumo discrepantes em relação às vazões efetivamente retiradas dos rios.

Portanto, e considerando a hipótese de que nem todos os usos na bacia estão devidamente cadastrados, é necessário fazer uma estimativa de retiradas com base em dados secundários. As estimativas se concentram na definição dos coeficientes de consumo e na estimativa da retirada. Ao final, tem-se a demanda total estimada para cada finalidade.

Foram estimados os consumos e retiradas para as seguintes finalidades: a) consumo humano; b) criação animal; c) agricultura de irrigação. Devido à dificuldade em estimar o consumo para a demanda de mineração, em função das substâncias mineradas na bacia, esta categoria foi desconsiderada no presente estudo.

#### *4.2.2.2.1 Demanda para consumo humano*

Para estimar a demanda para consumo humano foram utilizados os dados de população (IBGE, 2010 e 2020), os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2021), os coeficientes de retirada de água para população rural apresentados pelas ONS (2003 e 2005) e a metodologia desenvolvida pela Agência Nacional de Águas (ANA) descrita no Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil. (ANA, 2019a).

Realizou-se a verificação da consistência dos dados do SNIS quanto ao atendimento aos critérios específicos. A partir dessa etapa foram consolidados os consumos médios de água per capita para cada município fornecido pelo SNIS e adequado à metodologia da ANA. É importante ressaltar que os consumos médios per capita para os municípios de Balneário Arroio do Silva, Balneário Rincão, Morro Grande e Sombrio apresentaram valores revisados em relação aos informados no SNIS, uma vez que a metodologia da ANA sugere a revisão de valores considerados discrepantes, ou seja, a verificação da consistência dos valores.

Ainda, foram adicionados ao consumo médio os índices de perda considerando, dessa forma, um adicional de captação necessária para suprir perdas no sistema de abastecimento. Nesse aspecto, os dados do SNIS para os municípios de Criciúma e Forquilha apresentavam valores inferiores à faixa aceitável (10% a 65%), sendo necessário adotar um índice de perda de 45%, sendo este extraído dos planos municipais de saneamento básico dos respectivos municípios.

Posteriormente, determinou-se a retirada per capita para cada município, tanto para a população urbana quanto a rural. Em seguida, multiplicou-se a retirada per capita pela população urbana e rural de cada município para o ano de referência (2020), gerando ao final a demanda total (Tabela 36).

Dos 17 municípios que ocupam (parcial e total) a área territorial da bacia do rio Araranguá, o município de Sombrio faz a captação de água de abastecimento público (consumo humano) fora dos limites da bacia do rio Araranguá, portanto, foi desconsiderado na estimativa de balanço hídrico superficial.

Tabela 36 - Demandas municipais para consumo humano e retiradas de água superficial na bacia do rio Araranguá.

(continua)

| Município                 | Consumo médio per capita (L/hab.dia) | População total (hab.) | Perda média (%) | Retirada per capita (L/hab.dia) População urbana | Retirada per capita (L/hab.dia.) População rural | Demanda total (m³/mês) | Demanda total (m³/s) | Captação        | Captação dentro da bacia (m³/s) |
|---------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------|
| Araranguá                 | 162,02                               | 68.867                 | 12,32           | 184,80                                           | 100,00                                           | 321.875,58             | 0,120                | Dentro da bacia | 0,120                           |
| Balneário Rincão          | 119,00                               | 12.946                 | 31,00           | 172,46                                           | 100,00                                           | 70.561,26              | 0,026                | Dentro da bacia | 0,026                           |
| Balneário Arroio do Silva | 119,00                               | 13.430                 | 31,00           | 172,46                                           | 100,00                                           | 72.530,52              | 0,027                | Dentro da bacia | 0,027                           |
| Criciúma                  | 110,13                               | 217.311                | 45,00           | 200,23                                           | 100,00                                           | 1.358.286,78           | 0,507                | Dentro da bacia | 0,507                           |
| Ermo                      | 109,64                               | 2.061                  | 38,01           | 176,87                                           | 100,00                                           | 9.230,98               | 0,003                | Dentro da bacia | 0,003                           |
| Forquilha                 | 129,60                               | 27.211                 | 45,00           | 235,63                                           | 100,00                                           | 214.186,26             | 0,080                | Dentro da bacia | 0,080                           |
| Içara                     | 91,39                                | 57.247                 | 39,80           | 151,82                                           | 100,00                                           | 281.435,16             | 0,105                | Dentro da bacia | 0,105                           |
| Jacinto Machado           | 180,77                               | 10.376                 | 30,00           | 258,24                                           | 100,00                                           | 94.255,26              | 0,035                | Dentro da bacia | 0,035                           |
| Maracajá                  | 96,28                                | 7.378                  | 42,49           | 167,41                                           | 100,00                                           | 35.219,23              | 0,013                | Dentro da bacia | 0,013                           |
| Meleiro                   | 80,95                                | 7.001                  | 30,00           | 115,65                                           | 100,00                                           | 23.498,93              | 0,008                | Dentro da bacia | 0,008                           |
| Morro Grande              | 161,64                               | 2.888                  | 25,03           | 215,61                                           | 100,00                                           | 23.322,06              | 0,008                | Dentro da bacia | 0,008                           |
| Nova Veneza               | 97,15                                | 15.342                 | 54,68           | 214,33                                           | 100,00                                           | 97.649,59              | 0,036                | Dentro da bacia | 0,036                           |
| Siderópolis               | 88,23                                | 14.092                 | 54,79           | 195,14                                           | 100,00                                           | 88.703,20              | 0,033                | Dentro da bacia | 0,033                           |
| Sombrio                   | 106,43                               | 30.733                 | 51,87           | 221,15                                           | 100,00                                           | 127.928,84             | 0,047                | Fora da Bacia   | -                               |
| Treviso                   | 132,76                               | 3.966                  | 30,00           | 189,66                                           | 100,00                                           | 18.022,95              | 0,006                | Dentro da bacia | 0,006                           |
| Timbé do Sul              | 139,63                               | 5.343                  | 30,00           | 199,47                                           | 100,00                                           | 41.057,37              | 0,015                | Dentro da bacia | 0,015                           |

Tabela 36 - Demandas municipais para consumo humano e retiradas de água superficial na bacia do rio Araranguá.

(conclusão)

| Município | Consumo médio per capita (L/hab.dia) | População total (hab.) | Perda média (%) | Retirada per capita (L/hab.dia) População urbana | Retirada per capita (L/hab.dia.) População rural | Demanda total (m³/mês) | Demanda total (m³/s) | Captação        | Captação dentro da bacia (m³/s) |
|-----------|--------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------|
| Turvo     | 94,68                                | 12.990                 | 41,31           | 161,34                                           | 100,00                                           | 61.974,56              | 0,023                | Dentro da bacia | 0,023                           |
| Total     |                                      | 509.182                |                 |                                                  |                                                  | 2.939.738,53           | 1,098                |                 | 1,050                           |

Fonte: O autor.



#### 4.2.2.2.2 Demanda para criação animal

A determinação da demanda hídrica para criação animal (consumo pecuário) na bacia foi baseada na caracterização da produção pecuária dos municípios. Foram utilizados os consumos médios de água por cabeça que variam conforme o animal, apresentados no Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil (ANA, 2019a) (Tabela 37).

A demanda média mensal considerando toda a produção animal é de 210.651,11 m<sup>3</sup> (0,0786 m<sup>3</sup>/s). No Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá (2014), a demanda média mensal nas declarações aprovadas totalizava 76.511,66 m<sup>3</sup> (0,029 m<sup>3</sup>/s), cerca de três vezes a menor, em relação à metodologia adotada no presente estudo. Por outro lado, nos cadastros do SIOUT de fevereiro de 2023, o total de vazões declaradas para essa finalidade na bacia é de 173.664 m<sup>3</sup>/mês (0,067 m<sup>3</sup>/s).

O município com maior produção de bovinos e aves é Araranguá com demanda de água mensal de 26.491,74 m<sup>3</sup>, enquanto o município de Balneário Arroio do Silva é o menor produtor de cabeças bovinas e aves. Da mesma forma como adotado na demanda para consumo humano, o município de Sombrio faz a captação de água fora da bacia, portanto, foi desconsiderado na estimativa de balanço hídrico superficial.

Tabela 37 - Demanda de água para criação animal nos municípios da bacia do rio Araranguá.

(continua)

| Município                       | <sup>1</sup> Nº<br>bovinos | <sup>1</sup> Nº<br>suínos | <sup>1</sup> Nº aves | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>bovino<br>(L/cab.dia) | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>suíno<br>(L/cab.dia) | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>aves<br>(L/cab.dia) | Demanda<br>total para<br>criação<br>animal<br>(m³/mês) | Demanda<br>total para<br>criação<br>animal<br>(m³/s) | Captação           | Captação<br>dentro da<br>bacia (m³/s) |
|---------------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Araranguá                       | 11.578                     | 749                       | 1.637.752            | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 26.491,74                                              | 0,0099                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0099                                |
| Balneário<br>Rincão             | 1.453                      | 166                       | 43.050               | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 2.474,22                                               | 0,0009                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0009                                |
| Balneário<br>Arroio do<br>Silva | 1.167                      | 161                       | 2.701                | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 1.825,46                                               | 0,0007                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0007                                |
| Criciúma                        | 6.362                      | 429                       | 118.593              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 10.344,28                                              | 0,0039                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0039                                |
| Ermo                            | 1.846                      | 523                       | 250.063              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 4.315,47                                               | 0,0016                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0016                                |
| Forquilha                       | 5.973                      | 8.404                     | 748.623              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 16.153,56                                              | 0,0060                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0060                                |
| Içara                           | 12.696                     | 845                       | 443.634              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 21.756,50                                              | 0,0081                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0081                                |
| Jacinto<br>Machado              | 8.259                      | 2.175                     | 165.485              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 14.097,74                                              | 0,0053                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0053                                |
| Maracajá                        | 5.692                      | 165                       | 195.303              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 9.654,51                                               | 0,0036                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0036                                |
| Meleiro                         | 4.113                      | 503                       | 789.660              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 10.622,29                                              | 0,0040                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0040                                |
| Morro Grande                    | 2.901                      | 511                       | 752.460              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 8.606,41                                               | 0,0032                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0032                                |
| Nova Veneza                     | 7.186                      | 471                       | 1.205.909            | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 17.467,53                                              | 0,0065                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0065                                |
| Siderópolis                     | 6.399                      | 760                       | 1.345.462            | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 17.148,99                                              | 0,0064                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0064                                |

Tabela 37 - Demanda de água para criação animal nos municípios da bacia do rio Araranguá.

|              |                            |                           |                      |                                                                         |                                                                        |                                                                       |                                                        |                                                      |                    | (conclusão)                           |
|--------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Município    | <sup>1</sup> Nº<br>bovinos | <sup>1</sup> Nº<br>suínos | <sup>1</sup> Nº aves | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>bovino<br>(L/cab.dia) | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>suíno<br>(L/cab.dia) | <sup>2</sup> Consumo<br>médio por<br>cabeça de<br>aves<br>(L/cab.dia) | Demanda<br>total para<br>criação<br>animal<br>(m³/mês) | Demanda<br>total para<br>criação<br>animal<br>(m³/s) | Captação           | Captação<br>dentro da<br>bacia (m³/s) |
| Sombrio      | 5.034                      | 471                       | 126.337              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 8.409,84                                               | 0,0031                                               | Fora da<br>bacia   | -                                     |
| Treviso      | 2.626                      | 149                       | 609.097              | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 7.284,00                                               | 0,0027                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0027                                |
| Timbé do Sul | 4.525                      | 7.371                     | 1.440.670            | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 17.331,24                                              | 0,0065                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0065                                |
| Turvo        | 5.330                      | 3.292                     | 1.377.376            | 50,00                                                                   | 12,50                                                                  | 0,18                                                                  | 16.667,33                                              | 0,0062                                               | Dentro da<br>bacia | 0,0062                                |
| Total        | 93.140                     | 27.145                    | 11.252.175           | -                                                                       | -                                                                      | -                                                                     | 210.651,11                                             | 0,0786                                               |                    | 0,0755                                |

Fonte: <sup>1</sup>Adaptado de IBGE Cidades (Ano base 2017); <sup>2</sup> ANA, 2019a.

#### 4.2.2.2.3 Demanda para agricultura de irrigação

Na estimativa da demanda hídrica para a produção agrícola na bacia, considerou-se apenas a cultura de arroz irrigado nas estimativas de consumo. As demais culturas, como produção de banana, maracujá, milho, batata-inglesa e mandioca são consideradas culturas não irrigadas. (PBDGRHS, 2020). As culturas de laranja, fumo, soja e feijão, segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá (PRHBRA, 2014a) consomem juntas <1% de água para manejo (irrigação) em comparação ao manejo da cultura de arroz.

A Tabela 38 apresenta a demanda de água para o manejo da cultura de arroz irrigado na bacia do rio Araranguá. A área total de produção de arroz na bacia, segundo o mapeamento realizado pela Epagri e a Conab (safra 2018/2019) é de 47.326 hectares, enquanto em 2012, a área total cultivada foi de 56.456 hectare. (PRHBRA (2014a). Considerando os consumos médios mensais no período de setembro a janeiro (PRHBRA, 2014) (Tabela 39), a vazão média estimada no presente estudo no período de safra (2018/2019) é de 28,62 m<sup>3</sup>/s, cerca de 50% à menor (56,00 m<sup>3</sup>/s no PRHBRA (2014a).

Percebe-se que a área de produção reduziu em 9.130 hectares (<16,17%), considerando a área total de cultivo (safra 2018/2019) adotada no presente estudo em relação a área total de cultivo do ano de 2012, adotado no plano de recursos hídricos da bacia do rio Araranguá. (PRHBRA, 2014). Nesse aspecto, em termos de demanda média anual, comparando os dois trabalhos, percebe-se uma redução de 16,17%. (73.039.260 m<sup>3</sup>/ano a menor).

Tabela 38 - Demanda mensal, total e média anual para cada SHR e subsistema na bacia do rio Araranguá para finalidade de irrigação de arroz.

| Subsistema                   | SHR | Área da Bacia (km <sup>2</sup> ) | Área com cultura de arroz (km <sup>2</sup> ) | Demanda em m <sup>3</sup> /s |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | Média Anual |
|------------------------------|-----|----------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
|                              |     |                                  |                                              | Jan.                         | *Fev. | *Mar. | *Abr. | *Mai. | *Jun. | *Jul. | *Ago. | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez.  |             |
| Mãe Luzia                    | 01  | 27,06                            | 0,00                                         | 0,000                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       |
|                              | 02  | 40,21                            | 0,05                                         | 0,003                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,002 | 0,003 | 0,004 | 0,004 | 0,003       |
|                              | 03  | 49,45                            | 0,003                                        | 0,000                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       |
|                              | 04  | 79,02                            | 30,20                                        | 1,691                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,165 | 1,691 | 2,330 | 2,255 | 1,826       |
|                              | 05  | 102,97                           | 5,88                                         | 0,329                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,227 | 0,329 | 0,453 | 0,439 | 0,355       |
|                              | 06  | 202,82                           | 2,37                                         | 0,133                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,092 | 0,133 | 0,183 | 0,177 | 0,143       |
|                              | 07  | 220,06                           | 82,33                                        | 4,611                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 3,176 | 4,611 | 6,353 | 6,148 | 4,980       |
|                              | 08  | 390,24                           | 31,15                                        | 1,745                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,202 | 1,745 | 2,404 | 2,326 | 1,884       |
| Manoel Alves                 | 09  | 229,25                           | 33,47                                        | 1,874                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,291 | 1,874 | 2,582 | 2,499 | 2,024       |
|                              | 10  | 164,16                           | 30,64                                        | 1,716                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,182 | 1,716 | 2,364 | 2,288 | 1,853       |
| Itoupava                     | 11  | 79,44                            | 0,00                                         | 0,000                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       |
|                              | 12  | 67,18                            | 6,28                                         | 0,352                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,242 | 0,352 | 0,485 | 0,469 | 0,380       |
|                              | 13  | 71,24                            | 9,84                                         | 0,551                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,380 | 0,551 | 0,759 | 0,735 | 0,595       |
|                              | 14  | 235,55                           | 58,94                                        | 3,301                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2,274 | 3,301 | 4,548 | 4,401 | 3,565       |
|                              | 15  | 62,05                            | 0,00                                         | 0,000                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       |
|                              | 16  | 41,13                            | 0,00                                         | 0,000                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000       |
|                              | 17  | 76,33                            | 0,67                                         | 0,038                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,026 | 0,038 | 0,052 | 0,050 | 0,041       |
|                              | 18  | 19,29                            | 2,46                                         | 0,138                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,095 | 0,138 | 0,190 | 0,183 | 0,149       |
|                              | 19  | 85,72                            | 6,32                                         | 0,354                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,244 | 0,354 | 0,487 | 0,472 | 0,382       |
|                              | 20  | 42,13                            | 5,25                                         | 0,294                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,202 | 0,294 | 0,405 | 0,392 | 0,317       |
|                              | 21  | 168,28                           | 64,26                                        | 3,599                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2,479 | 3,599 | 4,958 | 4,798 | 3,887       |
|                              | 22  | 56,99                            | 14,61                                        | 0,818                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,564 | 0,818 | 1,127 | 1,091 | 0,884       |
|                              | 23  | 132,99                           | 32,37                                        | 1,813                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,249 | 1,813 | 2,498 | 2,417 | 1,958       |
| Dos Porcos / Baixo Araranguá | 24  | 199,22                           | 17,35                                        | 0,972                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0,669 | 0,972 | 1,339 | 1,295 | 1,049       |
|                              | 25  | 229,53                           | 38,83                                        | 2,174                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1,498 | 2,174 | 2,996 | 2,899 | 2,348       |
| Total                        |     | 3072,30                          | 473,26                                       | 26,50                        | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 18,26 | 26,50 | 36,52 | 35,34 | 28,62       |

Fonte: O autor; \*os meses em que não há irrigação, foi atribuído valor zero (0) para o coeficiente de consumo.

Tabela 39 - Demanda média para manejo da cultura do arroz irrigado na bacia do rio Araranguá.

| Mês                                                               | <sup>1</sup> Demanda média (m <sup>3</sup> /hectare/mês) | Demanda média (m <sup>3</sup> /mês) | Demanda média (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Set                                                               | 1000,00                                                  | 47.325.700,00                       | 18,26                             |
| Out                                                               | 1500,00                                                  | 70.988.550,00                       | 26,50                             |
| Nov                                                               | 2000,00                                                  | 94.651.400,00                       | 36,52                             |
| Dez                                                               | 2000,00                                                  | 94.651.400,00                       | 35,34                             |
| Jan                                                               | 1500,00                                                  | 70.988.550,00                       | 26,50                             |
| <sup>2</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /ano) |                                                          |                                     | 378.605.600,00                    |
| <sup>3</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /ano) |                                                          |                                     | 451.644.860,00                    |
| <sup>2</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /mês) |                                                          |                                     | 75.721.120,00                     |
| <sup>3</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /mês) |                                                          |                                     | 75.274.143,00                     |
| <sup>2</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /s)   |                                                          |                                     | 28,62                             |
| <sup>3</sup> Demanda média anual da cultura (m <sup>3</sup> /s)   |                                                          |                                     | 56,00                             |

Fonte: <sup>1</sup>Sistema prégerminado com taxa anual de demanda por hectare PRHBRA (2014); <sup>2</sup> Presente estudo (2023); <sup>3</sup>PRHBRA (2014).

#### 4.2.2.3 Resumo da demanda hídrica superficial dos usos consuntivos e não consuntivos

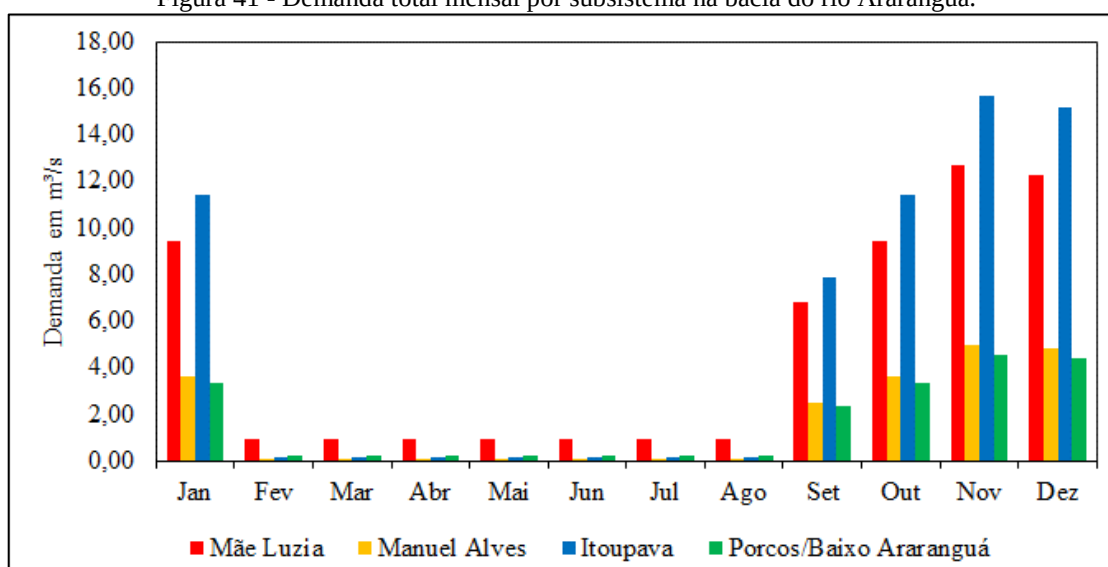
Apresenta-se o resumo das demandas que são efetivadas por retiradas em água superficial ou no consumo efetivo dessas retiradas para integração no balanço hídrico superficial. As demandas evidenciam a totalidade de necessidade hídrica para atendimento dos usos das principais finalidades da bacia, sendo consideradas para atendimento ao uso agrícola, no tocante a irrigação de arroz, na criação animal, abastecimento humano, aquicultura e indústria. A Tabela 40 e a Figura 41 trazem as demandas totais ao longo dos meses e a média anual por subsistema. Enquanto a Figura 42 traz a espacialização da proporção dessas demandas para cada subsistema e a Figura 43 a comparação da proporção por finalidade nos meses de junho e novembro, adotados como sendo o menor e maior consumo mensal.

Tabela 40 - Demanda hídrica superficial mensal, total e média anual (m<sup>3</sup>/s) para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema               | Jan.  | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez.  | Média Anual |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Mãe Luzia                | 9,44  | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 6,80  | 9,44  | 12,66 | 12,28 | 4,76        |
| Manoel Alves             | 3,60  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 2,49  | 3,60  | 4,96  | 4,80  | 1,63        |
| Itoupava                 | 11,39 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 7,89  | 11,39 | 15,64 | 15,14 | 5,20        |
| Porcos / Baixo Araranguá | 3,33  | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 2,35  | 3,33  | 4,52  | 4,38  | 1,60        |
| Total                    | 27,77 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 1,26 | 19,52 | 27,77 | 37,78 | 36,60 | 13,19       |

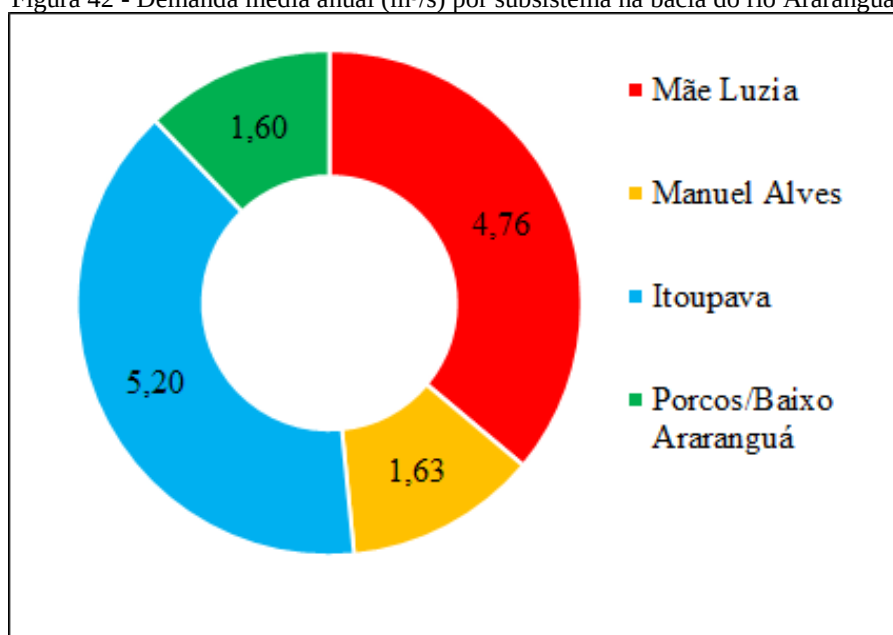
Fonte: O autor.

Figura 41 - Demanda total mensal por subsistema na bacia do rio Araranguá.



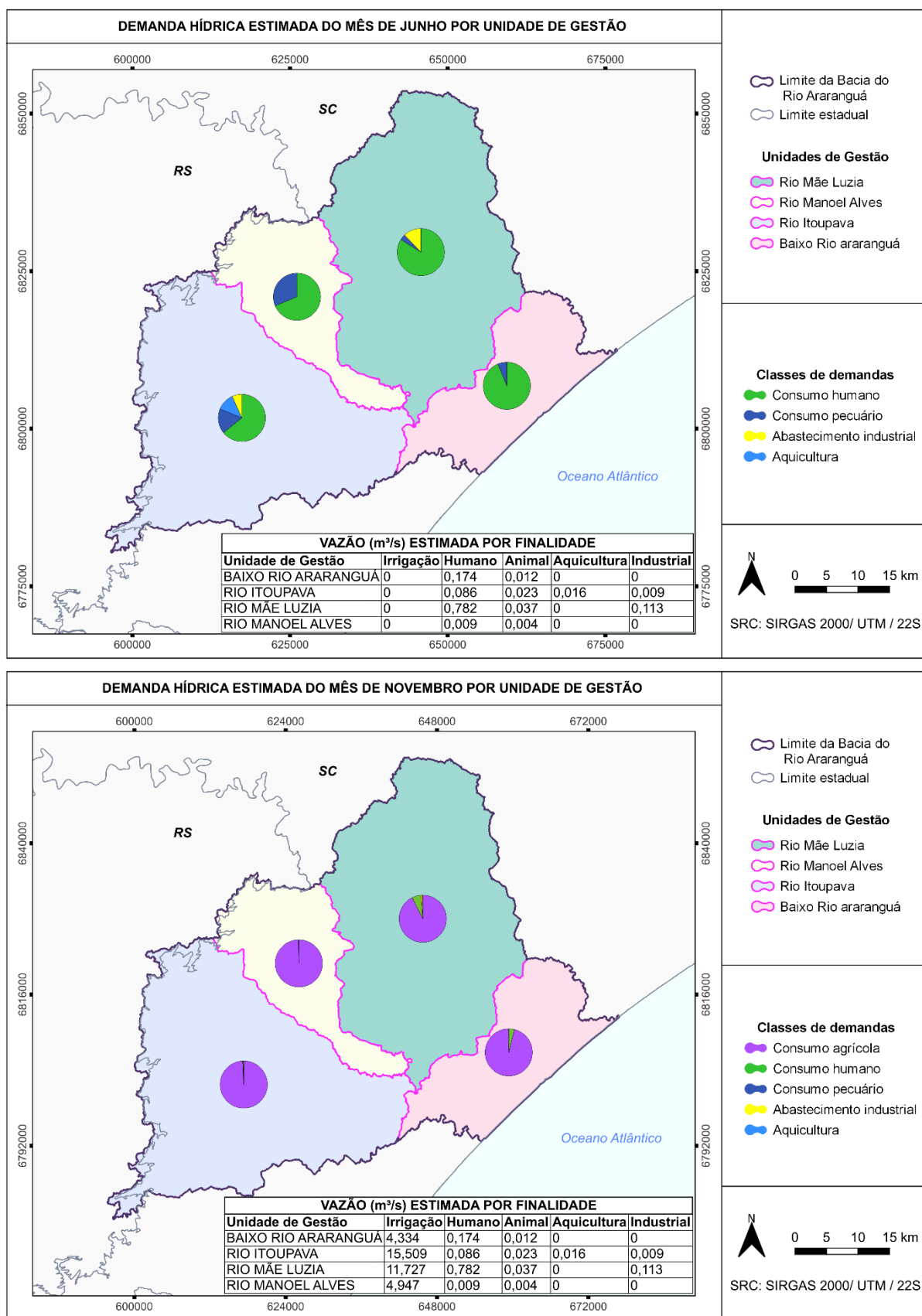
Fonte: O autor.

Figura 42 - Demanda média anual (m³/s) por subsistema na bacia do rio Araranguá.



Fonte: O autor.

Figura 43 - Proporção da demanda de água superficial nos meses de junho e novembro por finalidade para cada subsistema.





### 4.3 ESTIMATIVA DE BALANÇO HÍDRICO ENTRE AS DISPONIBILIDADES E AS DEMANDAS HÍDRICAS DE ÁGUA SUPERFICIAL AVALIADAS

#### 4.3.1 Balanço hídrico superficial instantâneo

Neste cenário foram consideradas as retiradas de cada subsistema em relação à disponibilidade hídrica estimada para as vazões médias mensais (Tabela 41), as vazões com 50% da  $Q_{90}$  mensal (Tabela 42) e as vazões com 50% da  $Q_{90}$  trimestral (Tabela 43). Por não considerar coeficientes de retorno, o balanço hídrico com base nas retiradas pode ser interpretado como uma situação instantânea dos déficits hídricos. Esta situação representa a dinâmica mais crítica, onde todas as demandas estão sendo atendidas e no exato momento está sendo provocada a redução de água nos corpos hídricos sem considerar as vazões de retorno.

Na Tabela 41 consta o cenário considerando a totalidade das retiradas comparadas às vazões médias mensais. Observa-se disponibilidade hídrica em todos os meses e nos quatro subsistemas da bacia.

Tabela 41 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo ( $m^3/s$ ) considerando as vazões médias mensais estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema              | Jan.  | Fev.  | Mar.  | Abr.  | Mai.  | Jun.  | Jul.  | Ago.  | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez.  | Anual |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Demanda Mãe Luzia       | 9,44  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 0,93  | 6,80  | 9,44  | 12,66 | 12,28 | 4,76  |
| Q Média Mensal          | 54,53 | 70,45 | 70,72 | 39,99 | 35,26 | 29,76 | 34,35 | 39,81 | 60,15 | 53,63 | 61,40 | 46,38 | 49,70 |
| Diferença               | 45,09 | 69,52 | 69,79 | 39,06 | 34,33 | 28,83 | 33,42 | 38,88 | 53,35 | 44,19 | 48,74 | 34,10 | 44,94 |
| Demanda Manoel Alves    | 3,60  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 0,01  | 2,49  | 3,60  | 4,96  | 4,80  | 1,63  |
| Q Média Mensal          | 20,34 | 26,85 | 19,94 | 11,66 | 11,98 | 8,40  | 10,48 | 11,66 | 13,94 | 15,85 | 15,04 | 15,40 | 15,13 |
| Diferença               | 16,74 | 26,84 | 19,93 | 11,65 | 11,97 | 8,39  | 10,47 | 11,65 | 11,45 | 12,25 | 10,08 | 10,60 | 13,50 |
| Demanda Itoupava        | 11,39 | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 0,13  | 7,89  | 11,39 | 15,64 | 15,14 | 5,20  |
| Q Média Mensal          | 55,78 | 71,43 | 72,96 | 41,22 | 36,13 | 30,72 | 35,28 | 40,92 | 62,43 | 55,12 | 63,68 | 47,65 | 51,11 |
| Diferença               | 44,39 | 71,30 | 72,83 | 41,09 | 36,00 | 30,59 | 35,15 | 40,79 | 54,54 | 43,73 | 48,04 | 32,51 | 45,91 |
| Demanda Baixo Araranguá | 3,33  | 0,19  | 0,19  | 0,19  | 0,19  | 0,19  | 0,19  | 0,19  | 2,35  | 3,33  | 4,52  | 4,38  | 1,60  |
| Q Média Mensal          | 22,03 | 30,47 | 21,96 | 12,81 | 13,10 | 9,23  | 11,57 | 12,91 | 15,49 | 17,53 | 16,60 | 16,76 | 16,71 |
| Diferença               | 18,70 | 30,28 | 21,77 | 12,62 | 12,91 | 9,04  | 11,38 | 12,72 | 13,14 | 14,20 | 12,08 | 12,38 | 15,10 |

Fonte: O autor.

No cenário considerando 50% da  $Q_{90}$  mensal (Tabela 42), observa-se que nos meses de setembro a janeiro, devido a intensa retirada para uso na irrigação, coloca uma situação de déficit hídrico. Portanto, neste cenário as retiradas totais nesses meses comprometem a

disponibilidade hídrica. Já quando se analisa a estimativa de balanço hídrico com 50% da Q<sub>90</sub> trimestral (Tabela 43), para os quatro subsistemas no 1º, 3º e 4º trimestres, ocorre déficit hídrico.

Tabela 42 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo (m³/s) considerando 50% da Q<sub>90</sub> mensal estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema                 | Jan.  | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set.  | Out.  | Nov.   | Dez.   | Anual |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Demanda Mãe Luzia          | 9,44  | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 0,93 | 6,80  | 9,44  | 12,66  | 12,28  | 4,76  |
| 50% Q <sub>90</sub> Mensal | 2,12  | 3,82 | 3,99 | 3,19 | 2,75 | 2,12 | 2,16 | 2,24 | 3,12  | 3,49  | 2,48   | 1,64   | 2,44  |
| Diferença                  | -7,32 | 2,89 | 3,06 | 2,26 | 1,82 | 1,19 | 1,23 | 1,31 | -3,68 | -5,95 | -10,18 | -10,64 | -2,32 |
| Demanda Manoel Alves       | 3,60  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 2,49  | 3,60  | 4,96   | 4,80   | 1,63  |
| 50% Q <sub>90</sub> Mensal | 2,15  | 3,88 | 4,06 | 3,24 | 2,85 | 2,15 | 2,21 | 2,28 | 3,22  | 3,55  | 2,53   | 1,67   | 0,55  |
| Diferença                  | -1,45 | 3,87 | 4,05 | 3,23 | 2,84 | 2,14 | 2,20 | 2,27 | 0,73  | -0,05 | -2,43  | -3,13  | -1,08 |
| Demanda Itoupava           | 11,39 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 7,89  | 11,39 | 15,64  | 15,14  | 5,20  |
| 50% Q <sub>90</sub> Mensal | 2,15  | 3,88 | 4,06 | 3,24 | 2,85 | 2,15 | 2,21 | 2,28 | 3,22  | 3,55  | 2,53   | 1,67   | 2,49  |
| Diferença                  | -9,24 | 3,75 | 3,93 | 3,11 | 2,72 | 2,02 | 2,08 | 2,15 | -4,67 | -7,84 | -13,11 | -13,47 | -2,71 |
| Demanda Baixo Araranguá    | 3,33  | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 0,19 | 2,35  | 3,33  | 4,52   | 4,38   | 1,60  |
| 50% Q <sub>90</sub> Mensal | 0,68  | 1,21 | 1,41 | 1,14 | 0,74 | 0,70 | 0,77 | 0,60 | 0,52  | 0,96  | 0,61   | 0,43   | 0,70  |
| Diferença                  | -2,65 | 1,02 | 1,22 | 0,95 | 0,55 | 0,51 | 0,58 | 0,41 | -1,83 | -2,37 | -3,91  | -3,95  | -0,90 |

Fonte: O autor.

Tabela 43 - Estimativa de balanço hídrico superficial instantâneo (m³/s) considerando 50% da Q<sub>90</sub> trimestral estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema                     | 1º Trimestre | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre | Anual |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Demanda Mãe Luzia              | 3,77         | 0,93         | 2,89         | 11,46        | 4,76  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 3,08         | 2,45         | 2,41         | 2,34         | 2,44  |
| Diferença                      | -0,69        | 1,52         | -0,48        | -9,12        | -2,32 |
| Demanda Manoel Alves           | 1,21         | 0,01         | 0,84         | 4,45         | 1,63  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 0,74         | 0,53         | 0,45         | 0,51         | 0,55  |
| Diferença                      | -0,46        | 0,52         | -0,39        | -3,94        | -1,08 |
| Demanda Itoupava               | 3,88         | 0,13         | 2,72         | 14,06        | 5,20  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 3,13         | 2,49         | 2,45         | 2,38         | 2,49  |
| Diferença                      | -0,75        | 2,36         | -0,26        | -11,68       | -2,71 |
| Demanda Baixo Araranguá        | 1,24         | 0,19         | 0,91         | 4,08         | 1,60  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 0,94         | 0,69         | 0,61         | 0,67         | 0,70  |
| Diferença                      | -0,30        | 0,50         | -0,30        | -3,41        | -0,90 |

Fonte: O autor.

### 4.3.2 Balanço hídrico superficial acumulado

Foi realizado o balanço hídrico acumulado com base nos consumos considerando a  $Q_{90}$  mensal (Tabela 44) e  $Q_{90}$  trimestral (Tabela 45). Nesse cenário, os consumos correspondem ao acumulado das retiradas ao longo dos meses e trimestres, considerando os coeficientes de retorno de cada tipo de uso. Nesta situação foram considerados os consumos mensais e trimestrais da bacia sobre a disponibilidade de 50% da  $Q_{90}$  mensal e trimestral.

Observa-se uma situação confortável entre os meses de fevereiro a agosto (Tabela 43), enquanto entre os meses de setembro a janeiro, devido à maior demanda, a situação se inverte, apresentando estresse hídrico. A pior situação ocorre em dezembro no subsistema do Itoupava, com 86,13% de estresse hídrico.

Tabela 44 - Estimativa de balanço hídrico superficial acumulado ( $m^3/s$ ) considerando 50% da  $Q_{90}$  mensal estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Estimativa de balanço hídrico acumulado ( $m^3/s$ ) |       |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |        |       |
|-----------------------------------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Subsistema                                          | Jan.  | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set.  | Out.  | Nov.  | Dez.   | Anual |
| Demanda Mãe Luzia                                   | 7,02  | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 0,21 | 4,90  | 7,02  | 9,59  | 9,29   | 3,27  |
| 50% $Q_{90}$ Mensal                                 | 2,12  | 3,82 | 3,99 | 3,19 | 2,75 | 2,12 | 2,16 | 2,24 | 3,12  | 3,49  | 2,48  | 1,64   | 2,44  |
| Diferença                                           | -4,90 | 3,61 | 3,79 | 2,98 | 2,54 | 1,91 | 1,95 | 2,03 | -1,78 | -3,53 | -7,11 | -7,65  | -0,83 |
| Demanda Manoel Alves                                | 2,88  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,98  | 2,88  | 3,96  | 3,83   | 1,30  |
| 50% $Q_{90}$ Mensal                                 | 2,15  | 3,88 | 4,06 | 3,24 | 2,85 | 2,15 | 2,21 | 2,28 | 3,22  | 3,55  | 2,53  | 1,67   | 0,55  |
| Diferença                                           | -0,72 | 3,88 | 4,05 | 3,23 | 2,84 | 2,15 | 2,21 | 2,28 | 1,23  | 0,68  | -1,44 | -2,16  | -0,75 |
| Demanda Itoupava                                    | 9,04  | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 6,24  | 9,04  | 12,44 | 12,04  | 4,09  |
| 50% $Q_{90}$ Mensal                                 | 2,15  | 3,88 | 4,06 | 3,24 | 2,85 | 2,15 | 2,21 | 2,28 | 3,22  | 3,55  | 2,53  | 1,67   | 2,49  |
| Diferença                                           | -6,89 | 3,85 | 4,02 | 3,20 | 2,81 | 2,11 | 2,18 | 2,24 | -3,02 | -5,49 | -9,92 | -10,37 | -1,60 |
| Demanda Baixo Araranguá                             | 2,56  | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 1,78  | 2,56  | 3,51  | 3,40   | 1,18  |
| 50% $Q_{90}$ Mensal                                 | 0,68  | 1,21 | 1,41 | 1,14 | 0,74 | 0,70 | 0,77 | 0,60 | 0,52  | 0,96  | 0,61  | 0,43   | 0,70  |
| Diferença                                           | -1,88 | 1,16 | 1,36 | 1,09 | 0,70 | 0,66 | 0,73 | 0,55 | -1,25 | -1,60 | -2,90 | -2,97  | -0,47 |

Fonte: O autor.

No cenário com a  $Q_{90}$  trimestral (Tabela 45), apenas o 4º trimestre coloca estresse hídrico nos subsistemas Mãe Luzia e Itoupava. A pior situação ocorre na bacia do Manoel Alves, onde apresenta situação crítica no 1º, 3º e 4º trimestres.

Tabela 45 - Estimativa de balanço hídrico superficial acumulado (m<sup>3</sup>/s) considerando 50% da Q<sub>90</sub> trimestral estimada para cada subsistema na bacia do rio Araranguá.

| Subsistema                     | 1º Trimestre | 2º Trimestre | 3º Trimestre | 4º Trimestre | Anual |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| Demanda Mãe Luzia              | 2,48         | 0,21         | 1,77         | 8,63         | 3,27  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 3,08         | 2,45         | 2,41         | 2,34         | 2,44  |
| Diferença                      | 0,60         | 2,24         | 0,64         | -6,29        | -0,83 |
| Demanda Manoel Alves           | 0,96         | 0,00         | 0,66         | 3,56         | 1,30  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 0,74         | 0,53         | 0,45         | 0,51         | 0,55  |
| Diferença                      | -0,22        | 0,53         | -0,22        | -3,04        | -0,75 |
| Demanda Itoupava               | 3,04         | 0,04         | 2,10         | 11,18        | 4,09  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 3,13         | 2,49         | 2,45         | 2,38         | 2,49  |
| Diferença                      | 0,09         | 2,45         | 0,35         | -8,80        | -1,60 |
| Demanda Baixo Araranguá        | 0,88         | 0,04         | 0,62         | 3,16         | 1,18  |
| 50% Q <sub>90</sub> Trimestral | 0,94         | 0,69         | 0,61         | 0,67         | 0,70  |
| Diferença                      | 0,06         | 0,65         | -0,01        | -2,49        | -0,47 |

Fonte: O autor.

#### 4.3.3 Indicador de escassez

O resultado da aplicação do indicador WEI é apresentado na Tabela 46 onde é possível verificar a distribuição do comprometimento hídrico em função da Q<sub>MLT</sub> nos subsistemas da bacia hidrográfica do rio Araranguá para o cenário atual.

Observa-se que a situação em relação ao comprometimento hídrico é preocupante nos subsistemas do Mãe Luzia, Manoel Alves e Itoupava. Ressalta-se que essa situação é decorrente da elevada demanda de água para fins de irrigação observada nessas bacias frente à disponibilidade hídrica. Os valores de WEI encontrados nestes três subsistemas corroboram com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (PERH/SC, 2017), onde apontava um acentuado déficit hídrico na bacia do rio Araranguá com balanço hídrico quali-quantitativo em condições péssimas em cenários de curto (2019), médio (2023) e longo prazo (2027). A situação só é mais confortável quando se analisa o subsistema Porcos/Baixo Araranguá de forma isolada, devido, entre outros, aos valores relativamente baixos de demanda hídrica.

A situação mais crítica entre os quatro subsistemas é a bacia do rio Manoel Alves (WEI 10,97), devido a elevada demanda hídrica (novembro a janeiro) o que neste caso, pode-se manter a vazão mínima de referência (Q<sub>90 anual</sub>) como estratégia para não prejudicar a vida aquática entre outras consequências.

Tabela 46 - Índice de retirada de água para os exultórios dos subsistemas da bacia do rio Araranguá.

| Subsistema             | Média do Consumo (m <sup>3</sup> /s) | Q <sub>MLT</sub> (m <sup>3</sup> /s) | WEI   | Classificação WEI    |
|------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|----------------------|
| Mãe Luzia              | 4,76                                 | 46,41                                | 10,26 | Situação preocupante |
| Manoel Alves           | 1,63                                 | 14,86                                | 10,97 | Situação preocupante |
| Itoupava               | 5,20                                 | 47,70                                | 10,90 | Situação preocupante |
| Porcos/Baixo Araranguá | 1,60                                 | 16,24                                | 9,85  | Situação confortável |
| BRHA                   | 13,19                                | 169,24                               | 7,79  | Situação confortável |

Fonte: O autor.

#### 4.4 RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE MULTICRITERIAL PELO MÉTODO PROMETHEE

##### 4.4.1 Resultados da análise dos decisores e por grupo

Diante os conflitos de uso de água superficial na bacia do rio Araranguá e na busca de um equilíbrio entre demanda e oferta de água superficial, a problemática desta pesquisa pautou em avaliar a importância dada aos diferentes critérios pelos agentes atuantes de recursos hídricos no processo de concessão de outorga de uso de água.

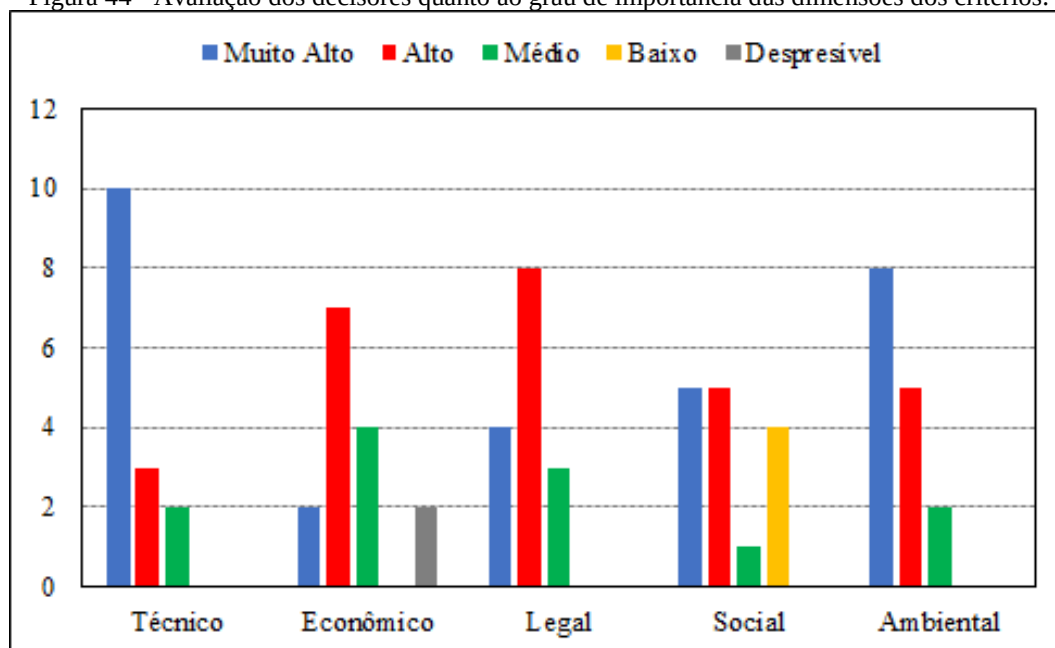
Dos 63 formulários encaminhados, obteve-se 15 respostas dos entrevistados (decisores), o que correspondeu a 23,8% de retorno. A maior parte dos participantes é vinculada aos membros do Comitê da Bacia do rio Araranguá e Afluentes do Mampituba (40,00%); em segundo estão os das instituições de ensino superior (33,33%); e com percentual de participação igual foram os das agências reguladoras (13,33%) e das associações de rizicultores (13,33%). Em relação aos quatro grupos definidos nas alternativas e que foram entrevistados, seis decisores fazem parte do Comitê da Bacia do rio Araranguá e Afluentes do Mampituba (Grupo 1), cinco decisores são de IES (Grupo 2), dois de agências reguladoras de água (Grupo 3) e dois de associação de rizicultores (Grupo 4).

Em relação à área de atuação dos participantes, encontrou-se distribuída da seguinte forma: saneamento (33,33%), gestão de recursos hídricos (26,66%), engenharia agrícola (26,66%) e regulação hídrica (13,33%). Em relação a área de formação acadêmica dos participantes, cinco são graduados em engenharia ambiental e sanitária (33,33%), três são engenheiros agrônomos (20,00%), dois tem formação em administração (13,33%) e os demais com formação em engenharia civil (1) (6,66%), engenharia de minas (1) (6,66%), geologia (1), biologia (1) e um acadêmico (6,66%).

A Figura 44 apresenta os resultados obtidos pelos decisores quanto ao grau de importância das dimensões dos critérios, enquanto a Figura 45 apresenta o peso médio dos decisores por dimensão dos critérios. Para os critérios de dimensão técnica prevaleceram de forma significativa com 10 decisores e da dimensão ambiental com oito decisores, todos estes avaliaram com grau de importância “muito alto”. Enquanto a avaliação com grau de importância “alto” prevaleceu para os critérios das dimensões legal (oito decisores) e econômica (sete decisores). Quatro decisores pontuaram como nível baixo os critérios de dimensão social e dois decisores como desprezível para os critérios de dimensão econômica.

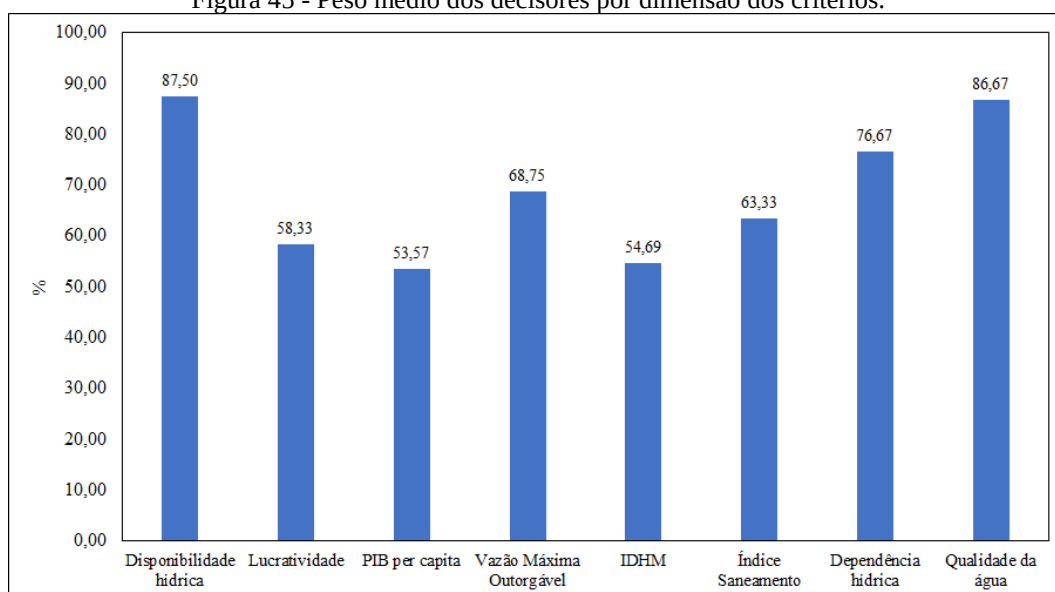
Na análise por peso médio dos decisores por critério (Figura 45), observou-se que três critérios se destacam na pesquisa, sendo a disponibilidade hídrica (87,50%), seguida da qualidade da água (86,67%) e dependência hídrica (76,67%). Os critérios com menor peso foram o PIB per capita (53,57), seguido do IDHM (54,69%) e lucratividade (58,33%).

Figura 44 - Avaliação dos decisores quanto ao grau de importância das dimensões dos critérios.



Fonte: O autor.

Figura 45 - Peso médio dos decisores por dimensão dos critérios.



Fonte: O autor.

Os decisores avaliaram o grau de importância dos critérios a partir de julgamentos pessoais atribuindo-se pesos. Os valores auferidos foram normalizados de modo que a soma dos pesos dos critérios, em cada dimensão, fosse igual a 1. O peso normalizado final do critério é o resultado da multiplicação dos pesos normalizados individualmente para as dimensões e para os critérios. O peso normalizado dos critérios para decisor 1 está apresentado na Tabela 47 e o conjunto de pesos normalizados para os 15 decisores está na Tabela 48.

Tabela 47 - Pesos normalizados dos critérios, atribuídos pelo decisor 1, a título de exemplo.

| Decisor 1 - Comitê Bacia |                |             |                                                   |                |             |        |
|--------------------------|----------------|-------------|---------------------------------------------------|----------------|-------------|--------|
| Nível 1                  |                |             | Nível 2                                           |                |             |        |
| Dimensão                 | Valor numérico | Normalizado | Critério                                          | Valor numérico | Normalizado | Peso   |
| Técnico                  | 1              | 0,200       | Disponibilidade hídrica                           | 1,000          | 1,0000      | 0,2000 |
| Econômico                | 1              | 0,200       | Lucratividade                                     | 0,500          | 0,3750      | 0,0750 |
|                          |                |             | PIB per capita                                    | 1,000          | 0,6250      | 0,1250 |
| Legal                    | 1              | 0,200       | Vazão Máxima Outorgável                           | 1,000          | 1,0000      | 0,2000 |
| Social                   | 1              | 0,200       | Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) | 1,000          | 0,5714      | 0,1143 |
|                          |                |             | Índice de Saneamento                              | 0,750          | 0,4286      | 0,0857 |
| Ambiental                | 1              | 0,200       | Dependência (demanda) hídrica                     | 1,000          | 0,5000      | 0,1000 |
|                          |                |             | Qualidade da água                                 | 1,000          | 0,5000      | 0,1000 |

Fonte: O autor.

Tabela 48 - Resultados dos pesos normalizados para os 15 decisores.

| Decisores                            | Técnico                 | Econômico     |                | Legal                   | Social |                   | Ambiental           |                   |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------|-------------------------|--------|-------------------|---------------------|-------------------|
|                                      | Disponibilidade Hídrica | Lucratividade | PIB per capita | Vazão Máxima Outorgável | IDH M  | Índice Saneamento | Dependência Hídrica | Qualidade da água |
| Decisor 1 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,0750        | 0,1250         | 0,2000                  | 0,1143 | 0,0857            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 2 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,1143        | 0,0857         | 0,2000                  | 0,0857 | 0,1143            | 0,0857              | 0,1143            |
| Decisor 3 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1000 | 0,1000            | 0,1250              | 0,0750            |
| Decisor 4 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1250 | 0,0750            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 5 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1000 | 0,1000            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 6 - Comitê de Bacia          | 0,2000                  | 0,0857        | 0,1143         | 0,2000                  | 0,0857 | 0,1143            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 7 – IES                      | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1000 | 0,1000            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 8 – IES                      | 0,2000                  | 0,1250        | 0,0750         | 0,2000                  | 0,0750 | 0,1250            | 0,0750              | 0,1250            |
| Decisor 9 – IES                      | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,0750 | 0,1250            | 0,0857              | 0,1143            |
| Decisor 10 – IES                     | 0,2000                  | 0,1500        | 0,0500         | 0,2000                  | 0,1000 | 0,1000            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 11 – IES                     | 0,2000                  | 0,1500        | 0,0500         | 0,2000                  | 0,0500 | 0,1500            | 0,0857              | 0,1143            |
| Decisor 12 - Agência Reguladora      | 0,2000                  | 0,1250        | 0,0750         | 0,2000                  | 0,0750 | 0,1250            | 0,0750              | 0,1250            |
| Decisor 13 - Agência Reguladora      | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1000 | 0,1000            | 0,0857              | 0,1143            |
| Decisor 14 - Associação Rizicultores | 0,2000                  | 0,0857        | 0,1143         | 0,2000                  | 0,1250 | 0,0750            | 0,1000              | 0,1000            |
| Decisor 15 - Associação Rizicultores | 0,2000                  | 0,1000        | 0,1000         | 0,2000                  | 0,1250 | 0,0750            | 0,1000              | 0,1000            |

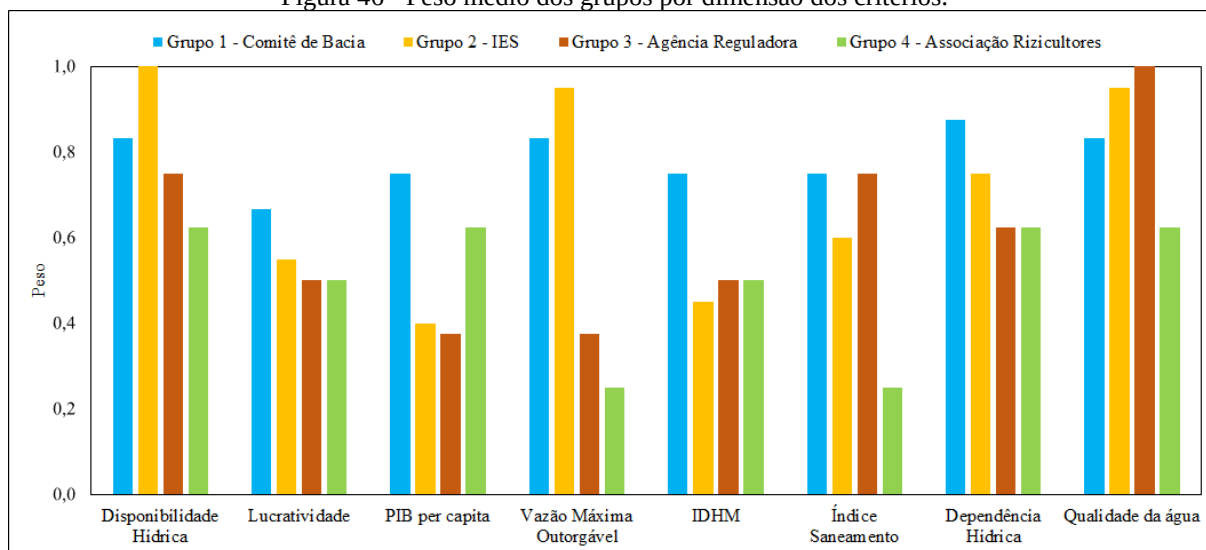
Fonte: O autor.

A Figura 46 mostra o peso médio dos critérios pelas quatro categorias (Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3 e Grupo 4). Percebe-se que as dimensões técnica e ambiental por meio dos critérios disponibilidade hídrica, qualidade de água e demanda hídrica receberam os maiores pesos ( $>0,75$  e  $<1,0$ ) e se destacam entre os quatro grupos com pesos médios  $>0,625$ .

Os critérios que tiveram os menores pesos foram o PIB per capita e o índice de saneamento. O PIB per capita teve peso médio variando de 0,375 a 0,75, enquanto o índice de saneamento com peso variando de 0,25 a 0,75.



Figura 46 - Peso médio dos grupos por dimensão dos critérios.



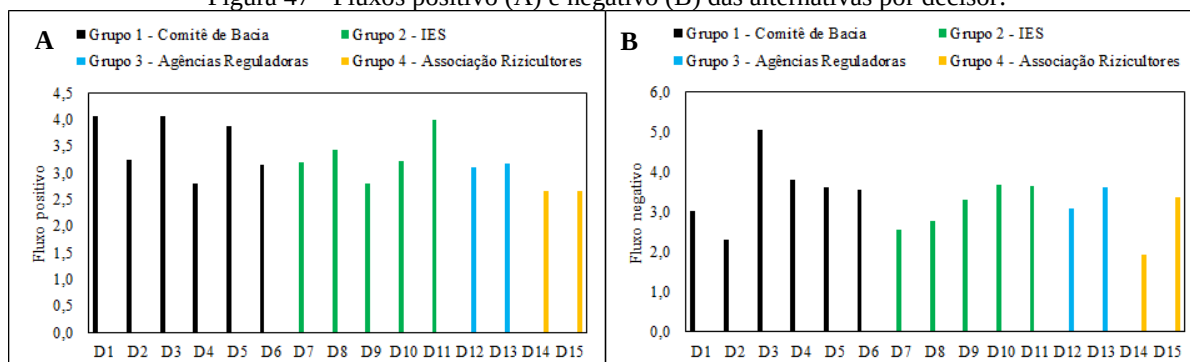
Fonte: O autor.

#### 4.4.2 Análise por decisor e grupo

Com os pesos normalizados dos 15 decisores (Tabela 48), obteve-se os pesos médios por critério e estruturada a matriz de sobre classificação por decisor. A matriz calcula os fluxos e determina o desempenho entre cada par de alternativas e baseia-se na comparação par a par. Na Figura 47A estão apresentados os fluxos positivos e negativos para cada alternativa (grupo), considerando os pesos atribuídos por decisor para cada um dos oito critérios. O fluxo positivo para uma determinada alternativa corresponde o quanto esta é preferencial em relação às outras e o fluxo negativo representa o quanto as demais alternativas são preferenciais em relação à ela.

Na Figura 47B, que trata dos fluxos negativos, observa-se que as alternativas relacionadas aos quatro grupos apresentam fluxos positivos em intensidade um pouco menor que o fluxos positivos indicando que, conforme o peso atribuído pelos decisores, a cada critério, as outras alternativas tiveram menor preferência.

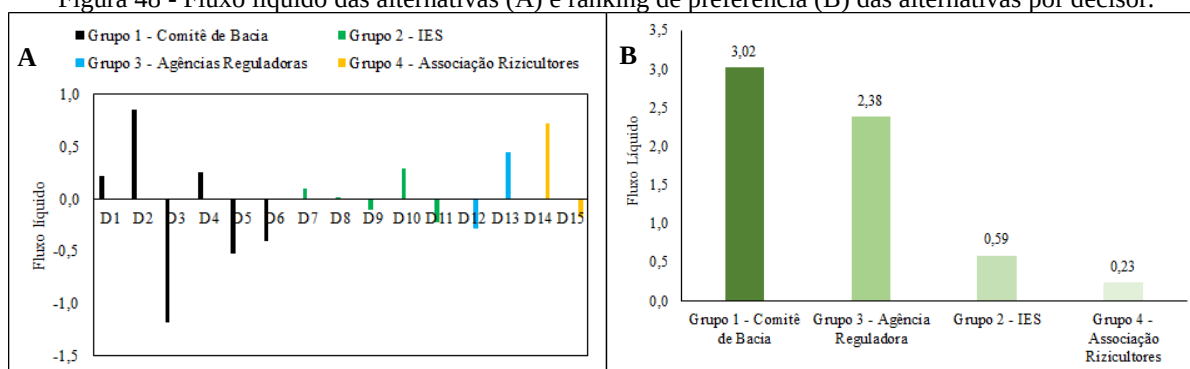
Figura 47 - Fluxos positivo (A) e negativo (B) das alternativas por decisor.



Fonte: O autor.

O fluxo líquido, que é a diferença entre os fluxos positivos e negativos, determina a ordem final de prioridades entre as alternativas. Na Figura 48A está apresentado o fluxo líquido das alternativas, por decisor, e na Figura 48B o ranking de preferência dos grupos. Os decisores que pertencem ao grupo 1 (Comitê de Bacia) foram os que atribuíram maior pontuação (alto e muito alto) aos critérios de disponibilidade hídrica, dependência hídrica e qualidade de água, seguido do grupo 2 (IES) para os mesmos critérios, porém, com pontuação que variou de média a muito alta. Assim, a ordenação no cálculo dos fluxos enquadrrou o grupo 1 no ranking de preferência com índice de 3,02, o que significa que os pesos atribuídos aos critérios prevaleceram sobre os demais decisores.

Figura 48 - Fluxo líquido das alternativas (A) e ranking de preferência (B) das alternativas por decisor.

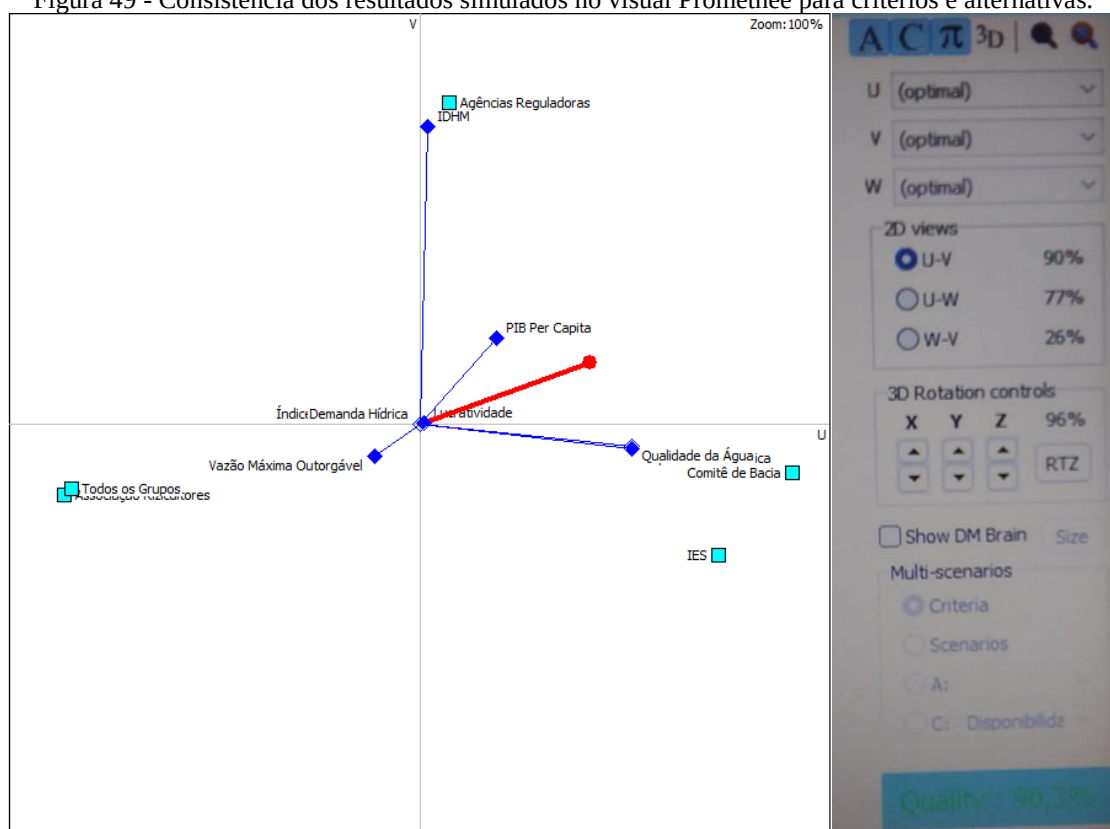


Fonte: O autor.

#### 4.3.3 Análise do ranking global

Em relação ao índice de inconsistência, o modelo deve apresentar uma consistência superior a 80% (PROMETHEE, 2012). A consistência alcançada na análise multicriterial realizada para o problema em estudo foi de 90,3% (Figura 49).

Figura 49 - Consistência dos resultados simulados no visual Promethee para critérios e alternativas.

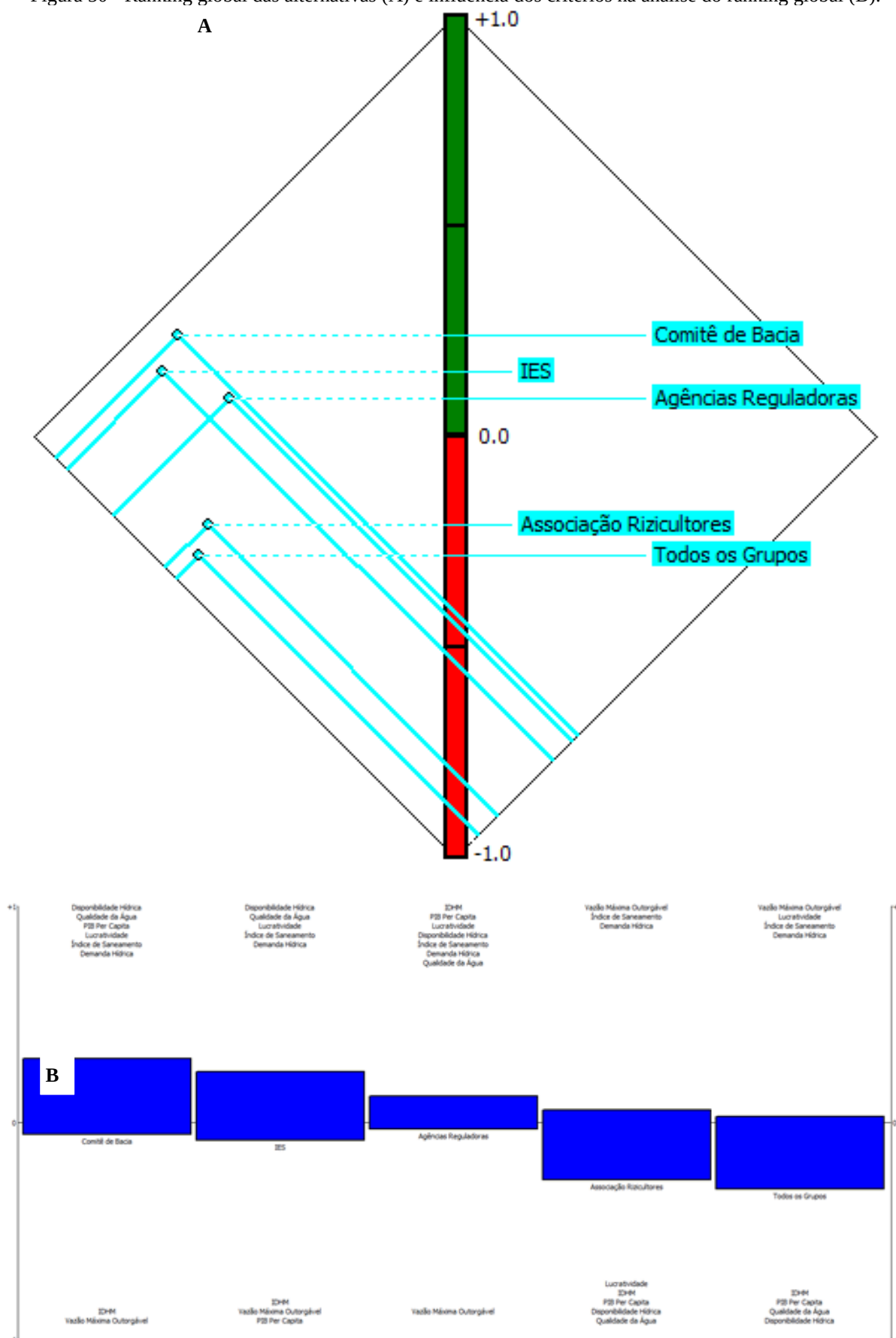


Fonte: O autor.

A partir dos resultados determinou-se o ranking global das alternativas (Figura 50A) e a influência dos critérios na análise do ranking global para o processo de emissão de outorga de uso de água (Figura 50B). No ranking global, o comitê de bacia (Grupo 1) se destacou entre os demais apresentando como prioridade as ordens dos critérios de disponibilidade hídrica, qualidade da água, PIB per capita, lucratividade, índice de saneamento e demanda hídrica. Essas informações corroboram com os resultados encontrados na Figura 48B.

O Grupo 2 (IES) vem na sequência seguida das agências reguladoras (Grupo 3), onde estes três grupos ou alternativas 1, 2 e 3 apresentam ranking acima do nível zero. Por outro lado, nesta análise global, as alternativas 4 (Grupo 4 - Associação de rizicultores) e 5 (Grupo 5 - Todos os grupos) permaneceram com nível inferior a zero a -1,0.

Figura 50 - Ranking global das alternativas (A) e influência dos critérios na análise do ranking global (B).



Fonte: O autor.

### 4.3.2 Análise global por dimensão

Na dimensão econômica, o comitê de bacia tem preferência em relação às demais alternativas, onde os critérios lucratividade e PIB per capita dos municípios da bacia contribuem para um bom desempenho dessa alternativa. Portanto, a maior importância concedida ao critério econômico, foi atribuída pela preferência da alternativa 1 (Grupo 1). Nessa dimensão, inclui-se, também com fluxo positivo, o grupo das agências reguladoras (Grupo 3), enquanto as demais alternativas (Grupos 2 e 4) apresentam baixo desempenho (Figura 51). Em termos de peso, lucratividade variou de  $<0,66$  (Grupo 1) a  $>0,5$  (Grupo 4), enquanto que o PIB per capita foi  $<0,75$  (Grupo 1) a  $>0,62$  (Grupo 4).

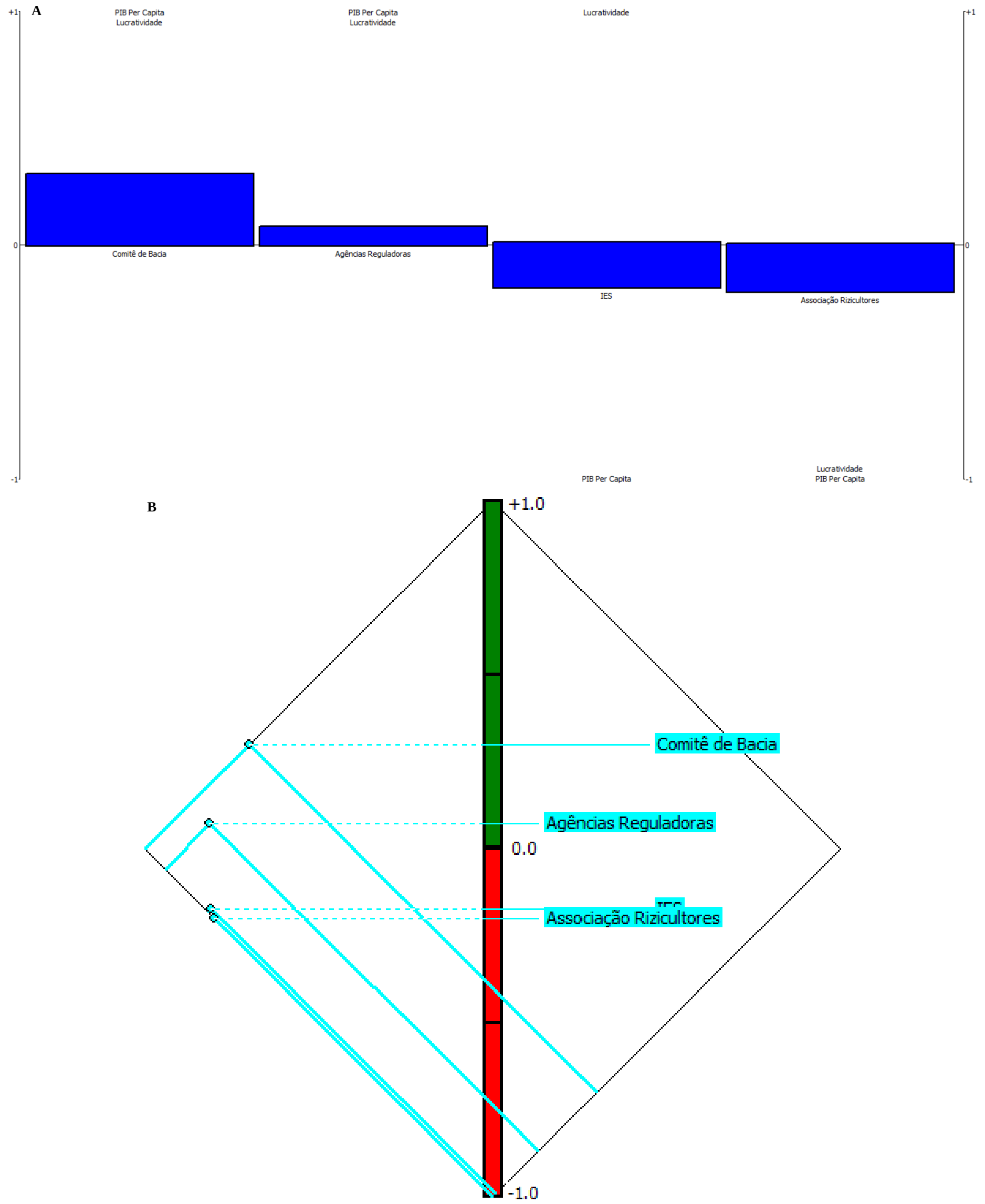
Na dimensão técnica, o comitê de bacia (Grupo 1) e as IES (Grupo 2) tem preferência em relação aos demais grupos, onde os pesos atribuídos ao critério de disponibilidade hídrica prevaleceram junto aos decisores. Nessa dimensão, inclui-se com menor desempenho os pesos dos critérios atribuídos às agências reguladoras e a associação de rizicultores (Figura 52). Em termos de peso, disponibilidade hídrica variou de  $<1,00$  (Grupo 2) a  $>0,62$  (Grupo 4). O bom desempenho atribuído às alternativas 1 (Grupo 1) e 2 (Grupo 2) se dá pelo fluxo positivo alcançado com o critério de disponibilidade hídrica.

Na dimensão social, as agências reguladoras (Grupo 3) têm preferência em relação aos demais grupos, onde os pesos atribuídos aos critérios de IDHM e índices de saneamento prevaleceram junto aos decisores deste grupo. Nessa dimensão, inclui-se e empatam com menor desempenho o comitê de bacia, as IES e as associações de rizicultores (Figura 53). Em termos de peso médio dos critérios, o IDHM variou de  $<0,75$  (Grupo 1) a  $>0,5$  (Grupo 4), enquanto que o índice de saneamento foi de  $<0,75$  (Grupo 3) a  $>0,25$  (Grupo 4). O bom desempenho atribuído à alternativa 3 (Grupo 3) se dá pelo ranking de preferência das alternativas por decisor (Figura 47B).

Na dimensão ambiental o comitê de bacia (Grupo 1), as IES (Grupo 2) e as agências reguladoras (Grupo 3) têm preferência sobre as associações de rizicultores, onde os pesos atribuídos à dependência hídrica e qualidade da água prevaleceram (Figura 54). Em termos de peso médio dos critérios, a dependência hídrica variou de  $<0,87$  (Grupo 1) a  $>0,62$  (Grupo 4), enquanto que qualidade da água foi atribuído peso de  $<1,0$  (Grupo 3) a  $>0,62$  (Grupo 4).

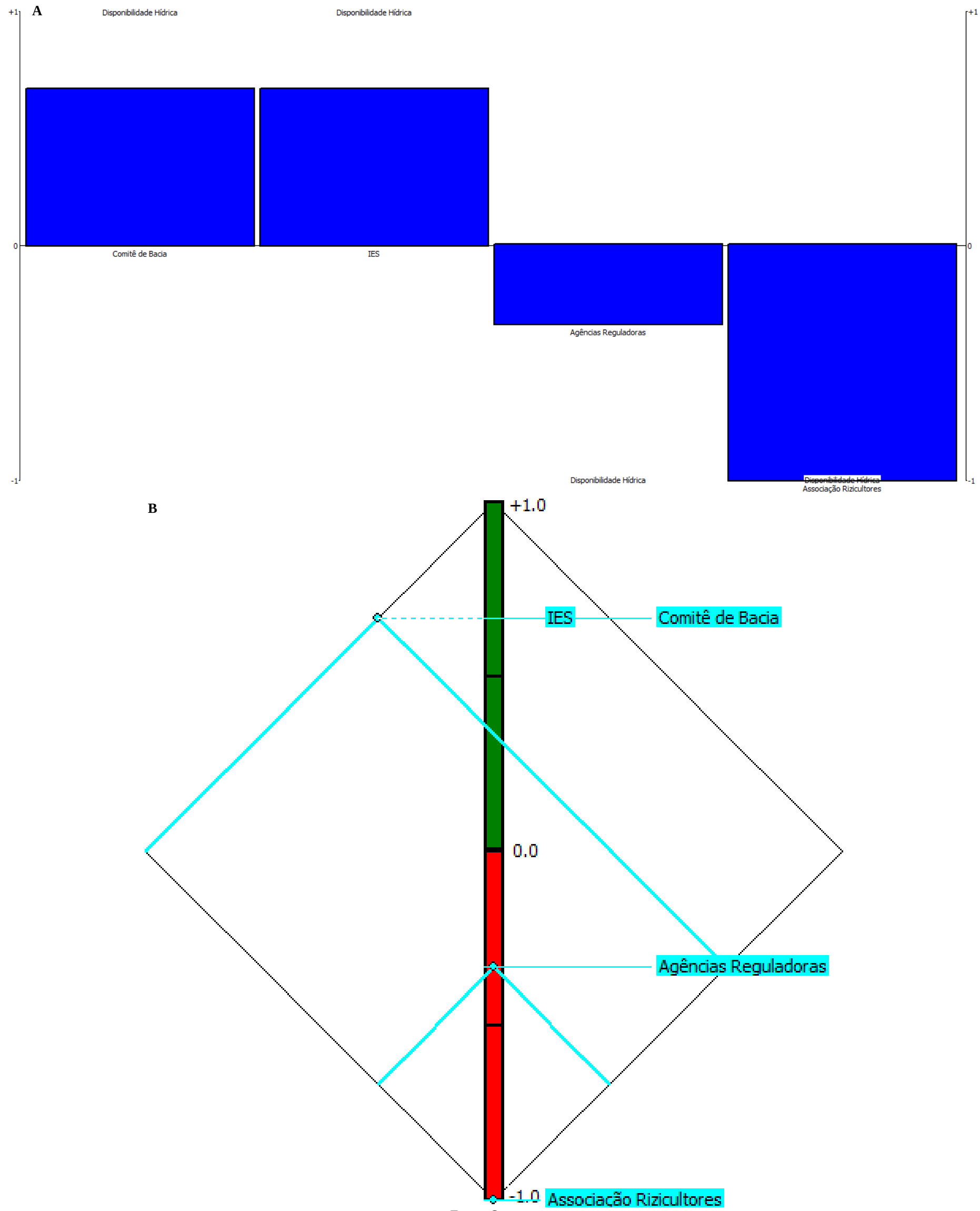
Na dimensão legal o comitê de bacia e as IES tem preferência em relação às associações de rizicultores e as agências reguladoras, considerando os pesos atribuídos à vazão máxima outorgável (Figura 55), cujo pesos variam de  $<0,83$  (Grupo 1) a  $>0,25$  (Grupo 4).

Figura 51 - Influência dos critérios da dimensão econômica no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão econômica (B).



Fonte: O autor.

Figura 52 - Influência dos critérios da dimensão técnica no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão técnica (B).



Fonte: O autor.

Figura 53 - Influência dos critérios da dimensão social no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão social (B).

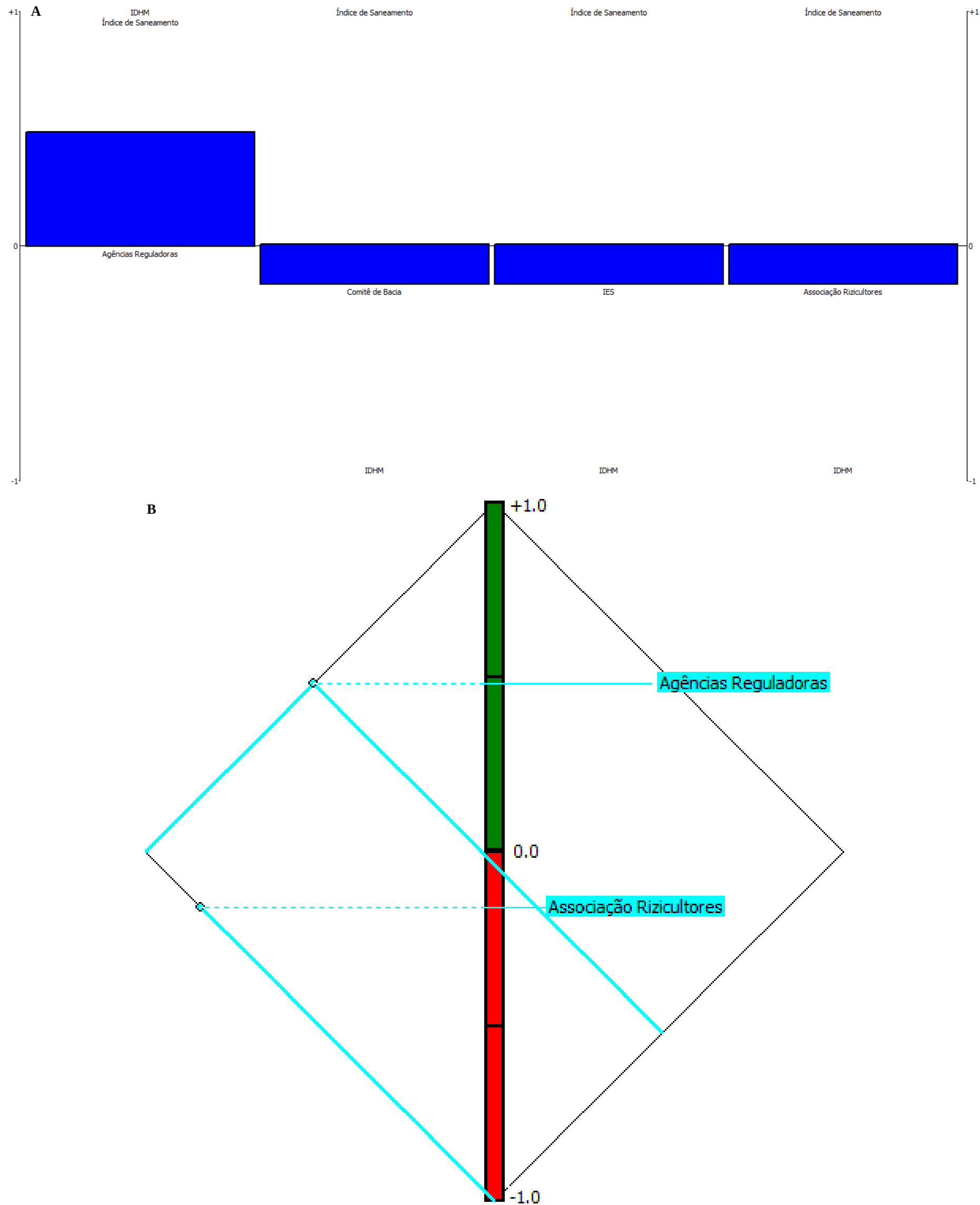
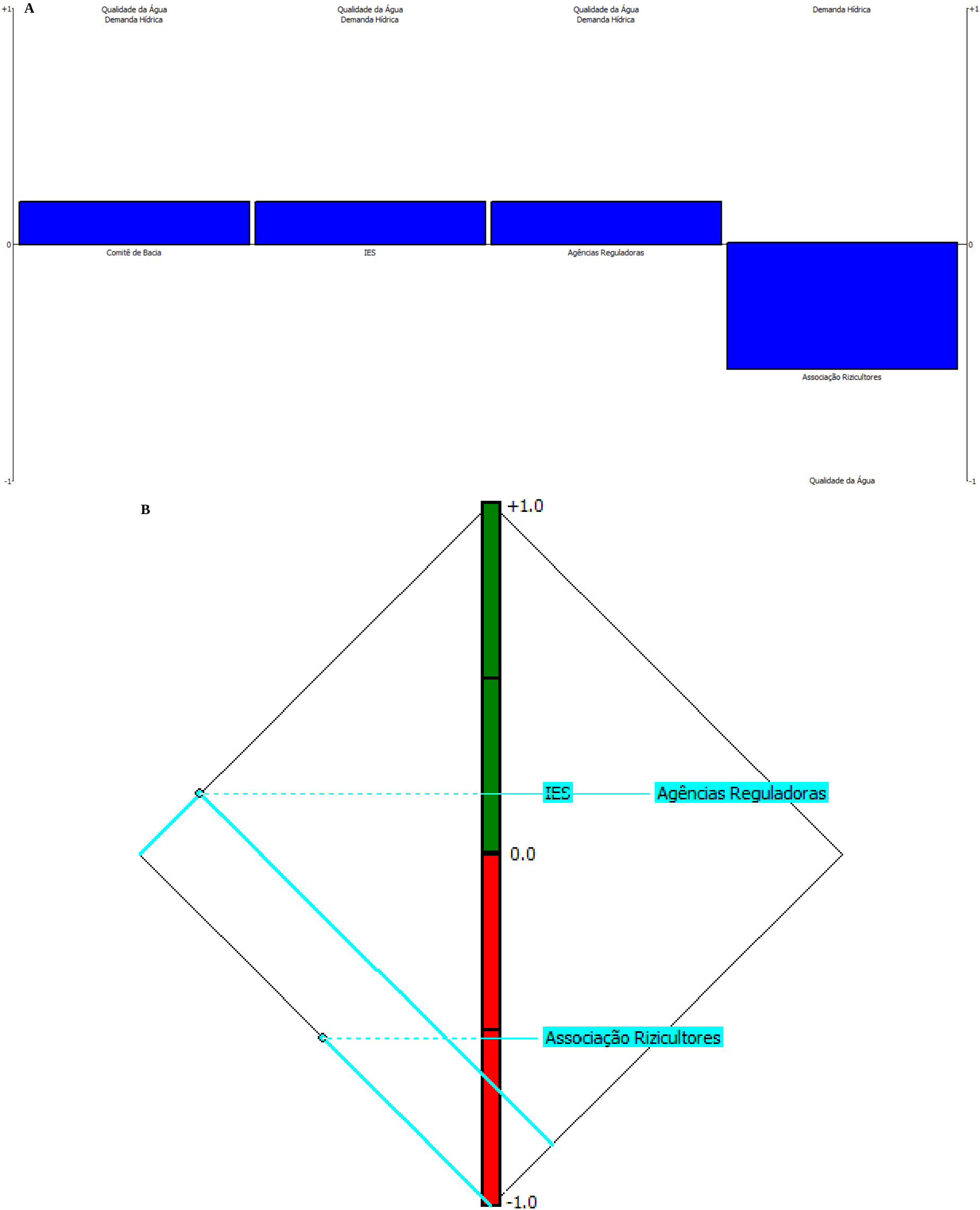


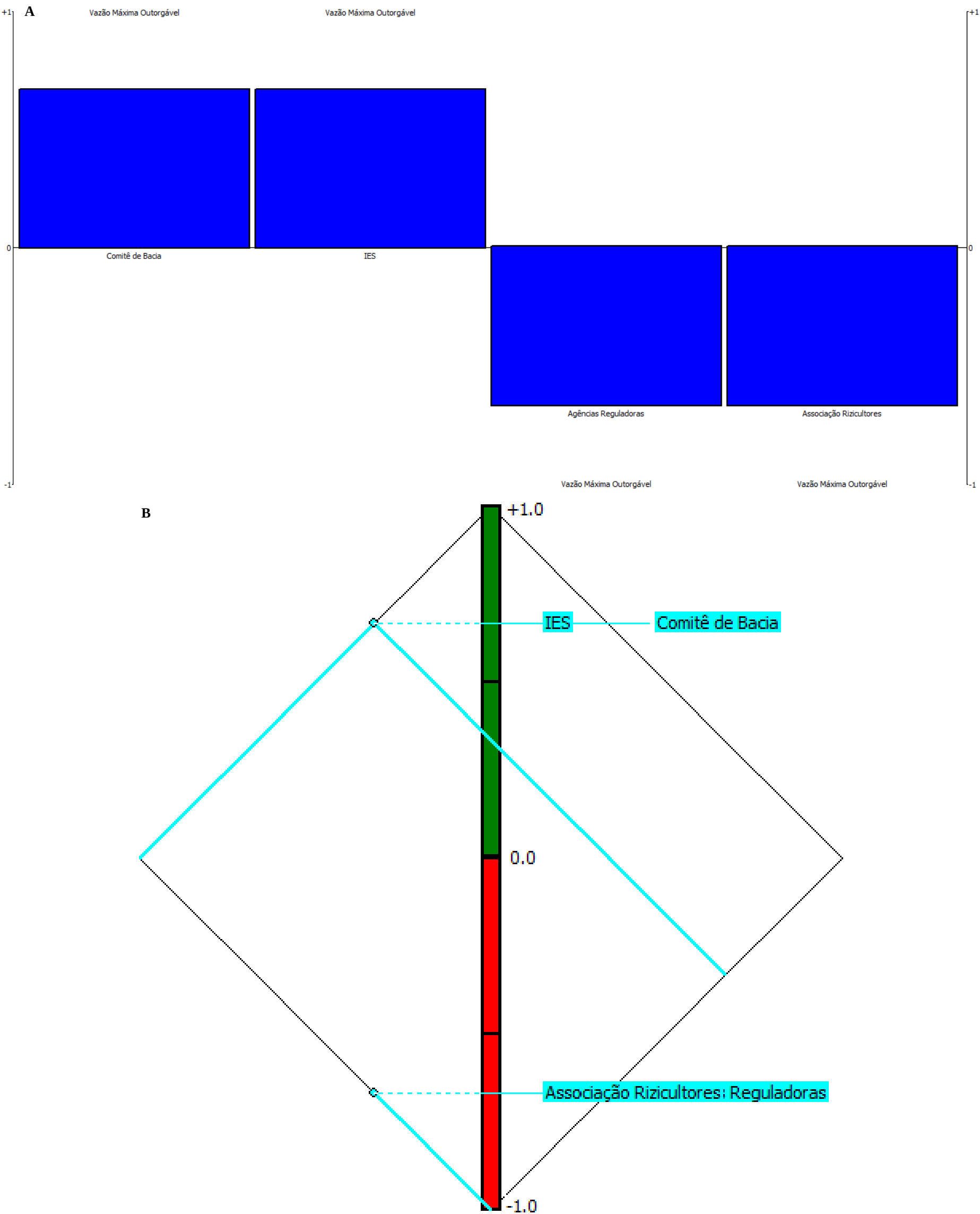


Figura 54 - Influência dos critérios da dimensão ambiental no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão ambiental (B).



Fonte: O autor.

Figura 55 - Influência dos critérios da dimensão legal no desempenho das alternativas (A) e ranking das alternativas para a dimensão legal (B).



Fonte: O autor.

De modo geral, a análise por dimensão permitiu concluir que a alternativa 1 (Grupo 1) formada pelos decisores do comitê de bacias, priorizaram os maiores pesos às dimensões técnica (disponibilidade hídrica), seguida da ambiental (dependência hídrica e qualidade da água) e legal (vazão máxima outorgável); e em menor razão as dimensões social (IDHM e índice de saneamento) e econômica (PIB per capita e lucratividade).

A alternativa 2 (Grupo 2 - IES) estabeleceram maiores pesos nas dimensões técnica, seguida da legal e ambiental. Os menores valores atribuídos foram para as dimensões social e econômico. Para a alternativa 3 (Grupo 3) das agências reguladoras, deu destaque a dimensão ambiental (qualidade da água), seguida da técnica (disponibilidade hídrica) e social (índice de saneamento).

Por outro lado, a alternativa 4 formada pelo grupo das associações dos rizicultores atribuíram pesos médios que variaram de  $<0,62$  (dimensões técnica e ambiental) a  $>0,25$  (dimensões legal e social (índice de saneamento)). Este grupo (alternativa 4) deu maior destaque aos critérios das dimensões econômica (PIB per capita), técnica (disponibilidade hídrica) e ambiental (dependência hídrica e qualidade da água).

De maneira geral, é interessante ressaltar que possivelmente outros indicadores poderiam ter sido considerados na análise, como também outras alternativas de solução incorporadas, o que obviamente modificaria o resultado final da análise, bem como sua fragilidade na obtenção dos pesos dos indicadores.

Por fim, dependendo do perfil dos decisores envolvidos em uma análise multicriterial, outros resultados poderão ser obtidos para o ranking das alternativas por dimensão, uma vez que cada decisor vê o problema de forma diferente, conforme sua percepção, valores, objetivos e experiências.

## CONCLUSÃO

Esta pesquisa abordou a temática água, componente de discussão de governos, técnicos, gestores, pesquisadores e da população em geral. Buscou-se contribuir com o processo de análise de outorga de direito de uso de água na bacia do rio Araranguá, e consequentemente no Estado de Santa Catarina que está em operação, porém, ainda carece de aperfeiçoamentos.

Em termos de qualidade da água nos subsistemas que integram a bacia do rio Araranguá, os resultados das análises realizadas nesta pesquisa indicam que as águas superficiais têm atendido alguns tipos de uso, porém, dependendo da finalidade, apresenta restrições. Nos subsistemas Manoel Alves e Itoupava, a qualidade das águas apresenta, em sua maioria, parâmetros físico-químicos que permitem enquadrar em Classes 1, 2, 3 e 4. Na região do Mãe Luzia, ficou evidente tanto nas análises físico-química e microbiológicas como no teste permanova a separação em duas regiões, tendo o rio Sangão como o mais poluído na bacia do rio Araranguá. Na região do Baixo Araranguá, os níveis de salinidade na água classificaram em salobra, o que pode vir limitar o seu uso.

Dos parâmetros analisados na água, podemos destacar os coliformes termotolerantes, fósforo, nitrogênio total, manganês, pH, OD e DBO que estão em desacordo a Resolução Conama 357/2005, limitando algumas finalidades de uso. Entre as possíveis causas dos parâmetros que se encontram em desacordo com a legislação, estão o tipo de uso e cobertura do solo, o uso de fertilizantes na agricultura, a característica geogênica do substrato geológico e dos solos da região, os impactos da DAM e o lançamento de efluentes domésticos e industriais fora dos limites normativos.

O IQA das amostras analisadas indicou que os subsistemas do Itoupava variaram de ótima a boa e no Manoel Alves em boa. No subsistema do Mãe Luzia variou de ótima a aceitável e no Baixo Araranguá em boa a aceitável. Nesta pesquisa, observou-se que a aplicação IQA mostrou-se insatisfatória, pois os parâmetros analíticos utilizados no cálculo desconsideram alguns indicadores de poluição, como o grupo dos inorgânicos. Por outro lado, o estabelecimento das classes de água por meio da Resolução Conama 357/2005 possibilitou a definição de usos das águas, e corroborou como critério de qualidade de água na análise multicriterial.

As vazões médias determinadas nas estações fluviométricas e nos subsistemas que integram a bacia do rio Araranguá apresentaram similaridade na sazonalidade. Observou-se que as vazões de escoamento tendem a aumentar gradativamente a partir de outubro a março, com pico no mês de fevereiro. A partir de abril, dá-se início ao período de estiagem, atingindo os

menores fluxos de vazão média nos meses de junho a julho. A vazão média de longo período determinada na bacia do rio Araranguá foi de 169,24 m<sup>3</sup>/s.

A determinação das vazões mínimas de referência sazonais obtidas na bacia do rio Araranguá trouxe importantes informações para tomada de decisão no processo de análise de outorga de uso de água. A disponibilidade hídrica estimada pela  $Q_{7,10}$ , nos períodos mensal e trimestral em comparação a  $Q_{7,10}$  anual foram superiores em todos os meses e trimestres. A análise trimestral das séries históricas da  $Q_{7,10}$ , conforme as estatísticas dos testes de KS e AD, demonstrou que as distribuições Weibull (Wb2 e Wb3), Log-Normal (LN3) e Pearson III foram as que melhor se ajustaram. No entanto, a distribuição Log-Normal (LN3) é a que apresentou maior chance de não rejeição da hipótese nula  $H_0$ .

As diferenças relativas entre as vazões mínimas de referência sazonais e as de base anual foram mais expressivas nos 1º e 4º trimestres e nos meses de outubro a março nas vazões de permanência  $Q_{98}$ ,  $Q_{95}$  e  $Q_{90}$ , tanto nas seis estações fluviométricas quanto na bacia do rio Araranguá.

A adoção das vazões de permanência trimestral e mensal da  $Q_{90}$  como vazão de referência, em substituição a  $Q_{90}$  anual, aumenta em 6,6% e 22,5%, respectivamente, a vazão passível de ser outorgada pelos usuários de água, considerando as seis estações fluviométricas. Na bacia do rio Araranguá, a adoção da  $Q_{90}$  (trimestral e mensal) como vazão de referência, em substituição a  $Q_{90}$  anual, aumenta em 5,45% e 44,12%.

A garantia de atendimento às diferentes finalidades de uso de água e de forma racional na bacia do rio Araranguá passa pela flexibilização de  $Q_{90}$  anual para a  $Q_{90}$  mensal e  $Q_{90}$  trimestral, o que poderá permitir também a expansão do atendimento a novas demandas hídricas, especialmente nas bacias do rio Itoupava, Mãe Luzia e Baixo Araranguá.

A metodologia utilizada para estimar as demandas de abastecimento humano, animal e irrigação permitiu estimar os consumos destes setores nos subsistemas. Os usos não consuntivos identificados foram a aquicultura, lançamento de efluente, drenagem e desassoreamento de rio. Verificou-se que dos usos consuntivos, 76,51% se destinam a irrigação nas regiões das bacias do Itoupava, Manoel Alves e Mãe Luzia. A média anual da demanda hídrica superficial na bacia do rio Araranguá é de 13,19 m<sup>3</sup>/s.

A estimativa de balanço hídrico de água superficial na bacia permitiu verificar baixo consumo entre os meses de fevereiro a agosto, o que permitiria a expansão para novas demandas hídricas, especialmente nos subsistemas do Itoupava, Mãe Luzia e Baixo Araranguá. Constatou-se, ainda, que nos meses de setembro a janeiro ocorre consumo intensivo de água para atendimento à irrigação, fato que justifica a flexibilização da retirada de água para

atendimento a este setor, adotando as vazões mínimas sazonais ( $Q_{90}$  mensal e trimestral) estimadas nesta pesquisa.

De forma geral, observou-se no balanço hídrico acumulado que a adoção da  $Q_{90}$  trimestral como vazão mínima de referência traz uma situação mais confortável no atendimento as diferentes demandas de água. A situação mais crítica ocorre na bacia do Manoel Alves, onde a adoção da  $Q_{90}$  trimestral não atende as demandas atuais, especialmente no 1º, 3º e 4º trimestres.

A aplicação do método multicriterial Promethee mostrou-se eficaz no auxílio à tomada de decisão para avaliação do grau de importância dos critérios testados a partir dos pesos definidos pelos decisores. A proposta da metodologia procurou inserir uma abordagem mais participativa de atores da bacia a partir do uso de critérios em diferentes dimensões. Foi observado que no processo decisório um dos principais aspectos foi a escolha das ponderações dos pesos.

As alternativas e critérios adotados e testados nesta pesquisa permitiram que não só os aspectos quantitativos, mas também as características qualitativas, tivessem seu impacto mensurado na definição do ranking dos decisores e dos grupos. Os decisores que responderam ao formulário encaminhado atribuíram maiores pesos aos critérios nas dimensões técnico (disponibilidade hídrica) e ambiental (dependência hídrica e qualidade da água). Não houve variações significativas nas posições das alternativas entre os grupos. O grupo com maior contribuição (Grupo 1 - Comitê de bacia) permaneceu na primeira posição no ranking entre grupos.

Na análise das dimensões se destacam a técnica e a ambiental com os critérios disponibilidade hídrica, qualidade da água e dependência hídrica. De maneira geral, constatou-se que a solução para o problema desta pesquisa parte da participação dos agentes que atuam na gestão e gerenciamento dos recursos hídricos na bacia, pois estes possuem conhecimento de causa dos problemas e conflitos pelo uso da água e podem contribuir no processo de tomada de decisão, tendo em vista que foram avaliados vários critérios e escolha de alternativa.

Do ponto de vista metodológico, as soluções da análise multicritério incorporam em sua medida final de ordenamento todos os critérios usados, e as alternativas que superam as demais com maior frequência tendem a ser melhor posicionadas na escala de ordenamento.

De forma corroborativa, a inclusão de novas dimensões e critérios no processo de análise de outorga de uso de água superficial permitiu ter um olhar amplo da importância da água como recurso essencial a economia dos municípios integrantes da bacia do rio Araranguá. A disponibilidade e qualidade da água superficial foram os dois critérios que tiveram maior

destaque entres os decisores. Isso mostra a necessidade de preservar os recursos hídricos em toda a extensão da rede de drenagem, pois o desequilíbrio destes dois critérios limita o uso da água e consequentemente o atendimento das diferentes demandas na bacia.

Por fim, a contribuição desta tese se configura como uma ferramenta importante que pode ser utilizada pela gestão pública em busca de direcionar melhor suas ações de investimento em contextos que necessitam de maior atenção e discussão por parte de todos os atores sociais e institucionais. Resultados mais consistentes podem ser obtidos desde que seja incluída a participação dos atores sociais na ponderação e escolha dos critérios, ou ainda no uso de outras funções de preferência que o método Promethee adota.

### **Recomendações da pesquisa**

É importante ressaltar as limitações a que está sujeita esta pesquisa e, nessa perspectiva, sugerir algumas recomendações:

- Estudar a flexibilização da retirada de água superficial para atendimento à demanda da cultura do arroz no período de safra, a partir de vazões mínimas de referência sazonais menos restritivas, como a  $Q_{80}$  e  $Q_{70}$ ;
- Estudar uma proposta para determinar as vazões mínimas de referência que considerem a diferença da retirada de água superficial em atendimento às demandas na bacia do rio Araranguá;
- Testar outros critérios para o processo de análise de outorga, como a geração de emprego e de renda, a expansão do atendimento a demanda, a lucratividade da indústria e da pecuária, e a possibilidade de erosão hídrica;
- Testar outros métodos de auxílio à tomada à decisão, como a família dos métodos Electre, o modelo VIP-Analysis e o método MecModel;
- Idealizar um programa que conjuga as diferentes dimensões abordadas nessa tese, ou seja, integrar os resultados do método Promethee com resultados obtidos para  $Q_{90}$  mensal e/ou trimestral. Como os resultados exprimam 'pesos' normalizados de -1 a +1, poder-se-ia vislumbrar um modelo, a qual incorpore estes pesos junto ao cálculo de vazão de referência, seja por unidade espacial, ou temporal.

## REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA (1987) **NBR 9897** - Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro.
- ABNT. (1987) **NBR 9898** - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro.
- ADAM, J. I. **Gestão de recursos hídricos numa perspectiva de sustentabilidade: uma proposta**. 2008. 216f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 2008.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2002). **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília. 2002.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2005). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. ANA, Brasília. 2005.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2011). **Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Cadernos de capacitação em recursos hídricos. Brasília. v. 6, 2011.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2015). **Nota Técnica N° 56/2015/SPR**: Atualização da base de demandas de recursos hídricos no Brasil. ANA, 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2017). **Conjuntura dos recursos hídricos: Informe 2017**. Brasília, 2017.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2018). **Situação da água no mundo**. Brasília. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>>. Acesso em: 20 Jan. 2021.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2019). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019a.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2019). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: Informe anual**. Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2019b.
- ANDRADE, E.P.; FIGUEIRÊDO, M.C.B.; SANTOS, T.L.; NUNES, A.B.A. Regionalização de fatores de escassez hídrica em sub-bacias cearenses. Revista DAE. São Paulo. v. 68, n. 224. p. 122-134. 2020.
- ALEXANDRE, N. Z. **Análise integrada da qualidade das águas da bacia do rio Araranguá (SC)**. 2000. 300f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.
- ALEXANDRE, M. B.; AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M.; BALTAR, R. L. L. Sistema de suporte à decisão para a outorga de direitos de uso da água no Brasil. **Série Água Brasil 2**. Brasília, DF, 2003.



ALMEIDA, M. A.; CURI, W. F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. **Revista Ambiente e Água**, Tabuaté, v. 11, n. 4, p. 989-1005, 2016.

ALMEIDA, M. A. **Integração de modelos de outorga, cobrança e análise multicriterial e multidecisor: uma aplicação na bacia do rio Paraíba-PB**. 2016. 235f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, 2017.

ANDREU, J; CAPILLA, J; SANCHÍS, E. AQUATOOL: A generalized decision support system for water-resources planning and management. **Journal of Hydrology**, v. 177, n. 3-4, p. 269-291. 1996.

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecol**, v. 26, n. 1, p. 23-46, 2001.

ANDERSON, M. J. & WILLIS, T. J. Canonical Analysis of Principal Coordinates: A useful method of constrained ordination for ecology. **Ecology**, v. 84, n. 2, p. 511-525, 2003.

ARAI, F. K. **Crerios para concessão de outorga e eficiência do uso dos recursos hídrics pela irrigação**. 2014. 103f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Mato Grosso do Sul, 2014.

ARAÚJO, A. G. de; ALMEIDA, A. T. de. Apoio à decisão na seleção de investimentos em petróleo e gás: uma aplicação utilizando o método PROMETHEE. **Gestão & Produção**, v.16, n.4, p. 534-543, 2009.

ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development. **Journal of the American water resources association**, v. 34, n. 1, p. 73-89, 1998.

APHA (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20<sup>th</sup> ed. Washington 1998.

AZEVEDO, L. G. T.; PORTO, R. L. L.; PORTO, M. Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: Metodologia e estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídrics**, Porto Alegre, v.3, n.1, p.21-51, 1998.

AZEVEDO, L. G. T.; REGO, M. F.; BALTAR, A. M.; PORTO, R. Sistema de suporte à decisão para outorga de direitos de uso da água no Brasil: uma análise da situação brasileira em alguns estados. **Bahia Análise & Dados**, Salvador - BA. v.13, p. 481-496, 2003.

BACK, Á. J. **Caracterização Climática**. Curitiba: ed. [s.l.] Mineração de Carvão, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável no Sul de Santa Catarina, 2009.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina** (com programa HidroChuSC para cálculos). Florianópolis, Epagri, 2013.

BACK, Á. J.; SOUZA, G.S. GALATTO, S.L.; PEREIRA, J.R. Análise de vazões máxima do rio Mãe Luzia, Forquilha, Santa Catarina. III Encontro Nacional de Desastres, Rio de Janeiro (ISSN 2764-9040), 2023.

BALTAR, A. M., AZEVEDO, L. G. T., RÊGO, M., PORTO, R. L. L. Sistemas de Suporte à Decisão para Outorga de Direitos de Uso da Água no Brasil. In: **Série Água Brasil**. World Bank, Brasília, 2003.

BARBOSA, L.A.D.; ALCOVER NETO, A.; SOBRAL, L.G.S. **Caracterização Tecnológica de rejeitos da indústria carbonífera visando seu aproveitamento sustentado**. CT 2002-046-00. Contribuição Técnica ao XIX ENTMME - Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa. Em: **Anais do XX ENTMME - Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Recife, Pernambuco, 2002, 9p.

BARBOSA, R. L. **Outorga hídrica sob a ótica da análise multicriterial. Estudo de Caso: Reservatório Coremas-Mãe D'água - PB**. 2008. 160f. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil e Ambiental). Universidade de Capina Grande, Campina Grande, 2008.

BARROS, C. G. D. B.; PESSOA, F. C. L.; SANTANA, L. R.; LOPES, Y. K. L.; COSTA, C. E. A. S. Vazão mínima  $Q_{7,10}$  no Amapá estimada por modelos probabilísticos. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 03, p. 284-294, 2018.

BAUCKE, A. S.; ZAMBÃO, P. H.; SERBENT, M. P. Monitoramento de variáveis microbiológicas para avaliação da balneabilidade de uma praia do Norte Catarinense. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 20, n. 1, p. 62 - 72, 2016.

BAZZO, K. R.; GUEDES, H. A. S.; CASTRO, A. S.; SIQUEIRA, T. M.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A. Regionalização da vazão  $Q_{95}$ : comparação de métodos para a bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 12, n. 5, p. 855-870. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). doi: 10.4136/ambi-agua.2032.

BENITES, L. L. L.; POLO, E. F.; A sustentabilidade como ferramenta estratégica empresarial: governança corporativa e aplicação of the triple bottom line in masisa. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 6, Edição Especial, p. 827-841, 2013.

BRAGA, H. J.; GHELLRE, R. Proposta de diferenciação para o Estado de Santa Catarina. In: **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 11. Reunião Latino Americana de Agrometeorologia**. Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis: Epagri, 1999. 1 CD-ROM.

BRANS, J. P.; PH VINCKE. A Preference Ranking Organisation Method. **Management Science**, v. 31, n. 6, p. 647-656, 1985.

BRANS, J. P.; VINCKE, P. H.; MARESCHAL, B. How to select and how to rank project: The PROMETHEE method. **European Journal of Operational Research**, v. 24, p. 228-238, 1986.

BRASIL. **Lei Federal n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos,

regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. **Resolução n. 30/2002 - CNRH**. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Define a metodologia para codificação de bacias hidrográficas no âmbito nacional. Brasília, 2002.

BRASIL. **Resolução n. 32/2003 - CNRH**. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Institui a divisão hidrográfica nacional. Brasília, 2003.

BRASIL. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BIJANI, M.; HAYATI, D. Water conflict in agricultural system in Iran: A Human Ecological Analysis. **Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 2, n 2, p. 27-40, 2011.

BRIERLEY, G. J. Landscape memory: the imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. **Journal compilation. Royal Geographical Society**, v. 42, n. 1, p 76-85. 2010.

BRITO, F. B. **Conflitos pelo acesso e uso da água: integração do rio São Francisco com a Paraíba (Eixo Leste)**. 2013. 370f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2013.

CABRAL, A. L. A. **Análise dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos no estado de Minas Gerais**. 2015. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal FLA, Minas Gerais, 2015.

CAMPOS, N.; STUDART, T. **Gestão de Águas: princípios e práticas**. 2ª Edição. Fortaleza: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

CARDOSO DA SILVA, L. M.; MONTEIRO, R. A. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: uma das possíveis abordagens. In: MACHADO, C. J. S. (Org.). **Gestão de Águas Doces**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. Cap. 5, p. 135-178.

CARDOSO, A. T.; FAN, F. M.; FRANZEN, M.; SIMÃO, G.; TROIAN, G. C. Surface water resources of Santa Catarina state's southern region – geochemical background of the coal mining territory. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.27, e41, p. 1-13, 2022. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220084>.

CARVALHO, M. A.; JÚNIOR, A. V. M.; SCHARDONG, A.; PORTO, R. L. L. Sistema de suporte à decisão para alocação de água em projetos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n.1, p. 10-17, 2009.

CARVALHO, J. R. M., CURI, W. F., LIRA, W. S. Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 91-105, 2013.

CARVALHO, J. R. M., CURI, W. F., LIRA, W. S. Construção de um índice de sustentabilidade hidro-ambiental através da análise multicritério: estudo em municípios paraibanos. In: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. (org.). **Gestão Sustentável de Recursos Naturais: uma abordagem participativa**. Editora da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, p.31-73, 2013.

CARVALHO, J. R. M. **Sistema de indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma abordagem através dos métodos multicritério e multidecisor**. 2013. 256f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2013.

CATALUNHA, M. J. **Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da Q<sub>7,10</sub> para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual**. 2004. 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2004.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO / AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO - CETESB/ANA. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Organizadores: Carlos Jesus Brandão ... [et al.]. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011.

CETESB. **Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: 2016.

CETESB. **Apêndice E - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: 2016.

CETESB. **Qualidade das águas superficiais no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2016.

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2018 [recurso eletrônico]**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2019a. (Série Relatórios / ISSN 0103 4103).

CETESB. **Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2018 [recurso eletrônico]: Apêndice D - Índices de qualidade das águas**. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2019b.

CHAFFIN, B.C.; MAHLER, R.L.; WULFHORST, J.D.; SHAFII, B. Collaborative watershed groups in three pacific northwest states: a regional evaluation of group metrics and perceived success. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 48, n. 1, p. 113-122. 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2011.00599.x>>. Acesso em: 15 Fev. 2022.

CHANYA, A.; PRACHAAK, B.; NGANG, T. K. Conflict management on use of watershed resources. Elsevier. ScienceDirect. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 136, 481-485, 2014.

CHEN, C.; GAO, M.; XIE, D.; NI, J. (2016). "Spatial and temporal variations in non-point source losses of nitrogen and phosphorus in a small catchment in the Three Gorges Region." *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(257).

COAN, B.; BACK, À. J.; BONETTI, A. V. Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ed. 0, v. 15, 122-142, 2014.  
COLLISCHONN, B. **Sistema de apoio à decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2014. 196f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2014.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Portal de informações agropecuárias**. Mapeamento de arroz irrigado. 2019.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, n. 3, p. 75-91, 2005.

CUPAK A. Initial results of nonhierarchical cluster methods use for low flow grouping. **Journal of ecological Engineering**, Poland, v. 18, n. 2, p. 44-50, 2017.

CURTARELLI, M. P.; TUCCI, C. E. M.; RAGGHianti, V.; GUIMARÃES, V. Sustentabilidade Hídrica Urbana: O caso de Santa Catarina. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 15, n. 13, 15 pág., 2018.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. Distribuição de água no planeta. São Paulo: DAEE, 2006.

D'ISEP, C. F. M. **Água juridicamente sustentável**. 2006. 441f. Tese (Doutorado em Direito). Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo. 2006.

DUSSAILLANT, I.; BERTHIER, E.; BRUN, F.; MASIOKAS, M.; HUGONNET, R.; FAVIER, V.; RABATEL, A.; PITTE, P.; RUIZ, L. Two decades of glacier mass loss along the Andes. **Nature Geoscience**, v. 12, p. 802-808, 2019.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RUBERT, O. A. V.; SANTOS, R. M. Regionalização hidrológica na bacia do alto São Francisco à Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n.2, p.81-105, 2001.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais - Estudo de caso. **Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 71/72, p. 42-50, 2006.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Meio Ambiente e Carvão: Impactos da exploração e utilização. Cadernos de Planejamento e Gestão Ambiental. nº2. Porto Alegre, 2002. p. 15-66.

FERNANDES, A. L. T., NOGUEIRA, M. A. S., RABELO, P. V. Escassez e qualidade da água no século 21. **Informe Agropecuário**, v. 29, n. 246, p. 86-101, 2008.

FERRAZ, A. R. G.; BRAGA JR, B. P. F. Modelo decisório para a outorga de direito ao uso da água no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 1, p. 5-19, 1998.

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Usos dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n.1, p.28-35, 2010.

FONSECA, H. S.; SALVADOR, N. N. B. Estudo integrado da qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Bonito em Descalvado - SP. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 64, n. 2, p. 179-185, 2005.

FOSTER, S.; GARDUÑO, H. Sustainable Groundwater Management. Lessons from Practice. Resolving the conflict over rural groundwater use between drinking water and irrigation supply in Tamil Nadu, India. **The World Bank: Global Water Partnership Associate Program**. p. 1-12, 2004.

GASQUES, A. C. F.; MEVES, G. L.; SANTOS, J. D.; OKAWA, C. M. P.; MAUAD, F. F. Regionalização de vazões mínimas: Breve revisão teórica. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, p. 60-70, 2018.

GETIRANA, A. C. V. **Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear**. 2005. 146f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

GILLIAMS, S.; RAYMAEKERS, D.; MUYS, B. Comparing multiple criteria decision methods to extend a geographical information system on afforestation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 49, p. 142-158, 2005.

GOMES, F. C.; SIMÕES, S. J. C. Simulação de modelagem quantitativa para avaliação preliminar da qualidade da água na bacia do Ribeirão das Perdizes em Campos do Jordão/SP, como subsídio ao enquadramento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.19, n. 3, p. 309-326, 2014.

GOMES, M. L.; HOKE, G.; AMBROSIO, D.; MOREIRAS, S.; CASTRO, A. Review: Hydrogeology of Northern Mendoza (Argentina), from the Andes to the eastern plains, in the context of climate change. **Hydrogeology Journal**, v. 30, p. 725-750, 2022.

GONÇALVES, R.W.; PINHEIRO, P.R.; FREITAS, M.A. de S. **Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do rio Curu - Estado do Ceará**. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba, 23-27 de novembro de 2003.

GOWER, J.C. 1971. A general coefficient of similarity and some of its properties. **Biometrics**, 27623–637, 1971.

GROSSO, V. Conceitos e enfoques dominantes na gestão hídrica do oasis norte da província de Mendoza - Argentina. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, n. 31, p. 79-92, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 15 mar.2023.

JACOBI, P. R. Governança da água no Brasil. In: RIBEIRO, W. C. (org.). **Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar**. São Paulo: Annablume, Fapesc, CNPq, p. 35-59, 2009.

JUNIOR, O. B. S.; BUENO, E.; TUCCI, C. E. M.; CASTRO, N. M. R. Extrapolação espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, p. 21-37, 2003.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X Meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores**. Porto Alegre: Editora Universidade. UFRGS, 103 pg. 2000.

KREMER, D.K. The past, present, and future of water conflict and international security. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 149, n. 1, p. 87-95. 2012.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. Cap. 19. p. 744. TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade – UFRGS, 2015.

LENZI, Ervim. **Introdução à química da água**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

LIMA, J. B. M. (2004). **Estudo de redes de monitoramento de qualidade das águas superficiais - o caso da bacia do rio Descoberto**. 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade de Brasília. 2004.

LISBOA, L. **Sistema para análise das outorgas de captação de água e diluição de efluentes na bacia do rio Piracicaba-MG**. 2014. 108p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, MG. 2014.

LISBOA, L.; CORRÊDO, L. P.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; MOREIRA, M. C. Estimativa e regionalização das vazões mínimas anuais e quadrimestrais na Bacia do Piracicaba-MG. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v.10, n.18, p. 1580-1592, 2014.

LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. A alocação de água como instrumento de gestão dos recursos hídricos: experiências brasileiras. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2007.

LOPES, T. R.; PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do Rio Ivaí-PR. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 1, p. 188-201, 2016.

LUCAS, A.A.T.; FOLEGATTI, M.V.; DUARTE, S.N. Qualidade da água em uma microbacia hidrográfica do Rio Piracicaba, SP. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 937-943, 2010.

LUCHESI E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E., **Fundamentos da química do solo: teoria e prática**. Freitas Bastos Editora. 2º Edição. Rio De Janeiro, RJ. 2002.

LUIZ, S. F.; FERNANDES, W. D. S.; JUNIOR, D. S. R. Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 4, p. 231-241, 2013.

MACHADO, É. C. M.; GALVÃO, C. O.; SOUZA FILHO, F. A. Alocação quali-quantitativa de águas em bacias hidrográficas: metodologia multiobjetivo inserida no contexto da gestão dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, p. 1-10, 2012.

MACIEL, A. L.; VIEIRA, E. M.; MONTE MOR, R. C.; VASQUES, A. C. Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, 2019. doi: 10.5380/abclima.v24i0.58420.

MACHARIS, C.; BRANS, J.P.; MARESCHAL, B; The GDSS Promethee procedure: a Promethee-Gaia based procedure for group decision support. **Journal of Decision Systems**. v.7. p.283-307, 1998.

MARQUES, F. A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos**. 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

MARQUES, F. A., SILVA, D. D., RAMOS, M. M., PRUSKI, F. F. AQUORA - Sistema Multi-usuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 14, n. 4, p. 51-69, 2009.

MASIOKAS, M.; CARA, L.; VILLALBA, R.; PITTE, P.; LUCKMAN, B.; TOUM, E.; CHRISTIE, D.; LE QUESNE, A.; MAUGET, S. Streamflow variations across the Andes (18°-55°S) during the instrumental era. **Sci Rep Nature Geoscience**, v. 9, p. 178-179, 2019.

MATIAS, F. J. N. **Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande\_UPGRH-GD8**. 2018. 105f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. 2018.

MATZENAUER, H. B. **Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2003. 636f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003.

MCKINNEY, D. C. **Technical report International Survey Of Decision Support Systems For Integrated Water Management. Support to Enhance Privatization, Investment, and Competitiveness in the Water Sector of the Romanian Economy (SEPIC)** – IRG Project nº 1673-000, Bucharest, Romania. 67 p., 2004.

MELLO, J. W. V.; ABRAHÃO, W.A.P. Geoquímica da drenagem ácida. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V (ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG, 1998. p. 45-58.

MELO, M. C. D. **Avaliação e proposição de outorga para lançamento de efluentes em corpos d'água**. 2006. 120p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2006.



MERZ, B.; KREIBICH, H.; SCHWARZE, R.; THIEKEN, A. Review article “assessment of economic flood damage”. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [S.l.], v. 10, n. 8, p. 1697-1724, 2010.

MONTE, F. P. **Análise comparativa da importância de vinte açudes na bacia de Sumé - PB com o emprego de métodos multicriterial e multidecisor**. 2013. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2013.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água. **Pesquisa Operacional**, v. 26, n. 3, Rio de Janeiro-RJ, 2006.

MORTATTI, J.; PROBST, J. L.; TARDY, Y. (1994). Avaliação do escoamento superficial na bacia amazônica através do transporte de material fluvial. **Geochimica Brasiliensis**, 8(2), p.235- 243, 1994.

MOHAMMADINEZHAD, S. AHMADVAND, M. Modeling the internal processes of farmers' water conflicts in arid and semi-arid regions: Extending the theory of planned behavior. **Journal of Hydrology**, v. 580, n. 124241, 2020.

MOURA, E. M.; RIGHETTO, A. M.; LIMA, R. R. M. Avaliação da disponibilidade hídrica e da demanda hídrica no trecho do rio Piranhas-Açu entre os açudes Coremas-Mãe D'água e Armando Ribeiro Gonçalves. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 07-19, 2011.

MYSIAKA, J.; GIUPPONIB, C.; ROSATOC, P. Towards the development of a decision support system for water resource management. **Environmental Modelling & Software**. v. 20, p. 203-214. 2005.

MUTIKANGA, H. E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management. **Water Resources Management**. v. 25, p. 3947-3969. 2011.

NAGHETTINI, M., PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. CPRM, Belo Horizonte, Brasil, 2007.

NASCIMENTO, F.M.F.; MENDONÇA, R.M.G.; MACÊDO, M.I.F.; SOARES, P.S.M. **Impactos ambientais nos recursos hídricos da exploração de carvão em Santa Catarina**. Rio de Janeiro, Setembro, 2002. CT-2002 -151-00. Contribuição Técnica elaborada para II Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e II Congresso Brasileiro de Mina Subterrânea. Belo Horizonte, IBRAM. 11p.

OCDE (2015). Governança dos Recursos Hídricos no Brasil. OECD Publishing: Paris, 2015.

OKANA, C. M. P.; POLETO, C. Gerenciamento de recursos hídricos. Capítulo 1. **Bacias hidrográficas e Recursos Hídricos**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

OKSANEN, J.; BLANCHET, F.G.; FRIENDLY, M.; ROELAND KINDT; PIERRE LEGENDRE; MCGLINN, D.; MINCHIN, P.R.; O'HARA, R.B.; SIMPSON, G.L.;

SOLYMOS, P.; STEVENS, M.H.H.; SZOECS, E. & WAGNER, H. 2017. **Vegan**: Community ecology package. R package version 2.4-3.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da Bacia do Rio Grande**. 2008. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2008.

OLIVEIRA, L. F. C.; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB. v. 15, n. 1, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA, J. R.; PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A. Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão entre Ribeiros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n. 4, p. 157-172, 2013.

PAREDES-ARQUIOLA, J., ÁLVAREZ, J. A., & SOLERA, A. **A decision support system for water quality issues in the Manzanares River (Madrid, Spain)**. Science Total Environmental, 408(12), 2576-2589, 2010.

PBDGRHS - Planos de Bacia do Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento. **Fase A - Diagnóstico. Diagnóstico do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Mampituba**. Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRHS). Governo do Estado do Rio Grande do Sul, 2020.

PEREIRA, M.; KAYSER, R. B.; COLLISCHONN, W. Integração do modelo hidrológico para grandes bacias MGB-IPH e sistemas de informação geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **REGA**. v. 9, n. 2, p.21-23, 2012.

PEREIRA, M. A. F; **Regionalização de vazões máximas a partir do hidrograma unitário instantâneo geomorfológico em bacias embutidas na bacia hidrográfica do rio Ijuí – RS, com geometria hidráulica e geometria fractal**. 2015. 104f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PERH/SC - Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina. **Plano de ações do PERH/SC: objetivos, metas e ações**. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDS. Governo de Santa Catarina. 2017.

PIAZI, J.; LOPES, F. A.; AZEVEDO, Ú. R. Qualidade das águas e outorgas superficiais no médio rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 55, p. 828-844, 2018.

PINSKY, V. C.; DIAS, J. L.; KRUGLIANSKAS, I. Gestão estratégica da sustentabilidade e inovação. **Revista de Administração da UFSM**, v. 6, n. 3, p. 465-480, 2013.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60. 2008.

PRHBRA - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá. **Atividade B2: Cenário hídrico atual**. Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos. Profill, 2014a.

PRHBRA - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá. **Atividade B4: Prognóstico das demandas hídricas.** Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos. Profill, 2014b.

PRHBRA - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá. **Relatório B1: Consolidação das informações sobre recursos hídricos.** Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos. Profill, 2014c.

PRHBRA - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá. **Relatório Etapa C: elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá.** Profill, 2015.

PROMETHEE. Based Visual Promethee Software. Operational Research Society, version Education - 0.99.99.1.12, London, 2012.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, R. D. G.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; SINGH, V. P. Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 808-816, 2015.

RAMOS, P. R. **Modelo para outorga de uso da água utilizando a metodologia multicritério de apoio à decisão: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Cubatão do Sul.** 2005. 280f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2005.

RANGEL, L. A. D.; GOMES, L. F. A. M.; MOREIRA, R. A. Decision Theory With Multiple Criteria: An Application of Electre IV and Todim to SEBRAE/RJ. **Revista Pesquisa Operacional**, v. 29, n. 3, p. 577-590, 2009.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, 2017.

REGO, F. S. **Regionalização de vazões considerando a evapotranspiração real em seu processo de formação.** 2013. 62f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2013.

REIS, J. A. T.; GUIMARÃES, M. A.; BARRETO NETO, A. A.; BRINGHENTI, J. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana. **Revista Geociências**, v.21, n.4, p. 509-516, 2008.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. Loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964. **Relative ao régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution.** Disponível em: <<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006068236&dateTexte=20101007>>. Acesso em: 14 Abr. 2022.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. **Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992.** Sur l'eau. Disponível em: <<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006078514&dateTexte=20101007>>. Acesso em: 14 Abr. 2022.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. **Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006.** Sur l'eau et les milieux aquatiques. Disponível em:

<<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006055130&dateTexte=vig>>. Acesso em: 14 Abril. de 2022.

RODRIGUES, R. B. **Sistema de Suporte a Decisão Proposto para a Gestão Qualitativa dos Processos de Outorga e Cobrança pelo Uso da Água**. 2005. 155f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

RODRIGUES, R. B.; SILVA, L. M. C. ALOC Server. Sistema de alocação de carga e de vazão de diluição para os processos de enquadramento, outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS e 8º SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA**. São Paulo, p. 1-20, 2007.

RODRIGUES, J. R. D. D.; JORGE, A. O. C.; UENO, M. Avaliação da qualidade das águas de duas áreas utilizadas para recreação do Rio Piracuama-SP. **Revista Biociências**, v. 15, n. 2, p. 88-94, 2009.

RODRIGUES, A. C. L.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; BARBOSA, R. L.; CURI, W. F. Um Modelo de Outorga para Bacias Controladas por Reservatórios: 2 - Aplicação do Modelo na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-PB. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 4, p. 83-94, 2011.

ROOZBAHANI, A.; ZAHRAIE, B.; TABESH, M. PROMETHEE with Precedence Order in the Criteria (PPOC) as a New Group Decision Making Aid: An Application in Urban Water Supply Management. **Water Resources Management**, v. 26, p. 3581-3599. 2012.

SALLA, M. R.; ARQUIOLA, J. P.; SOLERA, A.; ÁLVAREZ, J. A.; PEREIRA, C. E.; ALAMY FILHO, J. E.; OLIVEIRA, A. L. Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Uberabinha, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 19, n. 1, p. 189-204, 2014.

SÃO PAULO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE (SMA). COORDENADORIA DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL (CEA). Recursos hídricos. Cadernos de Educação Ambiental (14). São Paulo: SMA/CEA, 2011. 104p. Disponível em: <<https://smastr16.blob.core.windows.net/cea/2014/11/14-recursos-hidricos1.pdf>>. Acesso: 15 Dez. 2021.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual nº 9748, de 30 de novembro de 1994**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Florianópolis, SC, Disponível em: <[http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo\\_visualizar\\_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=238&idMenuPai=235](http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=238&idMenuPai=235)>. Acesso em: 13 de setembro 2023.

SANTA CATARINA. **Lei n. 10.949, de 9 de novembro de 1998**. Legislação Estadual. Recursos Hídricos. Dispõe sobre a caracterização do estado em dez regiões hidrográficas. Santa Catarina, 1998.

SANTA CATARINA. **Estudos dos instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação**. Florianópolis, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável - SDS. Santa Catarina. 2006a.

SANTA CATARINA. **Decreto nº 4.778**, de 11 de outubro de 2006. Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado, de que trata a Lei Estadual nº 9.748, de 30 de novembro de 1994, e estabelece outras providências. Florianópolis, SC, 2006b.

SANTA CATARINA. **Lei Estadual nº 15.249, de 03 de agosto de 2010**. Dispõe sobre a instituição, estruturação e organização do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Florianópolis, SC, Disponível em: <  
[http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo\\_visualizar\\_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=1098&idMenuPai=235](http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=1098&idMenuPai=235)>. Acesso em: 13 de setembro 2023.

SANTOS, H. I.; OLIVEIRA, L. G.; FIOREZE, A. P. Avaliação das vazões alocáveis na bacia hidrográfica do Rio dos Bois e Sub-Bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 11, n. 2, p.47-58, 2006.

SANTOS, R. B. **Avaliação de intervenções hidráulicas na bacia do rio Gramame - PB com o uso das técnicas de análise multiobjetivo e multicriterial**. 2009. 202f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2009.

SANTOS, A. A. M. **Alocação Territorial de Longo Prazo de Vazões Outorgáveis com Diferentes Garantias**. 2015. 202 f. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2010.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C.; Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.3, p. 81-95, 2013.

SCARIOT, M. R. **Modelagem e Simulação Sistêmica de Rios: Avaliação dos Impactos Ambientais no Rio Mogi-Guaçu/SP**. 2008. 249f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2008.

SCARLATTI, V.M; T. Q., J.G.; MARQUES Y. L.N.; GARCIA, M.L. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 38, n. 3, p. 741-754, 2019.

SCHMIDT, D. M.; MATTOS, A. Dinâmica dos regimes de precipitação e vazão da bacia hidrográfica do Alto Piranhas-Açu / PB. **Sociedade e Território, Natal**, v. 25, n. 2, p. 67-77, 2013.

SCHVARTZMAN, A.S., NASCIMENTO, N. de O., VON SPERLING, M. “Outorga e Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos: Aplicação à Bacia do Rio Paraopeba, MG”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 7, n. 1 (Jan/Mar), pp. 103-122, 2002.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. **2ª ed. - Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas**. Brasília, 2000.

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. **Portaria SDS nº 36**, de 29 de julho de 2008a. Estabelece os critérios de natureza técnica para outorga de direito de uso de

recursos hídricos para captação de água superficial, em rios de domínio do Estado de Santa Catarina e dá outras providências. SC, 2008a.

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. **Portaria SDS nº 51**, de 02 de outubro de 2008b. Altera a Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008. SC, 2008b.

SIEGEL. S.M. **Let there be water: Israel's solution for a water-starved world**. New York, 2015.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p.374–380, 2006.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. **REVENG**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG. v. 19, n. 3, p. 244-254, 2011.

SILVA, C. A. A.; PINTO, A. L. Qualidade das águas superficiais do Rio Sucuriú, no município de Três Lagoas/MS. 2013. P. 1-19.

SILVA, E. P. **O uso da água na produção rizícola e a sustentabilidade “hídrica” - caso da Associação de Drenagem e Irrigação Santo Izidoro (ADISI)**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais - Pós-graduação em Ciências Ambientais) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2015.

SILVA, B. M. B; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. Taubaté, SP. v. 10, n. 3, 12p, 2015.

SILVA, S. A. F. **Análise multicritério espacial no gerenciamento dos recursos hídricos no perímetro irrigado de Sumé-PB**. 2016. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária - Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

SILVA, M. B.; HERREROS, M. M. A. G.; BORGES, F. Q. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil. **Revista de Administração**, v. 10, n. 1, p. 101-115, 2017.

SILVA, C. M. **Análise dos conflitos pelo uso da água na bacia hidrográfica do médio Tocantins**. 2019. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Pará. 2019.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa da disponibilidade hídrica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 97-110, 1998a.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998b.

SILVINO, G. S. **Aplicações de Modelos Multicriteriais Hierárquicos e Multidecisores para Alocação de Água no Sistema Curema-açu**. 2008. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade de Campina Grande. Campina Grande-PB, 2008.

SILVINO, G. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Modelos multicriteriais hierárquicos multidecisores com diferentes abordagens de agregação de preferências dos decisores. **GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 8, n. 2, p. 27-42, 2013.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in northern Greece. *Water Research*, Amsterdam, v.37, n.17, p.4.119-24, 2003.

SIOUT. **Sistema de Outorga de Água de Santa Catarina**. Disponível em: <<http://siout.aguas.sc.gov.br/#/>>. Acesso em: 27 Fev. 2023.

SNIS - **SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO** (2021). Disponível em: <<http://antigo.snis.gov.br/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SOUZA, J. R. C. **Hydrology plus: Sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos**. 2017. 145f. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa. Minas Gerais. 2017.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions. American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 903-920, 1957. Disponível em: <<http://www.uvm.edu/pdodds/files/papers/others/1957/strahler1957a.pdf>>. Acesso: 9 Fev. 2020.

STREETER, H. W.; PHELPS, E. B.; A study of the natural purification of the Ohio River. Public Health Bulletin 146, U.S. **Public Health Service**, Washington, 1925.

SRHU e FUNARBE. **Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil**. Relatório Técnico, 2011.

TARIGAN, H.; DHARMWAN, A.H.; TJONDRONEGORO, S.; SURADISASTRA, K. **Conflict of water resources and marginalization subak**: Case studies in Tabanan Bali. *International Journal of Research in Social Sciences*, v. 4, n. 4, p. 96-106, 2014.

TRINDADE, L. L.; HOORRNBECK, J. Gestão colaborativa de bacias hidrográficas nos Estados Unidos: uma possibilidade de melhoria para a realidade brasileira. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro. v. 25, n. 5. 2020. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522020000500767&lng=en&nrm=iso](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522020000500767&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 7 Fev. 2022.

TSOUKIAS, A. From decision theory to decision aiding methodology. **European Journal of Operational Research**. v. 187, p. 138-161, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**, Ed. Universidade /UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1998.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS. 2002.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH. v. 4. 2015.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Model**. DWR-1042. 204p., 1987.

VASCO, A. N.; NETO, A. O. A.; PRUSKI, F.F. Impactos das barragens na disponibilidade hídrica do Nordeste do Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, v. 38, n. 2, 39-49, 2017.

VERDEGEM M. C. J; BOSMA. R. H. Water withdrawal for brackish and inland aquaculture, and options to produce more fish in ponds with present water use. **Water Policy 11 supplement** 1, p. 52-68. 2009.

VON SPERLING, M. **Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, e Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. UFMG, 1998.

VON-SPERLING, M. **Urban wastewater treatment in Brazil**. Minas Gerais: IDB, 2016.

WANG, S.; HUANG, H. H. Interactive two-stage stochastic fuzzy programming for water resources management. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 1986-1995, 2011.

WELCH, C. **How cape town is coping with its worst drought on record**. 2018. Disponível em: <<https://news.nationalgeographic.com/2018/02/cape-town-running-out-of-water-drought-taps-shutoff-other-cities/>>. Acesso em: 22 Jul. 2020.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Geneva. International conference on water and the environment: development issues for the 21st century, 26-31 January 1992, Dublin, Ireland: the Dublin statement and report of the conference. Dublin, 1992.

WURBS, R. A. Assessing water availability under a water rights priority system. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 127, p. 235-243. 2001.

WURBS, R. A. Modeling river/reservoir system management, water allocation, and supply reliability. **Journal of Hydrology**, v. 300, p. 100-113. 2005.

ZORZAL, E. R. **Estratégia para o Desenvolvimento de Aplicações Adaptativas de Visualização de Informações com Realidade Aumentada**. Uberlândia: UFU, 2009. 192f. Tese (Doutorado) – Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

ZUFFO, A. C.; REIS, L. F. R.; SANTOS, R. F.; CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n. 1, p. 81-102, 2002.



**APÊNDICE(S)**

## **APÊNDICE A - Formulário de pesquisa**

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                               |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE<br><b>DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO</b><br><b>PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS</b><br><b>DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS</b> |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

## FORMULÁRIO DE PESQUISA

1. Instituição vinculada: \_\_\_\_\_
2. Área de atuação: \_\_\_\_\_
3. Formação Acadêmica: \_\_\_\_\_

Esta pesquisa de doutorado tem como objetivo estudar e propor uma metodologia para avaliação da emissão de outorga de uso de água superficial na bacia hidrográfica do rio Araranguá, sul de Santa Catarina.

Os principais usos de água superficial na bacia são: abastecimento humano; consumo pecuário (criação animal); consumo agrícola (irrigação de culturas sazonais); abastecimento industrial; aquicultura; mineração; e lançamento de efluentes, sendo geridos por meio do instrumento da outorga.

Desta forma, procurou-se elencar alguns critérios que podem ser importantes no processo decisório de emissão de outorga de uso de água superficial. Os critérios foram agrupados em cinco dimensões: técnica (um), econômica (dois), legal (um), social (dois) e ambiental (dois).

Dentro de seu ponto de vista, gostaríamos que avaliasse a importância relativa de cada um dos critérios que foram elencados para esta pesquisa nas cinco dimensões. Para avaliação adotar-se-á uma escala de cinco valores: desprezível (0,0); baixo (0,25); médio (0,50); alto (0,75); muito alto (1,0).

Para cada critério consta uma descrição de seu significado para esta pesquisa. O objetivo é verificar o peso que este critério pode produzir na dimensão a que pertence, buscando com isso uma melhor compreensão no estabelecimento da sua importância no processo de análise de outorga de direito de uso de água.

Desde já gostaríamos de agradecer sua colaboração para com o desenvolvimento desta pesquisa.

## AVALIAÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS CRITÉRIOS PARA CONCESSÃO DE OUTORGA

Assinale um “X” no espaço que represente o grau de importância mais adequado com relação a cada uma das dimensões e critérios, estando relacionados à outorga de água superficial na bacia hidrográfica do rio Araranguá.

### 1. Critério relacionado a dimensão técnica:

| Critério                | Grau de importância |       |       |      |            | Descrição do critério                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Disponibilidade hídrica |                     |       |       |      |            | Relação entre as demandas de uso de água de cada finalidade e a quantidade de água superficial disponível na bacia hidrográfica. A disponibilidade hídrica considerada nesta pesquisa são as vazões mínimas de referência sazonais (Q <sub>90</sub> mensal, Q <sub>90</sub> trimestral e Q <sub>90</sub> anual). |

### 2. Critérios relacionados a dimensão econômica:

| Critérios      | Grau de importância |       |       |      |            | Descrição do critério                                                                                                                                                      |
|----------------|---------------------|-------|-------|------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |                                                                                                                                                                            |
| Lucratividade  |                     |       |       |      |            | Estimada pelo resultado da diferença entre a renda bruta total auferida e os custos de produção das atividades do setor agrícola dos municípios da bacia do rio Araranguá. |
| PIB per capita |                     |       |       |      |            | Definido por meio da razão entre o valor do Produto Interno Bruto (PIB) e a população residente nos municípios da bacia do rio Araranguá.                                  |

## 3. Critério relacionado a dimensão legal:

| Critério                | Grau de importância |       |       |      |            | Descrição do critério                                                                                                           |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                         | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |                                                                                                                                 |
| Vazão máxima outorgável |                     |       |       |      |            | Vazão mínima de referência (50% da Q <sub>90</sub> anual) estabelecida no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá. |

## 4. Critérios relacionados a dimensão social:

| Critérios                                         | Grau de importância |       |       |      |            | Descrição do critério                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                   | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |                                                                                                                                                                                                                                    |
| Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) |                     |       |       |      |            | Renda municipal per capita ou a renda média de cada residente por município.                                                                                                                                                       |
| Índice de Saneamento                              |                     |       |       |      |            | Considerado dois índices do Sistema Nacional sobre Informações de Saneamento (SNIS) dos municípios da bacia do rio Araranguá: a) Índice (%) de atendimento urbano de água; b) Índice (%) de domicílios urbanos com rede de esgoto. |

## 5. Critérios relacionados a dimensão ambiental:

| Critérios                     | Grau de importância |       |       |      |            | Descrição do critério                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|---------------------|-------|-------|------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                               | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Dependência (demanda) hídrica |                     |       |       |      |            | Percentual (%) do volume de água consumida por tipo de usuário em relação ao total da demanda de água                                                                                                                                                                                                               |
| Qualidade da água             |                     |       |       |      |            | A variação ou o comprometimento da qualidade da água superficial é definida nesta pesquisa por dois critérios:<br>a) Classes das águas superficiais (Classe 1, 2, 3 e 4) conforme parâmetros da Resolução Conama 357/2005; b) Índice de Qualidade das Águas (IQA) que varia de péssimo, ruim, regular, boa e ótima. |

## 6. Na sua opinião, qual a ordem de importância (sendo um mais importante e cinco menos importante) das cinco dimensões no processo de avaliação de outorga de uso de água superficial.

| Avaliação das Dimensões | Grau de importância |       |       |      |            |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|------|------------|
|                         | Desprezível         | Baixo | Médio | Alto | Muito Alto |
| Técnica                 |                     |       |       |      |            |
| Econômica               |                     |       |       |      |            |
| Legal                   |                     |       |       |      |            |
| Social                  |                     |       |       |      |            |
| Ambiental               |                     |       |       |      |            |

**APÊNDICE B - Resultados das análises de qualidade das águas superficiais nas estações de amostragem, classificados conforme Resolução CONAMA n° 357/2005**

| Unidades de Gestão     | Estações Amostragem | SHR    | Data     | Tem Ar | Tem Água | pH   | ORP     | OD   | CE     | Vazão   | Coliformes Termotolerantes | Fósforo Total | Cálcio | Magnésio | Potássio | DBO  | Nitrogênio Total | SDT    | SST   | ST     | Turbidez | Salinidade | Acidez Total | Sulfatos | Ferro Total | Manganês | Alumínio |
|------------------------|---------------------|--------|----------|--------|----------|------|---------|------|--------|---------|----------------------------|---------------|--------|----------|----------|------|------------------|--------|-------|--------|----------|------------|--------------|----------|-------------|----------|----------|
|                        |                     |        |          | °C     | °C       |      | mV      | mg/l | uS/cm  | (L/s)   | NMP/100 mL                 | mg/l          | mg/l   | mg/l     | mg/l     | mg/l | mg/l             | mg/l   | mg/l  | mg/l   | mg/l     | mg/l       | mg/l         | mg/l     | mg/l        | mg/l     | mg/l     |
| Bacia do Rio Mãe Luzia | EA-01-ML            | SHR-08 | 26/08/21 | 16,8   | 15,8     | 6,7  | 284     | 7,3  | 32,4   | 87,0    | 79,0                       | <0,02         | 4,2    | 1,54     | 0,2      | <1   | <0,1             | 45     | 230   | <18,1  | 0,9      | 0,012      | 4,47         | 5,00     | 0,06        | 0,01     | 0,1      |
|                        |                     |        | 27/01/22 | 24,5   | 20,7     | 7,04 | 80      | 6,2  | 32,7   | 147,0   | 170                        | <0,02         | 13,1   | 2,52     | 0,2      | 2    | 3,6              | 30     | 25    | 55     | 0,4      | 0,013      | 4,50         | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        | EA-02-ML            | SHR-02 | 26/08/21 | 15,9   | 18,4     | 6,6  | 334     | 8,9  | 41,4   | 194,0   | 1400,00                    | <0,02         | 4,2    | 2,0      | 0,3      | <1   | <0,1             | <18,1  | <18,1 | <18,1  | 4,0      | 0,016      | 4,47         | 5,00     | 0,44        | 0,03     | 0,10     |
|                        |                     |        | 27/01/22 | 25,1   | 25,7     | 6,98 | 81      | 6,2  | 41,7   | 334,0   | 1300,00                    | 0,03          | 11,3   | 2,63     | 0,4      | 2    | 4,6              | 37     | <18,1 | 43     | 1,6      | 0,016      | 4,50         | 5,00     | 0,20        | 0,02     | 0,10     |
|                        | EA-03-ML            | SHR-08 | 26/08/21 | 15,6   | 19,0     | 3,2  | 431     | 8,3  | 900    |         | 79,00                      | <0,02         | 83,2   | 14,96    | 1,4      | <1   | 0,6              | 591    | 97    | 688    | 72,4     | <0,001     | 133,70       | 443,00   | 25,94       | 2,34     | 5,70     |
|                        |                     |        | 27/01/22 | 23,6   | 27,8     | 3,53 | 410     | 5,8  | 800    |         | 330                        | <0,02         | 80,8   | 12,4     | 1,3      | 1,0  | 1,0              | 502    | 41    | 543    | 44       | 0,358      | 75,30        | 326,40   | 14,94       | 1,69     | 3,20     |
|                        | EA-04-ML            | SHR-08 | 26/08/21 | 16,6   | 19,4     | 3,6  | 554     | 4,8  | 699    | 15049,7 | 49,00                      | <0,02         | 62,6   | 7,86     | 1,7      | <1   | 8                | 457    | 20    | 477    | 4,9      | <0,001     | 68,20        | 297,50   | 1,34        | 1,49     | 2,80     |
|                        |                     |        | 26/01/22 | 34,0   | 32,5     | 4,34 | 340     | 4,1  | 400    | 26323,6 | 23                         | <0,02         | 36,6   | 6,8      | 1,6      | <1   | 4,5              | 216    | 47    | 263    | 1,5      | 0,167      | 27,10        | 142,60   | 0,32        | 1,17     | 1,80     |
|                        | EA-05-ML            | SHR-08 | 26/08/21 | 17,0   | 19,3     | 3,0  | 528     | 5,4  | 1000,0 |         | <1,8                       | <0,02         | 55,9   | 15,04    | 3,0      | 1,00 | 5,2              | 571    | <18,1 | 578    | 21,1     | <0,001     | 163,60       | 387,50   | 13,60       | 2,26     | 8,40     |
|                        |                     |        | 26/01/22 | 29,2   | 30,3     | 2,91 | 545     | 3,6  | 800    |         | <1,8                       | <0,02         | 45,7   | 8,69     | 1,8      | <1   | 1,6              | 376    | 24    | 400    | 4,4      | 0,374      | 131,00       | 289,00   | 5,49        | 1,57     | 8,40     |
|                        | EA-06-ML            | SHR-08 | 26/08/21 | 20,1   | 19,5     | 3,7  | 459     | 5,1  | 8500   |         | 2,0                        | <0,02         | 74,5   | 173,73   | 26,5     | <1   | 3,5              | 4917   | 119   | 5036   | 7,9      | 0,002      | 80,40        | 575,20   | 1,36        | 0,74     | 2,60     |
|                        |                     |        | 26/01/22 | 34,8   | 30,3     | 4,55 | 386     | 3,2  | 1800   |         | 4,5                        | <0,02         | 30,6   | 29,74    | 5,6      | <1   | 1                | 909    | 24    | 933    | 1,5      | 0,883      | 27,60        | 150,20   | 0,34        | 0,59     | 1,30     |
|                        | EA-07-ML            | SHR-06 | 15/07/21 | 18,5   | 18,0     | 6,8  | 206     | 8,2  | 48,5   | 5,0     | 460                        | <0,02         | 4,8    | 2,24     | 0,5      | <1   | 1,0              | 53     | <18,1 | 54     | 4,5      | 0,02       | 4,47         | 5,00     | 0,23        | 0,01     | 0,20     |
|                        |                     |        | 27/01/22 | 23,6   | 24,2     | 6,94 | 151     | 6,0  | 42,1   | 4,0     | 16000                      | <0,02         | 12,6   | 3,44     | 0,8      | 1,0  | 7,3              | 77     | 23    | 100    | 6,2      | 0,016      | 4,50         | 5,20     | 0,64        | 0,06     | 0,40     |
|                        | EA-08-ML            | SHR-06 | 15/07/21 | 20,0   | 19,0     | 2,9  | 463     | 5,8  | 1145   | 781,0   | <1,8                       | <0,02         | 58,4   | 7,72     | 2,4      | <1   | 6,8              | 777    | 38    | 815    | 35,2     | 0,542      | 441,48       | 356,80   | 47,70       | 2,25     | 25,60    |
|                        |                     |        | 03/02/22 | 30,8   | 29,3     | 2,49 | 601,83  | 4,5  | 1200   | 787,0   | <1,8                       | <0,02         | 51,5   | 7,61     | 2,2      | 6    | 5,6              | 587    | 174   | 761    | 32,6     | 0,576      | 310,80       | 484,00   | 41,89       | 2,22     | 22,40    |
|                        | EA-09-ML            | SHR-06 | 15/07/21 | 20,0   | 18,0     | 2,8  | 522     | 3,5  | 1220   | 2931,0  | <1,8                       | <0,02         | 50,9   | 9,06     | 2,3      | <1   | 6,1              | 782    | 80    | 862    | 15,5     | 0,579      | 426,08       | 363,00   | 31,32       | 1,90     | 20,10    |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 32,0   | 28,2     | 2,92 | 589,11  | 4,8  | 900    | 3678,0  | <1,8                       | <0,02         | 48,8   | 8,77     | 2,1      | 2    | 6,3              | 398    | 116   | 514    | 10,7     | 0,427      | 174,20       | 312,80   | 14,34       | 1,80     | 14,60    |
|                        | EA-10-ML            | SHR-03 | 22/07/21 | 11,0   | 14,0     | 6,8  | 255,00  | 8,0  | 23,3   | 114,0   | 13,0                       | <0,02         | 3,7    | 1,36     | 0,2      | <1,0 | 1,3              | 35,00  | <18,1 | 44,00  | 0,4      | 0,008      | 4,47         | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 19,5   | 17,2     | 7,26 | 295,06  | 7,0  | 24,8   | 1302,0  | 40                         | <0,02         | 6,0    | 1,55     | 0,2      | 3    | 0,3              | <18,1  | <18,1 | 30     | 0,4      | 0,008      | 4,5          | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        | EA-11-ML            | SHR-07 | 22/07/21 | 24,0   | 18,0     | 6,9  | 253     | 7,1  | 19,6   | 52,0    | 2,0                        | <0,02         | 2,7    | 1,08     | 0,2      | <1,0 | 1,0              | <18,1  | <18,1 | <18,1  | 0,9      | 0,007      | 4,47         | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 23,8   | 19,7     | 6,71 | 387,75  | 6,6  | 20,6   | 582,0   | 33                         | <0,02         | 12,6   | 2,23     | 0,2      | 2    | 1,6              | <18,1  | <18,1 | 27     | 0,8      | 0,007      | 4,5          | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,1      |
|                        | EA-12-ML            | SHR-01 | 22/07/21 | 19,0   | 16,0     | 4,6  | 280     | 7,7  | 159,7  | 163,0   | <1,8                       | <0,02         | 19,3   | 4,36     | 0,5      | <1,0 | 1,3              | 192    | 45    | 237    | 10,2     | 0,071      | 44,10        | 83,20    | 8,66        | 0,62     | 4,50     |
|                        |                     |        | 27/01/22 | 26,3   | 26,2     | 4,82 | 186     | 6,2  | 134,8  | 159,0   | 4,5                        | <0,02         | 24,3   | 5,08     | 0,6      | 2    | 1,6              | 150    | <18,1 | 168    | 11,6     | 0,058      | 25,6         | 77,6     | 6,96        | 0,54     | 2,6      |
|                        | EA-13-ML            | SHR-04 | 22/07/21 | 24,8   | 20,2     | 6,7  | 254     | 7,6  | 8,2    | 10,0    | 490,0                      | 0,16          | 7,2    | 4,8      | 1,8      | 1,00 | 1,9              | 158,00 | 74,00 | 232,00 | 143,8    | 0,002      | 10,65        | 8,1      | 7,68        | 0,44     | 13,8     |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 26,8   | 19,5     | 6,5  | 434,90  | 4,6  | 42,4   | 61,0    | 1700                       | <0,02         | 12,2   | 2,83     | 0,5      | 3    | 1,6              | 67     | <18,1 | 78     | 21,4     | 0,017      | 5,50         | 5,00     | 3,13        | 0,14     | 0,60     |
|                        | EA-14-ML            | SHR-05 | 29/07/21 | 6,5    | 10,9     | 7,6  | 228     | 10,7 | 28,1   | 214,0   | 4,5                        | <0,02         | 4,5    | 1,51     | 0,2      | 1,00 | <0,1             | 34,00  | <18,1 | 37,00  | 0,1      | 0,01       | 4,47         | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 21,4   | 12,7     | 7,33 | 284,38  | 7,4  | 26,9   | 1247,5  | 79                         | <0,02         | 17     | 2,81     | 0,2      | 2,00 | 4,6              | < 18,1 | 49    | 53     | 0,2      | 0,009      | 17           | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                        | EA-15-ML            | SHR-05 | 29/07/21 | 15,8   | 11,8     | 7,4  | 239     | 7,6  | 183,3  | 20,0    | 68                         | <0,02         | 29,8   | 15,1     | 0,9      | 3,00 | 0,3              | 161,0  | 34,0  | 195,0  | 1,5      | 0,081      | 4,47         | 23,1     | 0,23        | 0,03     | 0,10     |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 28,9   | 24,1     | 7,34 | 269,075 | 5,1  | 45,6   | 2019,0  | 3500                       | <0,02         | 5,5    | 2,26     | 0,4      | 3    | 4,0              | 33,0   | 21,0  | 54,0   | 1,9      | 0,018      | 4,5          | 5,00     | 0,31        | 0,03     | 0,1      |
|                        | EA-16-ML            | SHR-07 | 29/07/21 | 12,2   | 9,0      | 7,4  | 273     | 8,2  | 65,2   | 520,0   | 790                        | <0,02         | 8,2    | 3,84     | 2        | 4,00 | 1,9              | 142,0  | 127,0 | 269,0  | 208,8    | 0,077      | 5,1          | 5,6      | 6,36        | 0,09     | 7,2      |
|                        |                     |        | 02/02/22 | 30,4   | 18,9     | 7,09 | 303,33  | 6,5  | 42,5   | 2320,0  | 490                        | <0,02         | 13,3   | 2,99     | 0,7      | 3    | 0,3              | <18,1  | <18,1 | <18,1  | 9,2      | 0,016      | 4,5          | 5,00     | 1,49        | 0,05     | 0,3      |
|                        | EA-17-ML            | SHR-07 | 29/07/21 | 17,8   | 14,7     | 7,2  | 230     | 5,4  | 75,4   |         | 1300                       | <0,02         | 8,1    | 4,09     | 2,1      | 4,00 | <0,1             | 192,0  | <18,1 | 200,0  | 111,8    | 0,032      | 4,8          | 7,5      | 5,04        | 0,08     | 6,0      |
|                        |                     |        | 26/01/22 | 36,7   | 32,8     | 7,02 | 95      | 3,7  | 56     |         | 700                        | <0,02         | 13,3   | 3,59     | 0,6      | <1   | 1,6              | 35     | <     |        |          |            |              |          |             |          |          |



| Unidades de Gestão               | Estações Amostragem | SHR    | Data     | Tem Ar | Tem Água | pH   | ORP   | OD   | CE    | Vazão   | Coliformes Termotolerantes | Fósforo Total | Cálcio | Magnésio | Potássio | DBO  | Nitrogênio Total | SDT   | SST   | ST    | Turbidez | Salinidade | Acidez Total | Sulfatos | Ferro Total | Manganês | Alumínio |
|----------------------------------|---------------------|--------|----------|--------|----------|------|-------|------|-------|---------|----------------------------|---------------|--------|----------|----------|------|------------------|-------|-------|-------|----------|------------|--------------|----------|-------------|----------|----------|
|                                  |                     |        |          | °C     | °C       |      | mV    | mg/l | uS/cm | (L/s)   | NMP/100 mL                 | mg/l          | mg/l   | mg/l     | mg/l     | mg/l | mg/l             | mg/l  | NTU   | mg/l  | NTU      | ‰          | mg/l         | mg/l     | mg/l        | mg/l     | mg/l     |
| Unidades de Gestão               | EA-28-IT            | SHR-14 | 12/10/21 | 25,60  | 23,80    | 8,6  | 184,8 | 7,7  | 23,8  | 960,0   | 130,0                      | <0,02         | 0,80   | 0,65     | 0,10     | 2,00 | 2,6              | 43    | <18,1 | 61    | 5,87     | 0,009      | 4,47         | 5,00     | 0,19        | 0,01     | 0,2      |
|                                  |                     |        | 23/03/22 | 19,10  | 19,10    | 7,19 | 261   | 6,2  | 27,1  | 171,0   | 170,0                      | <0,02         | 2,17   | 0,87     | 9,60     | 2,00 | 2,0              | <18,1 | 26    | 42    | 2,8      | 0,009      | 4,5          | 5,00     | 0,177       | 0,01     | 0,167    |
|                                  | EA-29-IT            | SHR-14 | 12/10/21 | 21,20  | 18,20    | 6,4  | 142   | 7,0  | 38,4  |         | 2400,0                     | <0,02         | 0,70   | 0,64     | 0,30     | 3,00 | 3,3              | 50    | <18,1 | 51    | 55,5     | 0,015      | 4,47         | 5,00     | 0,61        | 0,02     | 0,8      |
|                                  |                     |        | 23/03/22 | 18,90  | 21,30    | 6,96 | 267   | 6,0  | 42,4  |         | 490,0                      | <0,02         | 3,65   | 1,44     | 11,80    | 2,00 | 2,0              | 36    | 36    | 72    | 6,5      | 0,016      | 4,5          | 5,00     | 1,089       | 0,01     | 0,179    |
|                                  | EA-30-IT            | SHR-15 | 06/10/21 | 16,90  | 21,20    | 7,3  | 187   | 8,3  | 22,5  |         | 79,0                       | <0,02         | 2,50   | 1,11     | 0,20     | 2,00 | <0,1             | <18,1 | 19    | 32    | 1,6      | 0,008      | 4,47         | 5,00     | 0,13        | 0,01     | 0,1      |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 27,70  | 23,30    | 7,54 | 377   | 7,6  | 27,6  | 1822,0  | 22,0                       | <0,02         | 2,60   | 1,36     | 0,40     | 2,00 | 2,6              | 55    | <18,1 | 58    | 1,4      | 0,01       | 4,5          | 5,00     | 0,13        | 0,01     | 0,1      |
|                                  | EA-31-IT            | SHR-16 | 06/10/21 | 23,60  | 16,70    | 7,3  | 199   | 8,1  | 18,4  | 530,0   | 68,0                       | <0,02         | 2,40   | 0,85     | 0,20     | 2,00 | <0,1             | <18,1 | <18,1 | <18,1 | 0,6      | 0,006      | 4,47         | 5,00     | 0,06        | 0,01     | 0,1      |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 27,60  | 22,10    | 7,58 | 357   | 6,6  | 19,6  | 959,0   | 330,0                      | <0,02         | 2,40   | 1,00     | 0,30     | 2,00 | 1,6              | 28,0  | <18,1 | 33    | 0,6      | 0,006      | 4,5          | 5,00     | 0,13        | 0,01     | 0,10     |
|                                  | EA-32-IT            | SHR-17 | 06/10/21 | 24,30  | 18,90    | 7,2  | 244   | 8,5  | 25,6  | 909,0   | 790,0                      | <0,02         | 2,90   | 1,42     | 0,30     | 2,00 | <0,1             | 35,0  | <18,1 | 36    | 6,6      | 0,009      | 4,47         | 5,00     | 0,44        | 0,02     | 0,3      |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 33,70  | 27,80    | 7,35 | 360   | 4,2  | 35,3  | 2237,0  | 700,0                      | <0,02         | 4,00   | 1,83     | 0,50     | 2,00 | 1,3              | 42,0  | <18,1 | 58    | 4,1      | 0,013      | 4,5          | 5,00     | 0,78        | 0,05     | 0,2      |
|                                  | EA-33-IT            | SHR-18 | 06/10/21 | 25,30  | 20,60    | 6,9  | 348   | 7,6  | 21,7  | 341,0   | 2,0                        | <0,02         | 2,80   | 1,13     | 0,30     | 2,00 | <0,1             | 24    | <18,1 | 30    | 29,4     | 0,007      | 4,47         | 5,00     | 2,3         | 0,11     | 3,2      |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 28,70  | 24,60    | 7,47 | 326   | 7,0  | 22,6  | 1438,0  | 9200,0                     | <0,02         | 2,80   | 1,22     | 0,40     | 1,00 | 2,0              | <18,1 | 33    | 40    | 10,4     | 0,008      | 4,47         | 5,00     | 0,77        | 0,03     | 1,0      |
|                                  | EA-34-IT            | SHR-19 | 06/10/21 | 27,10  | 19,60    | 7,1  | 264   | 7,4  | 31,6  | 1046,0  | 2,0                        | <0,02         | 3,30   | 16,00    | 0,40     | 2,00 | <0,1             | <18,1 | 35    | 41    | 4,7      | 0,012      | 4,47         | 5,00     | 0,35        | 0,01     | 0,2      |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 35,30  | 26,20    | 7,48 | 325   | 8,4  | 37,6  | 2017,0  | 330,0                      | <0,02         | 4,20   | 1,93     | 0,70     | 2,00 | 3,3              | 47    | <18,1 | 59    | 2,8      | 0,014      | 4,5          | 5,00     | 0,58        | 0,03     | 0,2      |
|                                  | EA-35-IT            | SHR-20 | 06/10/21 | 23,80  | 16,80    | 6,8  | 271   | 9,2  | 19,1  | 308,0   | 23,0                       | <0,02         | 2,60   | 1,04     | 0,20     | 2,00 | 1,0              | <18,1 | <18,1 | 21    | 0,3      | 0,006      | 4,47         | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 23,20  | 20,80    | 7,11 | 335   | 7,6  | 19,3  | 258,0   | 41,0                       | <0,02         | 2,30   | 1,15     | 0,20     | 2,00 | 2,3              | 35    | <18,1 | 44    | 0,4      | 0,006      | 4,5          | 5,00     | 0,09        | 0,01     | 0,10     |
|                                  | EA-36-IT            | SHR-19 | 06/10/21 | 17,70  | 16,70    | 6,8  | 277   | 7,7  | 20,4  | 576,0   | 40,0                       | <0,02         | 2,00   | 0,76     | 0,20     | 2,00 | 1,3              | 30    | 26    | 56    | 0,9      | 0,007      | 4,47         | 5,00     | 0,06        | 0,01     | 0,10     |
|                                  |                     |        | 10/03/22 | 24,00  | 21,30    | 7,26 | 336   | 7,2  | 22,3  | 439,0   | 79,0                       | <0,02         | 3,10   | 1,04     | 0,20     | 2,00 | 2,3              | 29    | <18,1 | 41    | 0,2      | 0,008      | 4,5          | 5,00     | 0,05        | 0,01     | 0,10     |
|                                  | EA-37-IT            | SHR-19 | 12/10/21 | 21,60  | 17,90    | 5,5  | 145   | 7,3  | 27,2  | 12323,0 | 2400,0                     | <0,02         | 0,50   | 0,42     | 0,10     | 2,00 | 1,9              | 30    | <18,1 | 34    | 6,9      | 0,105      | 4,47         | 5,00     | 0,14        | 0,01     | 0,1      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 24,30  | 20,10    | 7,17 | 272   | 8,4  | 27    | 15244,0 | 330,0                      | <0,02         | 2,60   | 0,98     | 0,80     | 3,00 | 2,0              | <18,1 | 32    | 49    | 4,4      | 0,009      | 4,5          | 5,00     | 0,51        | 0,02     | 0,3      |
|                                  | EA-38-IT            | SHR-21 | 29/09/21 | 24,90  | 23,10    | 7    | 321   | 7,2  | 66,8  | 37511,6 | 79,0                       | <0,02         | 7,00   | 3,66     | 1,80     | 5,00 | 1,0              | 37    | 40    | 77    | 23,6     | 0,027      | 4,47         | 5,4      | 2,26        | 0,06     | 1,5      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 27,10  | 21,60    | 7,2  | 252   | 6,0  | 34,4  | 41877,0 | 790,0                      | <0,02         | 3,40   | 1,24     | 1,50     | 3,00 | 1,6              | 33    | 19    | 52    | 8,9      | 0,013      | 4,5          | 5,00     | 1,12        | 0,06     | 0,3      |
|                                  | EA-39-IT            | SHR-22 | 29/09/21 | 24,80  | 21,07    | 7,2  | 300   | 6,4  | 58,4  | 290,0   | 9200,0                     | <0,02         | 5,10   | 2,64     | 1,50     | 2,00 | 0,3              | 31    | 48    | 79    | 28       | 0,024      | 4,47         | 5,00     | 1,88        | 0,12     | 1,5      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 25,70  | 21,50    | 6,98 | 273   | 6,2  | 56    | 578,0   | 330,0                      | <0,02         | 4,60   | 1,85     | 3,50     | 3,00 | 1,3              | 47    | 23    | 70    | 10,8     | 0,023      | 6,7          | 5,00     | 2,36        | 0,33     | 0,4      |
|                                  | EA-40-IT            | SHR-23 | 29/09/21 | 23,70  | 22,10    | 7,2  | 304   | 6,0  | 56    |         | 790,0                      | 0,24          | 4,40   | 0,10     | 2,10     | 4,00 | 0,6              | 77    | 41    | 118   | 48,8     | 0,023      | 4,47         | 5,00     | 4,22        | 0,1      | 3,8      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 18,80  | 21,40    | 6,95 | 281   | 6,9  | 43    |         | 490,0                      | 0,13          | 3,60   | 1,35     | 2,90     | 3,00 | 2,3              | 54    | 31    | 85    | 16,8     | 0,017      | 4,8          | 5,00     | 2,74        | 0,09     | 0,8      |
|                                  | EA-41-IT            | SHR-22 | 29/09/21 | 22,60  | 21,50    | 6,9  | 319   | 7,0  | 81,7  | 1575,0  | > 16000                    | 0,12          | 5,10   | 2,73     | 1,70     | 5,00 | 1,6              | 34    | 57    | 91    | 25,8     | 0,035      | 5,3          | 5,00     | 1,71        | 0,15     | 1,1      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 21,80  | 22,10    | 6,98 | 276   | 6,9  | 78,9  | 2034,0  | 790,0                      | 0,26          | 5,90   | 2,30     | 5,30     | 4,00 | 2,3              | 75    | 31    | 106   | 15,7     | 0,033      | 6,7          | 5,00     | 3,34        | 0,2      | 0,5      |
|                                  | EA-42-IT            | SHR-21 | 29/09/21 | 25,40  | 23,10    | 7,0  | 360   | 7,1  | 76,3  |         | 330,0                      | 0,1           | 6,40   | 3,48     | 1,80     | 5,00 | 1,3              | 66    | 21    | 87    | 39,6     | 0,032      | 4,47         | 5,00     | 2,52        | 0,08     | 2        |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 26,30  | 23,10    | 7,11 | 274   | 6,5  | 40,4  |         | 330,0                      | <0,02         | 4,00   | 1,48     | 2,00     | 3,00 | 2,6              | 27    | 71    | 98    | 10,1     | 0,016      | 4,5          | 5,00     | 1,45        | 0,1      | 0,4      |
|                                  | EA-43-IT            | SHR-21 | 23/09/21 | 21,80  | 21,50    | 6,8  | 180   | 6,1  | 74    |         | 79,0                       | <0,02         | 5,80   | 2,90     | 1,40     | 3,00 | 1,6              | 66    | <18,1 | 70    | 45,8     | 0,031      | 9,4          | 5,00     | 2,59        | 0,05     | 2,6      |
|                                  |                     |        | 26/01/22 | 31,10  | 31,30    | 7,02 | 78    | 4,2  | 1400  |         | 330,0                      | <0,02         | 19,90  | 22,42    | 4,30     | 2,00 | 1,3              | 687   | 67    | 754   | 5,0      | 0,665      | 4,5          | 53,5     | 0,56        | 0,1      | 0,2      |
|                                  | EA-44-IT            | SHR-22 | 29/09/21 | 21,50  | 21,70    | 6,8  | 346   | 5,9  | 102,8 |         | 3500,0                     | 0,18          | 8,00   | 3,88     | 3,00     | 5,00 | 1,6              | 55    | 39    | 94    | 30,8     | 0,044      | 5,1          | 7,6      | 2,59        | 0,31     | 1,2      |
|                                  |                     |        | 17/03/22 | 31,60  | 23,80    | 7,01 | 258   | 5,2  | 78    |         | 3500,0                     | 0,24          | 6,20   | 2,36     | 5,30     | 4,00 | 2,3              | 61    | 49    | 110   | 15,1     | 0,033      | 6,5          | 5,00     | 3,47        | 0,19     | 0,2      |
|                                  | EA-45-IT            | SHR-23 | 29/09/21 | 22,60  | 22,20    | 7,2  | 290   | 6,0  | 64,6  |         | 3500,0                     | 0,16          | 5,90   | 3,08     | 2,20     | 3,00 | 4,0              | 100   | 57    | 157   | 46,2     | 0,027      | 4,6          | 5,00     | 3,85        | 0,08     | 2,9      |
|                                  |                     |        | 26/01/22 | 30,10  | 29,70    | 6,64 | 149   | 3    | 63,4  |         | 2400,0                     | <0,02         | 12,80  | 3,72     | 0,80     | 1,00 | 1,3              | 51    | <18,1 | 56    | 6,4      | 0,025      | 7,8          | 5,00     | 1,15        | 0,1      | 0,2      |
| Bacia Dos Porcos/Baixo Araranguá | EA-46-AR            | SHR-25 | 23/09/21 | 20,30  | 21,20    | 6,5  | 180   | 6,1  | 118,6 |         | 49,0                       | <0,02         | 8,70   | 3,89     | 1,60     | 2,00 | 2,3              | 76    | 38    | 114   | 23,8     | 0,052      | 7,9          | 38       | 1,71        | 0,3      | 1,5      |
|                                  |                     |        | 26/01/22 | 28,50  | 30,10    | 6,77 | 160   | 4,2  | 1900  |         | 130,0                      | <0,02         | 31,40  | 37,82    | 7,30     | <1   | 1,6              | 1246  | 19    | 1265  | 3,4      | 0,916      | 8,1          | 140      | 0,46        | 0,43     | 0,3      |
|                                  | EA-47-AR            | SHR-25 | 23/09/21 | 22,30  | 20,50    | 6,4  | 172   | 6,6  | 185   |         | 240,0                      | <0,02         | 21,20  | 34,23    | 6,60     | 2,00 | 3,5              | 983   | 100   | 1083  | 41,8     | 0,895      | 9,2          | 101,8    | 1,42        | 0,21     | 2        |
|                                  |                     |        | 26/01/22 | 30,00  | 31,20    | 6,71 | 82    | 4,1  | 4300  |         | 240,0                      | <0,02         | 37,80  | 65,04    | 12,70    | 1,00 | 0,6              | 2398  | 175   | 2573  | 5,1      | 2,176      | 4,7          | 208,2    | 0,24        | 0,26     | 0,2      |
|                                  | EA-48-AR            | SHR-24 | 23/09/21 | 21,90  | 18,10    | 6,6  | 245   | 5,4  | 72,9  |         | 490,0                      | <0,02         | 5,30   | 3,25     | 0,70     | 2,00 | 3,9              | 96    | <18,1 | 98    | 6,4      | 0,031      | 6,4          | 7,7      | 0,78        | 0,1      | 0,2      |
|                                  |                     |        | 27/01/22 | 23,20  | 25,6     | 6,59 | -19   | 3,0  | 112,3 |         | 16000                      | 0,21          | 15,9   | 4,49     | 2,6      | 9,0  | 1,0              | 82    | 114   | 196   | 86,8     | 0,048      | 23,5         | 17,6     | 8,76        | 0,92     | 2,8      |
|                                  | EA-49-AR            | SHR-24 | 23/09/21 | 18,80  | 20,10    | 6,4  | 272   | 4,7  | 400   |         | 240,0                      | <0,02         | 12,20  | 6,62     | 2,50     | 3,00 | 4,8              | 272   | 62    | 334   | 134,7    | 0,162      | 12           | 47,2     | 3,99        | 0,14     | 6,6      |
|                                  |                     |        | 26/01/22 | 35,80  | 30,1     | 6,33 | 141   | 3,3  | 3600  |         | 170                        | <0,02         | 41,8   | 59,05    | 11,4     | <1   | 0,6              | 1883  | 185   | 2068  | 2,6      | 1,819      | 8,7          | 204,6    | 0,25        | 0,42     | 0,3      |

|          |          |          |          |          |                |             |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|-------------|
| Legenda: | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | Águas Salobras | Águas Doces |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|-------------|

**APÊNDICE C - Parâmetros dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling obtidos das vazões médias mensais nas estações fluviométricas**

| Estação: 84949800 |    |                          |        |            |                        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 38 | 0,1033                   | 0,0916 | 0,1423     | 0,68730                | 0,29750 | 0,73260    |
| FEV.              | 38 | 0,1863                   | 0,1255 | 0,0809     | 2,00460                | 0,53120 | 0,23380    |
| MAR.              | 37 | 0,1171                   | 0,1341 | 0,1748     | 0,68400                | 0,47820 | 1,04330    |
| ABR.              | 39 | 0,1968                   | 0,1120 | 0,0650     | 3,16250                | 0,73160 | 0,22410    |
| MAI.              | 39 | 0,2084                   | 0,1410 | 0,0883     | 3,80370                | 1,03210 | 0,36460    |
| JUN.              | 39 | 0,2797                   | 0,1984 | 0,1338     | 5,19980                | 2,32280 | 1,13200    |
| JUL.              | 39 | 0,2977                   | 0,1902 | 0,1204     | 7,66600                | 2,61270 | 1,13680    |
| AGO.              | 38 | 0,2276                   | 0,1203 | 0,0894     | 3,41630                | 0,84040 | 0,26070    |
| SET.              | 37 | 0,1935                   | 0,1364 | 0,1531     | 1,54770                | 0,47050 | 0,56270    |
| OUT.              | 38 | 0,2092                   | 0,1394 | 0,1357     | 2,24940                | 1,01510 | 0,67480    |
| NOV.              | 38 | 0,1746                   | 0,0788 | 0,0956     | 1,47720                | 0,22910 | 0,28080    |
| DEZ.              | 38 | 0,1765                   | 0,1023 | 0,1448     | 2,97560                | 0,65180 | 0,63750    |
| ANO               | 36 | 0,1045                   | 0,0876 | 0,0969     | 0,54340                | 0,32300 | 0,33370    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |         | Distribuição Gama |        | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|---------|-------------------|--------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta    | Alfa              | Beta   | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 38 | 44,1426             | 30,3709 | 23,0542           | 1,9147 | 3,5036                  | 0,8255 |
| FEV. | 38 | 60,0705             | 44,4643 | 27,9753           | 2,1473 | 3,8446                  | 0,7190 |
| MAR. | 37 | 41,7056             | 23,3597 | 13,8249           | 3,0167 | 3,5557                  | 0,6531 |
| ABR. | 39 | 28,3841             | 25,3703 | 14,9018           | 1,9047 | 3,0604                  | 0,7340 |
| MAI. | 39 | 30,0510             | 34,0967 | 27,7337           | 1,0836 | 2,8705                  | 1,0362 |
| JUN. | 39 | 20,8541             | 22,6483 | 14,5981           | 1,4286 | 2,6467                  | 0,8173 |
| JUL. | 39 | 27,8508             | 43,1268 | 20,9613           | 1,3287 | 2,9033                  | 0,8163 |
| AGO. | 38 | 30,4447             | 33,2771 | 26,7694           | 1,1373 | 2,9118                  | 1,0070 |
| SET. | 37 | 37,5260             | 32,3712 | 29,3295           | 1,2795 | 3,1833                  | 1,0272 |
| OUT. | 38 | 41,2484             | 26,5743 | 16,0168           | 2,5753 | 3,5129                  | 0,6611 |
| NOV. | 38 | 38,6103             | 28,9335 | 20,8799           | 1,8492 | 3,3588                  | 0,8172 |
| DEZ. | 38 | 35,3305             | 35,4976 | 25,0478           | 1,4105 | 3,1684                  | 0,9279 |
| ANO  | 36 | 36,2731             | 12,2155 | 4,0234            | 9,0154 | 3,5346                  | 0,3416 |

| Estação: 84820000 |    |                          |        |            | Dcrítico: 0,752        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 69 | 0,1162                   | 0,0678 | 0,1185     | 2,06110                | 0,26630 | 0,84870    |
| FEV.              | 67 | 0,1666                   | 0,0633 | 0,0655     | 3,46980                | 0,39430 | 0,24340    |
| MAR.              | 68 | 0,1308                   | 0,0675 | 0,1112     | 2,01040                | 0,33090 | 0,46440    |
| ABR.              | 68 | 0,1627                   | 0,0775 | 0,0824     | 3,51860                | 0,42140 | 0,36230    |
| MAI.              | 67 | 0,2232                   | 0,1348 | 0,0693     | 6,76620                | 1,73930 | 0,42770    |
| JUN.              | 68 | 0,1789                   | 0,1021 | 0,0638     | 4,32440                | 0,81810 | 0,25310    |
| JUL.              | 68 | 0,2387                   | 0,1186 | 0,0534     | 7,28200                | 1,36190 | 0,21500    |
| AGO.              | 68 | 0,2298                   | 0,1447 | 0,0787     | 8,75330                | 2,35810 | 0,65240    |
| SET.              | 68 | 0,1449                   | 0,0859 | 0,0938     | 2,60000                | 0,30440 | 0,64530    |
| OUT.              | 67 | 0,2405                   | 0,1345 | 0,0767     | 6,15630                | 1,41910 | 0,38860    |
| NOV.              | 67 | 0,1796                   | 0,0673 | 0,0849     | 3,94570                | 0,61730 | 0,42140    |
| DEZ.              | 68 | 0,2323                   | 0,1225 | 0,0666     | 7,38190                | 0,93650 | 0,27330    |
| ANO               | 67 | 0,0790                   | 0,0690 | 0,0878     | 0,71180                | 0,26120 | 0,37510    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |         | Distribuição Gama |         | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|---------|-------------------|---------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta    | Alfa              | Beta    | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 69 | 26,3359             | 20,8997 | 26,3359           | 20,8997 | 2,9221                  | 0,9189 |
| FEV. | 67 | 36,4267             | 31,6356 | 23,1184           | 1,5757  | 3,2444                  | 0,8708 |
| MAR. | 68 | 26,7610             | 17,6810 | 10,5982           | 2,5250  | 3,0759                  | 0,6732 |
| ABR. | 68 | 15,9341             | 13,1945 | 8,6379            | 1,8447  | 2,4729                  | 0,7903 |
| MAI. | 67 | 14,4101             | 16,3155 | 12,3687           | 1,1650  | 2,1774                  | 0,9744 |
| JUN. | 68 | 9,9289              | 9,3272  | 6,3229            | 1,5703  | 1,9432                  | 0,8416 |
| JUL. | 68 | 12,9895             | 16,3323 | 9,8127            | 1,3237  | 2,1389                  | 0,8895 |
| AGO. | 68 | 15,0487             | 18,7354 | 14,5598           | 1,0336  | 2,1495                  | 1,0527 |
| SET. | 68 | 18,1151             | 14,1012 | 11,5063           | 1,5744  | 2,5455                  | 0,9229 |
| OUT. | 67 | 19,8406             | 19,3450 | 12,2748           | 1,6164  | 2,6465                  | 0,8111 |
| NOV. | 67 | 16,9052             | 15,7686 | 12,3242           | 1,3717  | 2,4188                  | 0,9368 |
| DEZ. | 68 | 19,6703             | 25,5541 | 15,2856           | 1,2868  | 2,5402                  | 0,9298 |
| ANO  | 67 | 19,5702             | 8,2687  | 3,6164            | 5,4114  | 2,8788                  | 0,4531 |

| Estação: 84853000 |    |                          |        |            | Dcrítico: 0,752        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 43 | 0,1982                   | 0,0996 | 0,1065     | 2,43120                | 0,42170 | 0,44330    |
| FEV.              | 43 | 0,1499                   | 0,0824 | 0,0517     | 2,30640                | 0,31850 | 0,14770    |
| MAR.              | 42 | 0,1157                   | 0,1529 | 0,2135     | 0,41840                | 1,42730 | 3,79970    |
| ABR.              | 42 | 0,1191                   | 0,1114 | 0,1714     | 0,85390                | 0,59050 | 1,83420    |
| MAI.              | 42 | 0,2035                   | 0,0863 | 0,1199     | 3,80310                | 0,46040 | 0,65740    |
| JUN.              | 42 | 0,1852                   | 0,0847 | 0,0816     | 1,89980                | 0,16790 | 0,25530    |
| JUL.              | 42 | 0,1490                   | 0,1012 | 0,1530     | 2,24440                | 0,49140 | 1,36670    |
| AGO.              | 42 | 0,2298                   | 0,1870 | 0,1394     | 4,48540                | 1,67800 | 0,78490    |
| SET.              | 42 | 0,1314                   | 0,0822 | 0,1085     | 1,31940                | 0,22690 | 0,54300    |
| OUT.              | 42 | 0,1786                   | 0,1115 | 0,0950     | 2,28460                | 0,60230 | 0,43710    |
| NOV.              | 43 | 0,1544                   | 0,1678 | 0,2422     | 1,12910                | 1,03960 | 2,80360    |
| DEZ.              | 42 | 0,1507                   | 0,0642 | 0,1166     | 1,86610                | 0,13250 | 0,39020    |
| ANO               | 41 | 0,1125                   | 0,1088 | 0,1059     | 1,02270                | 0,50580 | 0,36920    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |         | Distribuição Gama |        | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|---------|-------------------|--------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta    | Alfa              | Beta   | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 43 | 17,6554             | 14,1662 | 10,1319           | 1,7426 | 2,5567                  | 0,8441 |
| FEV. | 43 | 22,9891             | 19,0917 | 12,8030           | 1,7956 | 2,8307                  | 0,8004 |
| MAR. | 42 | 17,9929             | 8,6444  | 7,3464            | 2,4492 | 2,6719                  | 0,9605 |
| ABR. | 42 | 10,4229             | 6,7209  | 5,6779            | 1,8357 | 2,0469                  | 0,9665 |
| MAI. | 42 | 11,2371             | 12,8552 | 11,3642           | 0,9888 | 1,8283                  | 1,2636 |
| JUN. | 42 | 8,0460              | 7,0163  | 5,6932            | 1,4133 | 1,6897                  | 0,9712 |
| JUL. | 42 | 9,5757              | 8,0200  | 5,7334            | 1,6702 | 1,9300                  | 0,9820 |
| AGO. | 42 | 9,4688              | 10,3228 | 8,0826            | 1,1715 | 1,7605                  | 0,9677 |
| SET. | 42 | 11,8443             | 10,0048 | 8,1383            | 1,4554 | 2,0889                  | 0,9578 |
| OUT. | 42 | 13,4110             | 9,3138  | 5,9272            | 2,2626 | 2,3588                  | 0,7189 |
| NOV. | 43 | 12,7565             | 9,7434  | 10,8490           | 1,1758 | 2,0605                  | 1,3402 |
| DEZ. | 42 | 14,0533             | 12,5688 | 9,5816            | 1,4667 | 2,2632                  | 0,9554 |
| ANO  | 41 | 13,4337             | 4,8011  | 1,5901            | 8,4484 | 2,5374                  | 0,3468 |

| Estação: 84800000 |    |                          |        |            | Dcrítico: 0,752        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 37 | 0,2118                   | 0,1159 | 0,0711     | 3,05370                | 0,69520 | 0,22680    |
| FEV.              | 37 | 0,1641                   | 0,1116 | 0,0836     | 1,82330                | 0,55360 | 0,25130    |
| MAR.              | 36 | 0,1394                   | 0,0803 | 0,1198     | 0,80520                | 0,27330 | 0,46480    |
| ABR.              | 37 | 0,0928                   | 0,0795 | 0,1160     | 0,72070                | 0,22310 | 0,39110    |
| MAI.              | 36 | 0,2253                   | 0,1166 | 0,1313     | 2,90420                | 0,56160 | 0,35950    |
| JUN.              | 37 | 0,2221                   | 0,1213 | 0,1002     | 3,02370                | 1,03270 | 0,48000    |
| JUL.              | 36 | 0,1606                   | 0,1324 | 0,1639     | 1,62860                | 0,76610 | 0,71120    |
| AGO.              | 36 | 0,1623                   | 0,1124 | 0,0769     | 2,00530                | 0,34850 | 0,13620    |
| SET.              | 37 | 0,1236                   | 0,1041 | 0,1091     | 1,13090                | 0,28050 | 0,62300    |
| OUT.              | 37 | 0,1843                   | 0,1173 | 0,1042     | 2,27360                | 0,65520 | 0,34280    |
| NOV.              | 37 | 0,1709                   | 0,1175 | 0,0842     | 1,73030                | 0,57580 | 0,32740    |
| DEZ.              | 36 | 0,2994                   | 0,1663 | 0,1200     | 5,35370                | 1,18560 | 0,74200    |
| ANO               | 38 | 0,1448                   | 0,1003 | 0,0782     | 0,76000                | 0,30970 | 0,24720    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |        | Distribuição Gama |        | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|--------|-------------------|--------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta   | Alfa              | Beta   | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 37 | 8,0130              | 6,5209 | 3,1603            | 2,5355 | 1,8709                  | 0,6193 |
| FEV. | 37 | 7,5803              | 5,3039 | 2,9902            | 2,5350 | 1,8153                  | 0,6414 |
| MAR. | 36 | 5,6767              | 3,4074 | 1,8650            | 3,0438 | 1,5631                  | 0,6061 |
| ABR. | 37 | 3,6741              | 2,1503 | 1,2114            | 3,0329 | 1,1274                  | 0,6156 |
| MAI. | 36 | 3,5156              | 3,4916 | 2,6772            | 1,3131 | 0,8281                  | 0,9559 |
| JUN. | 37 | 2,3527              | 2,1663 | 1,4021            | 1,6780 | 0,5280                  | 0,7842 |
| JUL. | 36 | 2,3881              | 1,9288 | 1,3552            | 1,7621 | 0,5599                  | 0,8053 |
| AGO. | 36 | 2,5981              | 2,2761 | 1,6177            | 1,6060 | 0,6111                  | 0,8521 |
| SET. | 37 | 3,8784              | 2,6937 | 2,1619            | 1,7940 | 1,0508                  | 0,8941 |
| OUT. | 37 | 5,0911              | 3,6129 | 1,8784            | 2,7104 | 1,4317                  | 0,6146 |
| NOV. | 37 | 4,8441              | 3,1045 | 1,6036            | 3,0208 | 1,4031                  | 0,5887 |
| DEZ. | 36 | 5,7219              | 6,8332 | 3,1814            | 1,7986 | 1,4405                  | 0,7325 |
| ANO  | 38 | 4,5908              | 1,8007 | 0,6493            | 7,0699 | 1,4517                  | 0,3845 |

| Estação: 84950000 |    |                          |        |            | Dcrítico: 0,752        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 69 | 0,1411                   | 0,1201 | 0,1333     | 1,67880                | 0,59890 | 0,89270    |
| FEV.              | 68 | 0,1183                   | 0,0500 | 0,0903     | 1,61750                | 0,18990 | 0,59440    |
| MAR.              | 68 | 0,1621                   | 0,0803 | 0,1027     | 2,93210                | 0,59240 | 0,91220    |
| ABR.              | 68 | 0,1559                   | 0,0728 | 0,1020     | 2,45480                | 0,39620 | 0,52590    |
| MAI.              | 68 | 0,2272                   | 0,1229 | 0,0801     | 7,05520                | 1,55730 | 0,34240    |
| JUN.              | 68 | 0,1419                   | 0,0877 | 0,0576     | 2,90480                | 0,40690 | 0,15360    |
| JUL.              | 68 | 0,1477                   | 0,0800 | 0,0756     | 3,72480                | 0,60610 | 0,50070    |
| AGO.              | 68 | 0,1726                   | 0,1101 | 0,0601     | 4,66700                | 1,08780 | 0,43210    |
| SET.              | 68 | 0,1274                   | 0,0766 | 0,1081     | 1,75750                | 0,32510 | 0,61960    |
| OUT.              | 68 | 0,1387                   | 0,0660 | 0,1046     | 1,41530                | 0,30550 | 0,66320    |
| NOV.              | 68 | 0,1010                   | 0,0650 | 0,0933     | 1,49960                | 0,18790 | 0,81770    |
| DEZ.              | 68 | 0,1597                   | 0,0864 | 0,1141     | 3,45640                | 0,47060 | 1,21230    |
| ANO               | 68 | 0,0672                   | 0,0970 | 0,1066     | 0,19430                | 0,30120 | 0,61100    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |         | Distribuição Gama |        | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|---------|-------------------|--------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta    | Alfa              | Beta   | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 69 | 40,6809             | 28,2103 | 21,2981           | 1,9101 | 3,4211                  | 0,8292 |
| FEV. | 68 | 59,0796             | 37,9077 | 24,6117           | 2,4005 | 3,8561                  | 0,7213 |
| MAR. | 68 | 52,1700             | 35,9705 | 18,0324           | 2,8931 | 3,7717                  | 0,6216 |
| ABR. | 68 | 30,0327             | 20,6354 | 13,5763           | 2,2121 | 3,1592                  | 0,7457 |
| MAI. | 68 | 25,8119             | 30,4302 | 20,8696           | 1,2368 | 2,7921                  | 0,9271 |
| JUN. | 68 | 21,1265             | 16,6381 | 10,9304           | 1,9328 | 2,7695                  | 0,7704 |
| JUL. | 68 | 22,1071             | 18,9391 | 11,3246           | 1,9521 | 2,8179                  | 0,7645 |
| AGO. | 68 | 27,1394             | 25,3512 | 18,8388           | 1,4406 | 2,9138                  | 0,8999 |
| SET. | 68 | 41,9203             | 29,8771 | 22,8264           | 1,8365 | 3,4388                  | 0,8363 |
| OUT. | 68 | 38,7466             | 21,7041 | 12,4593           | 3,1099 | 3,4876                  | 0,6175 |
| NOV. | 68 | 37,9357             | 27,1678 | 20,9439           | 1,8113 | 3,3344                  | 0,8555 |
| DEZ. | 68 | 33,8942             | 33,0701 | 26,1492           | 1,2962 | 3,0879                  | 1,0459 |
| ANO  | 68 | 35,7779             | 12,0599 | 4,3857            | 8,1578 | 3,5148                  | 0,3682 |

| Estação: 84949000 |    |                          |        |            | Dcrítico: 0,752        |         |            |
|-------------------|----|--------------------------|--------|------------|------------------------|---------|------------|
| MÊS               | N  | Teste Kolmogorov-Smirnov |        |            | Teste Anderson-Darling |         |            |
|                   |    | Normal                   | Gama   | Log-Normal | Normal                 | Gama    | Log-Normal |
| JAN.              | 45 | 0,1266                   | 0,0868 | 0,1133     | 1,49930                | 0,33410 | 0,50400    |
| FEV.              | 46 | 0,2101                   | 0,0983 | 0,0876     | 3,27850                | 0,47010 | 0,39830    |
| MAR.              | 46 | 0,1202                   | 0,1195 | 0,1793     | 0,64930                | 0,69570 | 2,11960    |
| ABR.              | 45 | 0,1405                   | 0,0572 | 0,0781     | 1,67160                | 0,17700 | 0,20400    |
| MAI.              | 45 | 0,1724                   | 0,1090 | 0,1500     | 2,92280                | 0,36510 | 0,74140    |
| JUN.              | 45 | 0,2427                   | 0,1414 | 0,0994     | 4,02810                | 0,93400 | 0,46620    |
| JUL.              | 43 | 0,3610                   | 0,2181 | 0,1977     | 9,55990                | 2,83330 | 1,78490    |
| AGO.              | 43 | 0,2269                   | 0,1161 | 0,0844     | 4,78860                | 0,88680 | 0,47310    |
| SET.              | 41 | 0,1660                   | 0,1226 | 0,1359     | 1,22050                | 0,41440 | 1,08330    |
| OUT.              | 43 | 0,1627                   | 0,0865 | 0,0954     | 1,95100                | 0,40860 | 0,38610    |
| NOV.              | 45 | 0,1138                   | 0,1024 | 0,1177     | 1,38590                | 0,32800 | 1,07650    |
| DEZ.              | 43 | 0,1806                   | 0,0677 | 0,1226     | 2,38920                | 0,17310 | 0,64510    |
| ANO               | 41 | 0,1056                   | 0,0770 | 0,1060     | 0,70740                | 0,23020 | 0,36850    |

| MÊS  | N  | Distribuição Normal |         | Distribuição Gama |        | Distribuição Log-Normal |        |
|------|----|---------------------|---------|-------------------|--------|-------------------------|--------|
|      |    | Alfa                | Beta    | Alfa              | Beta   | Alfa                    | Beta   |
| JAN. | 45 | 15,8611             | 12,2620 | 9,4054            | 1,6864 | 2,4381                  | 0,8602 |
| FEV. | 46 | 18,6141             | 17,7362 | 13,3473           | 1,3946 | 2,5225                  | 0,9544 |
| MAR. | 46 | 14,9385             | 9,7142  | 8,3082            | 1,7980 | 2,4001                  | 0,9627 |
| ABR. | 45 | 9,2120              | 7,2907  | 5,3032            | 1,7371 | 1,9050                  | 0,8373 |
| MAI. | 45 | 8,8980              | 8,5952  | 7,8123            | 1,1390 | 1,6826                  | 1,1412 |
| JUN. | 45 | 7,3626              | 7,5795  | 6,4629            | 1,1392 | 1,4933                  | 1,0500 |
| JUL. | 43 | 10,2614             | 20,7474 | 11,7375           | 0,8742 | 1,6474                  | 1,1413 |
| AGO. | 43 | 11,7370             | 14,3613 | 14,8705           | 0,7893 | 1,6955                  | 1,4019 |
| SET. | 41 | 12,8067             | 10,6902 | 10,2687           | 1,2472 | 2,0955                  | 1,1071 |
| OUT. | 43 | 13,4865             | 9,8686  | 5,7997            | 2,3254 | 2,3713                  | 0,7052 |
| NOV. | 45 | 13,8243             | 10,8552 | 10,6393           | 1,2994 | 2,1923                  | 1,1003 |
| DEZ. | 43 | 12,1005             | 11,8645 | 10,1703           | 1,1898 | 2,0141                  | 1,1227 |
| ANO  | 41 | 12,5873             | 5,9923  | 2,8024            | 4,4916 | 2,4172                  | 0,4977 |



**APÊNDICE D - Equações de regressão linear adotadas para determinação das vazões de referência nos subsistemas dos rios Mãe Luzia, Itoupava, Manoel Alves e Porcos/Baixo Araranguá**

| Modelo de regressão linear das vazões mínimas de referência estimadas para os subsistemas |                |                |                                                                 |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Vazão Referência                                                                          | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                                            | R²    |
| Q <sub>7;10</sub> anual                                                                   | 3              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Anual} = 1,2369\ln A - 7,1451$                 | 0,997 |
| Q <sub>98</sub> anual                                                                     | 5              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ Anual} = 1,7883\ln A - 10,326$                   | 0,973 |
| Q <sub>95</sub> anual                                                                     | 5              | Logarítmica    | $Q_{95} \text{ Anual} = 2,7948\ln A - 16,058$                   | 0,995 |
| Q <sub>90</sub> anual                                                                     | 5              | Logarítmica    | $Q_{90} \text{ Anual} = 3,6521\ln A - 20,729$                   | 0,996 |
| Q <sub>Média Longo Termo</sub>                                                            | 6              | Polinomial     | $Q_{\text{Média Longo Termo}} = 0,000007A^2 + 0,0334A + 0,6388$ | 0,999 |
| Q <sub>7;10</sub> - 1º Trimestre                                                          | 4              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ 1º Trimestre} = 2,0584\ln A - 11,855$            | 0,998 |
| Q <sub>7;10</sub> - 2º Trimestre                                                          | 5              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ 2º Trimestre} = 1,755\ln A - 9,9515$           | 0,990 |
| Q <sub>7;10</sub> - 3º Trimestre                                                          | 5              | Linear         | $Q_{7;10} \text{ 3º Trimestre} = 0,0034A - 1,0448$              | 0,992 |
| Q <sub>7;10</sub> - 4º Trimestre                                                          | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ 4º Trimestre} = 1,952\ln A - 11,298$           | 0,987 |
| Q <sub>98</sub> - 1º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ 1º Trimestre} = 1,802\ln A - 10,367$             | 0,967 |
| Q <sub>98</sub> - 2º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ 2º Trimestre} = 1,7126\ln A - 9,7857$            | 0,964 |
| Q <sub>98</sub> - 3º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ 3º Trimestre} = 2,1253\ln A^2 - 12,42$           | 0,993 |
| Q <sub>98</sub> - 4º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{98} \text{ 4º Trimestre} = 1,5076\ln A - 8,7322$            | 0,933 |
| Q <sub>95</sub> - 1º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{95} \text{ 1º Trimestre} = 3,0944\ln A - 17,677$            | 0,994 |
| Q <sub>95</sub> - 2º Trimestre                                                            | 5              | Logarítmica    | $Q_{95} \text{ 2º Trimestre} = 2,4151\ln A - 13,469$            | 0,965 |
| Q <sub>95</sub> - 3º Trimestre                                                            | 5              | Logarítmica    | $Q_{95} \text{ 3º Trimestre} = 2,9321\ln A - 16,97$             | 0,997 |
| Q <sub>95</sub> - 4º Trimestre                                                            | 4              | Polinomial     | $Q_{95} \text{ 4º Trimestre} = -0,000001A^2 + 0,0062A - 1,8886$ | 0,994 |
| Q <sub>90</sub> - 1º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{90} \text{ 1º Trimestre} = 4,4937\ln A - 25,358$            | 0,992 |
| Q <sub>90</sub> - 2º Trimestre                                                            | 4              | Logarítmica    | $Q_{90} \text{ 2º Trimestre} = 3,6851\ln A - 20,954$            | 0,983 |
| Q <sub>90</sub> - 3º Trimestre                                                            | 5              | Logarítmica    | $Q_{90} \text{ 3º Trimestre} = 3,776\ln A - 21,667$             | 0,994 |
| Q <sub>90</sub> - 4º Trimestre                                                            | 5              | Logarítmica    | $Q_{90} \text{ 4º Trimestre} = 3,5127\ln A - 19,959$            | 0,947 |
| Q <sub>7;10</sub> Jan.                                                                    | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Janeiro} = 2,2364\ln A - 12,744$               | 0,978 |
| Q <sub>7;10</sub> Fev.                                                                    | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Fevereiro} = 2,8072\ln A - 15,907$             | 0,985 |
| Q <sub>7;10</sub> Mar.                                                                    | 5              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Março} = 3,2841\ln A - 18,361$                 | 0,982 |
| Q <sub>7;10</sub> Abr.                                                                    | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Abril} = 3,0414\ln A - 17,029$                 | 0,968 |
| Q <sub>7;10</sub> Mai.                                                                    | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Maio} = 1,764\ln A - 9,8142$                   | 0,980 |
| Q <sub>7;10</sub> Jun.                                                                    | 5              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Junho} = 2,0513\ln A - 11,57$                  | 0,983 |
| Q <sub>7;10</sub> Jul.                                                                    | 5              | Polinomial     | $Q_{7;10} \text{ Julho} = -0,0000009A^2 + 0,0051A - 1,1627$     | 0,972 |
| Q <sub>7;10</sub> Ago.                                                                    | 5              | Linear         | $Q_{7;10} \text{ Agosto} = 0,0045A - 1,3041$                    | 0,987 |
| Q <sub>7;10</sub> Set.                                                                    | 5              | Linear         | $Q_{7;10} \text{ Setembro} = 0,0053A - 1,649$                   | 0,950 |
| Q <sub>7;10</sub> Out.                                                                    | 5              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Outubro} = 3,4601\ln A - 19,891$               | 0,973 |
| Q <sub>7;10</sub> Nov.                                                                    | 5              | Logarítmica    | $Q_{7;10} \text{ Novembro} = 2,4123\ln A - 13,86$               | 0,971 |

| Modelo de regressão linear das vazões mínimas de referência estimadas para os subsistemas |                |                |                                                             |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------------------------------|----------------|
| Vazão Referência                                                                          | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                                        | R <sup>2</sup> |
| Q <sub>7;10 Dez.</sub>                                                                    | 4              | Logarítmica    | $Q_{7;10 \text{ Dezembro}} = 1,7771 \ln A - 10,134$         | 0,966          |
| Q <sub>98 Jan.</sub>                                                                      | 3              | Linear         | $Q_{98 \text{ Janeiro}} = 0,0036A - 1,125$                  | 0,997          |
| Q <sub>98 Fev.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Fevereiro}} = 2,0945 \ln A - 11,987$          | 0,979          |
| Q <sub>98 Mar.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Março}} = 3,2609 \ln A - 18,742$              | 0,961          |
| Q <sub>98 Abr.</sub>                                                                      | 3              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Abril}} = 0,0054A - 1,6623 \ln A -$           | 0,999          |
| Q <sub>98 Mai.</sub>                                                                      | 3              | Linear         | $Q_{98 \text{ Maio}} = 0,0031A - 0,9828$                    | 0,997          |
| Q <sub>98 Jun.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Junho}} = 1,886 \ln A - 10,794$               | 0,973          |
| Q <sub>98 Jul.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Julho}} = 1,8868 \ln A - 10,809$              | 0,945          |
| Q <sub>98 Ago.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Agosto}} = 1,9549 \ln A - 11,314$             | 0,957          |
| Q <sub>98 Set.</sub>                                                                      | 3              | Linear         | $Q_{98 \text{ Setembro}} = 0,0031A - 1,0121$                | 0,992          |
| Q <sub>98 Out.</sub>                                                                      | 4              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Outubro}} = 2,4642 \ln A - 14,292$            | 0,929          |
| Q <sub>98 Nov.</sub>                                                                      | 4              | Polinomial     | $Q_{98 \text{ Novembro}} = -0,0000008A^2 + 0,0048 - 1,5063$ | 0,995          |
| Q <sub>98 Dez.</sub>                                                                      | 3              | Logarítmica    | $Q_{98 \text{ Dezembro}} = 1,4486 \ln A - 8,3967$           | 0,983          |
| Q <sub>95 Jan.</sub>                                                                      | 3              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Janeiro}} = 1,915 \ln A - 10,844$             | 0,912          |
| Q <sub>95 Fev.</sub>                                                                      | 4              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Fevereiro}} = 3,6183 \ln A - 20,684$          | 0,998          |
| Q <sub>95 Mar.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Março}} = 4,112 \ln A - 23,365$               | 0,997          |
| Q <sub>95 Abr.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Abril}} = 3,5688 \ln A - 20,055$              | 0,937          |
| Q <sub>95 Mai.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Maio}} = 2,1152 \ln A - 12,062$               | 0,981          |
| Q <sub>95 Jun.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Junho}} = 2,3882 \ln A - 13,513$              | 0,982          |
| Q <sub>95 Jul.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Julho}} = 2,3355 \ln A - 13,118$              | 0,922          |
| Q <sub>95 Ago.</sub>                                                                      | 5              | Linear         | $Q_{95 \text{ Agosto}} = 0,0054A - 1,663$                   | 0,987          |
| Q <sub>95 Set.</sub>                                                                      | 4              | Linear         | $Q_{95 \text{ Setembro}} = 0,006A - 1,9759$                 | 0,934          |
| Q <sub>95 Out.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Outubro}} = 3,8242 \ln A - 21,98$             | 0,954          |
| Q <sub>95 Nov.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{95 \text{ Novembro}} = 3,1246 \ln A - 18,038$           | 0,974          |
| Q <sub>95 Dez.</sub>                                                                      | 4              | Linear         | $Q_{95 \text{ Dezembro}} = 0,0029A - 0,908$                 | 0,900          |
| Q <sub>90 Jan.</sub>                                                                      | 4              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Janeiro}} = 3,0237 \ln A - 16,969$            | 0,978          |
| Q <sub>90 Fev.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Fevereiro}} = 5,4823 \ln A - 30,81$           | 0,980          |
| Q <sub>90 Mar.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Março}} = 5,4341 \ln A - 30,122$              | 0,981          |
| Q <sub>90 Abr.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Abril}} = 4,3036 \ln A - 23,808$              | 0,969          |
| Q <sub>90 Mai.</sub>                                                                      | 6              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ Maio}} = 0,000002A^2 + 0,0028 - 0,08$         | 0,920          |
| Q <sub>90 Jun.</sub>                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Junho}} = 2,9653 \ln A - 16,565$              | 0,995          |
| Q <sub>90 Jul.</sub>                                                                      | 6              | Potência       | $Q_{90 \text{ Julho}} = 0,0022e^{1,0811}$                   | 0,942          |

| Modelo de regressão linear das vazões mínimas de referência estimadas para os subsistemas |                |                |                                                   |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------------------------------------------|----------------|
| Vazão Referência                                                                          | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                              | R <sup>2</sup> |
| Q <sub>90</sub> Ago.                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Agosto}} = 3,4464 \ln A - 19,69$    | 0,992          |
| Q <sub>90</sub> Set.                                                                      | 5              | Linear         | $Q_{90 \text{ Setembro}} = 0,0076A - 2,2112$      | 0,977          |
| Q <sub>90</sub> Out.                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Outubro}} = 5,3142 \ln A - 30,288$  | 0,984          |
| Q <sub>90</sub> Nov.                                                                      | 5              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Novembro}} = 3,9272 \ln A - 22,582$ | 0,984          |
| Q <sub>90</sub> Dez.                                                                      | 4              | Logarítmica    | $Q_{90 \text{ Dezembro}} = 2,536 \ln A - 14,506$  | 0,982          |

**APÊNDICE E - Equações de regressão linear adotadas para determinação das vazões mínimas de referência nas seções hidrológicas de referência**

| Equações de regressão linear adotadas para estimativa de vazões mínimas de referência nas Seções Hidrológicas Referência (SHR) |                |                |                                                                  |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------------------------------------|----------------|
| Vazão Referência                                                                                                               | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                                             | R <sup>2</sup> |
| Q <sub>7;10</sub> anual                                                                                                        | 4              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ anual}} = 0,00000000000003A^{4,7263}$            | 0,873          |
| Q <sub>98</sub> anual                                                                                                          | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ anual}} = 0,00000000001A^{3,8309}$                 | 0,933          |
| Q <sub>95</sub> anual                                                                                                          | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ anual}} = 0,0000001A^{2,5373}$                     | 0,911          |
| Q <sub>90</sub> anual                                                                                                          | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ anual}} = 0,000005A^{2,027}$                       | 0,969          |
| Q <sub>Média Longo Termo</sub>                                                                                                 | 6              | Polinomial     | $Q_{mlt} = 0,000007A^2 + 0,0334A + 0,6388$                       | 0,999          |
| Q <sub>7;10</sub> - 1º Trimestre                                                                                               | 3              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ 1º Trimestre}} = 0,000000001A^{3,1949}$          | 0,998          |
| Q <sub>7;10</sub> - 2º Trimestre                                                                                               | 6              | Polinomial     | $Q_{7;10 \text{ 2º Trimestre}} = 0,000002A^2 + 0,0004A + 0,0525$ | 0,932          |
| Q <sub>7;10</sub> - 3º Trimestre                                                                                               | 6              | Exponencial    | $Q_{7;10 \text{ 3º Trimestre}} = 0,0858e^{0,0035A}$              | 0,976          |
| Q <sub>7;10</sub> - 4º Trimestre                                                                                               | 3              | Exponencial    | $Q_{7;10 \text{ 4º Trimestre}} = 0,0043e^{0,0073A}$              | 0,999          |
| Q <sub>98</sub> - 1º Trimestre                                                                                                 | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ 1º Trimestre}} = 0,000000002A^{3,0353}$            | 0,923          |
| Q <sub>98</sub> - 2º Trimestre                                                                                                 | 5              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ 2º Trimestre}} = 0,0000001A^{2,4699}$              | 0,937          |
| Q <sub>98</sub> - 3º Trimestre                                                                                                 | 5              | Polinomial     | $Q_{98 \text{ 3º Trimestre}} = 0,1014e^{0,0033A}$                | 0,917          |
| Q <sub>98</sub> - 4º Trimestre                                                                                                 | 3              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ 4º Trimestre}} = 0,0011e^{0,0088A}$                | 0,999          |
| Q <sub>95</sub> - 1º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{95 \text{ 1º Trimestre}} = -0,000003A^2 + 0,0052A + 0,6592$  | 0,996          |
| Q <sub>95</sub> - 2º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{95 \text{ 2º Trimestre}} = -0,000001A^2 + 0,0044A - 0,0022$  | 0,997          |
| Q <sub>95</sub> - 3º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{95 \text{ 3º Trimestre}} = 0,000002A^2 + 0,001A + 0,2138$    | 0,996          |
| Q <sub>95</sub> - 4º Trimestre                                                                                                 | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ 4º Trimestre}} = 0,0481A^{0,5878}$                 | 0,990          |
| Q <sub>90</sub> - 1º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ 1º Trimestre}} = -0,000003A^2 + 0,008A + 0,6731$   | 0,994          |
| Q <sub>90</sub> - 2º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ 2º Trimestre}} = -0,000001A^2 + 0,0059A - 0,0599$  | 0,997          |
| Q <sub>90</sub> - 3º Trimestre                                                                                                 | 4              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ 3º Trimestre}} = 0,000004A^2 + 0,0009A + 0,3546$   | 0,997          |
| Q <sub>90</sub> - 4º Trimestre                                                                                                 | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ 4º Trimestre}} = 0,0399A^{0,6677}$                 | 0,994          |
| Q <sub>7;10</sub> Jan.                                                                                                         | 3              | Exponencial    | $Q_{7;10 \text{ Janeiro}} = 0,0062e^{0,0106A}$                   | 0,999          |
| Q <sub>7;10</sub> Fev.                                                                                                         | 4              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Fevereiro}} = 0,000008A^{1,9228}$                | 0,916          |
| Q <sub>7;10</sub> Mar.                                                                                                         | 5              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Março}} = 0,000007A^{1,9766}$                    | 0,902          |
| Q <sub>7;10</sub> Abr.                                                                                                         | 4              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Abril}} = 0,000002A^{2,1679}$                    | 0,936          |
| Q <sub>7;10</sub> Mai.                                                                                                         | 4              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Maio}} = 0,00001A^{1,7775}$                      | 0,956          |
| Q <sub>7;10</sub> Jun.                                                                                                         | 5              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Junho}} = 0,000002A^{2,1155}$                    | 0,950          |
| Q <sub>7;10</sub> Jul.                                                                                                         | 5              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Julho}} = 0,00001A^{1,7937}$                     | 0,963          |
| Q <sub>7;10</sub> Ago.                                                                                                         | 4              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Agosto}} = 0,00000008A^{2,5815}$                 | 0,981          |
| Q <sub>7;10</sub> Set.                                                                                                         | 5              | Exponencial    | $Q_{7;10 \text{ Setembro}} = 0,0464e^{0,0049A}$                  | 0,982          |
| Q <sub>7;10</sub> Out.                                                                                                         | 5              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Outubro}} = 0,00000003A^{2,7932}$                | 0,939          |

| Equações de regressão linear adotadas para estimativa de vazões mínimas de referência nas Seções Hidrológicas Referência (SHR) |                |                |                                                        |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|--------------------------------------------------------|----------------|
| Vazão Referência                                                                                                               | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                                   | R <sup>2</sup> |
| Q <sub>7;10 Nov.</sub>                                                                                                         | 3              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Novembro}} = 0,00000006A^{2,6505}$     | 0,919          |
| Q <sub>7;10 Dez.</sub>                                                                                                         | 3              | Potencial      | $Q_{7;10 \text{ Dezembro}} = 0,000002A^{2,0757}$       | 0,917          |
| Q <sub>98 Jan.</sub>                                                                                                           | 3              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Janeiro}} = 0,00000000009A^{3,5388}$     | 0,999          |
| Q <sub>98 Fev.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Fevereiro}} = 0,000000004A^{2,9644}$     | 0,996          |
| Q <sub>98 Mar.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Março}} = 0,00000000004A^{3,7005}$       | 0,987          |
| Q <sub>98 Abr.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Abril}} = 0,0000000003A^{3,378}$         | 0,914          |
| Q <sub>98 Mai.</sub>                                                                                                           | 4              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ Maio}} = 0,0521e^{0,0035A}$              | 0,942          |
| Q <sub>98 Jun.</sub>                                                                                                           | 3              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Junho}} = 0,0000001A^{2,4733}$           | 0,928          |
| Q <sub>98 Jul.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Julho}} = 0,00000000007A^{3,5477}$       | 0,973          |
| Q <sub>98 Ago.</sub>                                                                                                           | 4              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ Agosto}} = 0,0188e^{0,0051A}$            | 0,992          |
| Q <sub>98 Set.</sub>                                                                                                           | 5              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Setembro}} = 0,000000000005A^{4,318}$    | 0,933          |
| Q <sub>98 Out.</sub>                                                                                                           | 4              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ Outubro}} = 0,0057e^{0,0007A}$           | 0,999          |
| Q <sub>98 Nov.</sub>                                                                                                           | 3              | Potencial      | $Q_{98 \text{ Novembro}} = 0,000000000006A^{3,9243}$   | 0,965          |
| Q <sub>98 Dez.</sub>                                                                                                           | 3              | Exponencial    | $Q_{98 \text{ Dezembro}} = 0,001e^{0,0086A}$           | 0,998          |
| Q <sub>95 Jan.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Janeiro}} = 0,0000004A^{2,2955}$         | 0,906          |
| Q <sub>95 Fev.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Fevereiro}} = 0,00000003A^{2,7597}$      | 0,980          |
| Q <sub>95 Mar.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Março}} = 0,0000004A^{2,4064}$           | 0,983          |
| Q <sub>95 Abr.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Abril}} = 0,0000006A^{2,3368}$           | 0,960          |
| Q <sub>95 Mai.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Maio}} = 0,000002A^{2,4163}$             | 0,954          |
| Q <sub>95 Jun.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Junho}} = 0,0000003A^{2,3636}$           | 0,961          |
| Q <sub>95 Jul.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Julho}} = 0,1545e^{0,0031A}$             | 0,901          |
| Q <sub>95 Ago.</sub>                                                                                                           | 5              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Agosto}} = 0,0000000002A^{3,4824}$       | 0,927          |
| Q <sub>95 Set.</sub>                                                                                                           | 5              | Exponencial    | $Q_{95 \text{ Setembro}} = 0,009e^{0,007A}$            | 0,953          |
| Q <sub>95 Out.</sub>                                                                                                           | 4              | Exponencial    | $Q_{95 \text{ Outubro}} = 0,0367e^{0,0054A}$           | 0,999          |
| Q <sub>95 Nov.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{95 \text{ Novembro}} = 0,00000000000003A^{4,7755}$ | 0,973          |
| Q <sub>95 Dez.</sub>                                                                                                           | 3              | Exponencial    | $Q_{95 \text{ Dezembro}} = 0,0023e^{0,0081A}$          | 0,997          |
| Q <sub>90 Jan.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Janeiro}} = 0,00001A^{1,8386}$           | 0,962          |
| Q <sub>90 Fev.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Fevereiro}} = 0,000003A^{2,1339}$        | 0,979          |
| Q <sub>90 Mar.</sub>                                                                                                           | 3              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Março}} = 0,00009A^{1,6494}$             | 0,974          |
| Q <sub>90 Abr.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Abril}} = 0,00003A^{1,7994}$             | 0,972          |
| Q <sub>90 Mai.</sub>                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Maio}} = 0,2948e^{0,0028A}$              | 0,989          |

| Equações de regressão linear adotadas para estimativa de vazões mínimas de referência nas Seções Hidrológicas Referência (SHR) |                |                |                                                            |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|------------------------------------------------------------|----------------|
| Vazão Referência                                                                                                               | Nº de Estações | Modelo Adotado | Equação de Regressão                                       | R <sup>2</sup> |
| Q <sub>90</sub> Jun.                                                                                                           | 6              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ Junho}} = 0,000003A^2 + 0,0015A + 0,1265$    | 0,950          |
| Q <sub>90</sub> Jul.                                                                                                           | 6              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Julho}} = 0,0022A^{1,0811}$                  | 0,942          |
| Q <sub>90</sub> Ago.                                                                                                           | 5              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Agosto}} = 0,2323e^{0,0031A}$                | 0,954          |
| Q <sub>90</sub> Set.                                                                                                           | 5              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Setembro}} = 0,0000003A^{2,4697}$            | 0,987          |
| Q <sub>90</sub> Out.                                                                                                           | 5              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Outubro}} = 0,000001A^{2,2796}$              | 0,956          |
| Q <sub>90</sub> Nov.                                                                                                           | 4              | Polinomial     | $Q_{90 \text{ Novembro}} = 0,000006A^2 + 0,0002A - 0,5228$ | 0,999          |
| Q <sub>90</sub> Dez.                                                                                                           | 4              | Potencial      | $Q_{90 \text{ Dezembro}} = 0,0000001A^{2,5147}$            | 0,965          |