

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

SABRINA BAESSO CADORIN

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO MANOEL ALVES COM ENFOQUE NA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE
ÁGUA PARA A RIZICULTURA**

CRICIÚMA

2018

SABRINA BAESSO CADORIN

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO MANOEL ALVES COM ENFOQUE NA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE
ÁGUA PARA A RIZICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de bacharel no curso de
Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade do Extremo Sul Catarinense,
UNESC.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro José Back

CRICIÚMA

2018

SABRINA BAESSO CADORIN

**AVALIAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO MANOEL ALVES COM ENFOQUE NA OUTORGA DE DIREITO DE USO DE
ÁGUA PARA A RIZICULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de bacharel no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 12 de novembro de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Álvaro José Back - Doutor - (UNESC) - Orientador

Prof. Gustavo José Deibler Zambrano - Mestre - (UNESC)

Prof. Gustavo Simão - Mestre - (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus pais, Donizete Cadorin e Silvana Baesso Cadorin, que sempre acreditaram em mim e nunca pouparam esforços para possibilitar o alcance dos meus objetivos. Dedico também a meu grande amigo Irê de Souza Vieira, Engº Ambiental, que nos deixou tão cedo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sempre iluminar minha vida e me proporcionar compartilhá-la com pessoas incríveis que me conferem aprendizados e experiências únicas.

Agradeço a minha família por sempre estar ao meu lado, me dando forças para conquistar meus sonhos. Meu amor por vocês é incondicional. Aos meus pais agradeço pela educação que recebi e pela confiança depositada sobre minhas escolhas. Aos meus irmãos, Douglas, Daniel, Diogo, Davi e Sara, sou grata por tê-los em minha vida, independente de suas particularidades me fazem um bem enorme. Obrigada pelo carinho e companheirismo.

Agradeço também aos meus amigos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, seja me apoiando ou compartilhando comigo as experiências da graduação. Agradeço em especial às minhas amigas e colegas de casa, Cassandra Costa Selau e Natália Duarte Machado Pinto, que estiveram presentes no meu dia a dia desde o primeiro semestre do curso.

Agradeço ainda aos professores, colegas e amigos que participaram da minha trajetória acadêmica, contribuindo para meu aprendizado dentro de sala de aula e nas atividades extracurriculares, especialmente na ECO Jr., FEJESC, projeto de extensão Coleta Seletiva Solidária, nos estágios não obrigatórios, movimento estudantil e no intercâmbio estudantil ao Peru. Agradeço também a UNESCO que possibilitou estas experiências.

Agradeço por fim ao professor Dr. Álvaro José Back por compartilhar seus conhecimentos comigo e me orientar neste trabalho e ao meu supervisor de estágio Me. Jóri Ramos Pereira por sempre se mostrar disponível a me auxiliar no trabalho e a sanar minhas dúvidas. Agradeço ainda aos colegas do estágio obrigatório que me receberam atenciosamente e ensinaram muito sobre a vida profissional.

"A água é o princípio de todas as coisas."

Tales de Mileto

RESUMO

A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola da região sul catarinense e a que ocupa maior área plantada, a qual consome grandes quantidades de água. O presente estudo foi realizado a partir de uma pesquisa descritiva, com abordagem quantitativa e de natureza aplicada. Os objetivos foram avaliar a relação entre a disponibilidade e o consumo de água na bacia hidrográfica do rio Manoel Alves; caracterizar o regime hidrológico da bacia e determinar a vazão média de longo termo, as vazões médias mensais, a curva de permanência e a vazão mínima $Q_{7;10}$; avaliar a disponibilidade hídrica para a irrigação de arroz e os critérios de outorga de direitos de uso da água; propor medidas para garantir o suprimento da demanda. A bacia de estudo é localizada no extremo sul catarinense e engloba partes dos municípios de Meleiro, Morro Grande e Nova Veneza. Para a obtenção de dados foi realizado o diagnóstico físico da bacia e elaborados mapas para sua identificação e qualificação. A bacia do rio Manoel Alves tem como principal uso do solo a vegetação arbórea (60,84%), seguido pela rizicultura (16,98%), outros cultivos agrícolas, como pastagens e campos naturais (16,03%) e o restante inclui áreas urbanizadas e/ou construídas, solo exposto, mineração e outros usos não especificados anteriormente (6,15%). Os dados de vazão foram obtidos através da série histórica de 1977 a 2014 da estação Foz do Manuel Alves, localizada em Meleiro. O trabalho obteve como resultados de vazões: vazão média de longo termo igual a $13,77 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, vazões de permanência no tempo, $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{98\%}$, correspondentes a $2,176 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, $1,486 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e $0,927 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, respectivamente e vazão mínima $Q_{7;10}$ de $0,073 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Estes valores divergem dos determinados para a Unidade de Gestão Rio Manoel Alves no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araranguá (2014) devido a diferença das metodologias utilizadas para determinação das vazões. Tendo conhecimento que a rizicultura ocupa cerca de 6.670 hectares da bacia hidrográfica e demanda por volta de $6.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de água por safra, concluiu-se com base no estudo realizado, que as vazões requeridas correspondem a vazões mensais com frequência inferior a 15%. A baixa disponibilidade prejudica a garantia de água para a área cultivada. Com o intuito de otimizar o uso da água e aumentar a disponibilidade pode-se adotar estratégias estruturais, como barramentos nos rios e uso de outras fontes de captação, e não estruturais, como a redução gradual da demanda de água para irrigação e conscientização permanente sobre a otimização do uso. Como se trata de rios de domínio do Estado, a SDS é a responsável pela emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, a qual adota como critério para análise de disponibilidade de água o equivalente a 50% da vazão de permanência de 98% do tempo. Utilizando este critério não é possível suprir as demandas de água da rizicultura. Recomenda-se a definição de critérios mais adequados a realidade da bacia e a emissão de outorgas coletivas através de associações de irrigantes.

Palavras-chave: Demanda de água. Cultivo de arroz. Recursos hídricos. Vazão. Conflitos de uso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vazões outorgadas por finalidade de uso.	23
Figura 2 - Vazão média por outorga emitida, para cada finalidade de uso (L/s).	23
Figura 3 - Área semeada e produtividade do arroz na safra 2009/10 em Santa Catarina.....	25
Figura 4 - Localização da estação fluviométrica Foz do Manuel Alves.	34
Figura 5 - Localização geográfica da bacia do rio Manoel Alves.....	42
Figura 6 - Hidrografia da bacia do rio Manoel Alves.....	43
Figura 7 - Mapa de distribuição da altimetria da bacia do rio Manoel Alves.....	44
Figura 8 - Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves.	46
Figura 9 - Gráfico das vazões médias anuais.	49
Figura 10 - Gráfico das médias das vazões mensais do período de 1977 a 2014. ...	50
Figura 11 - Distribuições de frequência das vazões obtidas e teóricas para as vazões médias.....	54
Figura 12 - Curva de permanência de vazões do rio Manoel Alves.	57
Figura 13 - Distribuições de frequência observada e teórica para as vazões mínimas anuais.....	61
Figura 14 - Relação entre as vazões mínimas e a vazão $Q_{7,10}$	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Método Eficiência de referência (%).....	31
Tabela 2 - Distribuição do uso e ocupação do solo.....	45
Tabela 3 - Vazões médias mensais no período de 1977 e 2014, representadas em $m^3.s^{-1}$	48
Tabela 4 - Comparação entre as vazões médias de longo período e as específicas obtidas e as apresentadas pelo plano da BHRA.	50
Tabela 5 - Teste de ajustamento K-S para as vazões médias mensais.....	52
Tabela 6 - Parâmetros determinados para a distribuição Gama.	53
Tabela 7 - Tabela de dados da curva de permanência.	55
Tabela 8 - Vazões de permanência do rio Manoel Alves.	57
Tabela 9 - Comparação entre as vazões de permanência obtidas e as apresentadas pelo plano da BHRA.....	58
Tabela 10 - Vazões mínimas mensais de sete dias dos anos da série de 1977 - 2014, representadas em $m^3.s^{-1}$	59
Tabela 11 - Vazões mínimas de sete dias para o período de 1977 a 2014.	60
Tabela 12 - Teste de ajustamento K-S para as vazões mínimas.	61
Tabela 13 - Vazões mínimas anuais de 7 dias para os períodos de retorno de 2 a 100 anos.	62
Tabela 14 - Probabilidade de ocorrência da vazão necessária mensal para rizicultura.....	64
Tabela 15 - Área atendida pela vazão outorgável Q98%.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADISI	Associação de Irrigação e Drenagem Santo Isidoro
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
BHRA	Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá
DRHI	Diretoria de Recursos Hídricos
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
PNRH	Plano Nacional dos Recursos Hídricos
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
SDS	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SOSBAI	Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado
UG	Unidade de Gestão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 HIDROLOGIA	15
2.1.1 Bacia Hidrográfica	15
2.1.2 Precipitação	17
2.1.3 Vazão Mínima	17
2.1.3.1 Vazão $Q_{7;10}$	18
2.1.4 Vazão Média e Vazão Média de Longo Termo	19
2.1.5 Modelos estatísticos de distribuições	19
2.1.6 Curva de Permanência	21
2.1.7 Monitoramento de vazão	21
2.2 USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA	22
2.3 ARROZ IRRIGADO	24
2.3.1 Sistema de cultivo pré-germinado	25
2.3.2 Demanda de água para rizicultura	27
2.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA	29
2.4.1 Aspectos Legais	29
2.4.2 Critérios para Concessão de Outorga	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 ANÁLISE DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS	34
3.1.1 Distribuição Gama	35
3.1.2 Distribuição Normal	36
3.1.3 Distribuição Log-Normal	36
3.1.4 Teste de Kolmogorov-Smirnov	36
3.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA	37
3.3 ANÁLISE DAS VAZÕES MÉDIAS MÍNIMAS	38
3.3.1 Distribuição de Gumbel	38
3.3.2 Distribuição Weibull	39
3.4 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA	39
4 ÁREA DE ESTUDO	41
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	41
4.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	45

	12
5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	48
5.1 VAZÕES MÉDIAS	48
5.1.1 Teste de Ajustamento das Distribuições	52
5.1.2 Curva de Permanência	55
5.2 VAZÕES MÍNIMAS	58
5.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA	63
5.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA	65
6 CONCLUSÃO	68
REFERÊNCIAS	70
ANEXOS	76

1 INTRODUÇÃO

A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola da região sul catarinense e a que ocupa maior área plantada, sendo cultivada no sistema de plantio pré-germinado com irrigação por inundação, a qual consome grandes quantidades de água. (EPAGRI, 1998 apud ROSSO, 2007).

A bacia hidrográfica do rio Manoel Alves é localizada no extremo sul catarinense e abrange áreas de três municípios, sendo eles Meleiro, Morro Grande e Nova Veneza. A região é predominantemente agrícola, sendo a rizicultura o cultivo mais representativo em extensão de área.

Como o cultivo do arroz demanda uma grande quantidade de água é necessário garantir que esta seja suprida para evitar perdas na produção e conflitos entre usuários. O estudo realizado neste trabalho de conclusão de curso busca avaliar a disponibilidade hídrica na bacia do rio Manoel Alves por meio da análise de suas vazões médias, vazões de permanência ao longo do tempo e vazões mínimas.

A Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, traz como instrumento de gestão a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. A outorga tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso. (BRASIL, 1997).

A irrigação por se tratar de um uso que altera o regime, a quantidade e a qualidade da água existente em um corpo de água, necessita emissão da outorga de direito de uso. Devido ao fato dos rios da bacia de estudo serem de domínio do Estado, a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS) é a responsável pela emissão das outorgas, tendo como critério de análise da disponibilidade hídrica a vazão de permanência por 98% do tempo, Q98%. Sendo a vazão outorgável equivalente a 50% da vazão de referência. (SDS, 2008).

A concessão da outorga garante os direitos de uso do recurso hídrico a fim de suprir a demanda de água da atividade, além de possuir papel importante na conservação dos ecossistemas aquáticos naturais que deriva a água captada, bem como dos aspectos paisagísticos e de interesses científicos ou culturais.

Este trabalho tem como objetivo geral avaliar a relação entre a disponibilidade e consumo de água na bacia do rio Manoel Alves. Sendo

determinados como objetivos específicos: Caracterizar o regime hidrológico da bacia e determinar a vazão média de longo termo, as vazões médias mensais, a curva de permanência e a vazão mínima $Q_{7,10}$; Avaliar a disponibilidade hídrica para a irrigação de arroz na bacia; Analisar os critérios de outorga de direitos de uso da água; Propor medidas para garantir o suprimento da demanda hídrica na bacia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 HIDROLOGIA

“Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua relação com o meio ambiente, incluindo sua relação com formas vivas.”. (United State Federal Council Science and Technology apud TUCCI, 2002, p. 25).

De acordo com Tucci (2002, p. 25) a Hidrologia tem tido evolução significativa diante dos problemas crescentes, resultados da ocupação das bacias hidrográficas, do aumento significativo da utilização da água e do resultante impacto sobre o meio ambiente do planeta.

A Hidrologia no âmbito dos Recursos Hídricos tem papel fundamental no estudo do comportamento físico da ocorrência e aproveitamento da água nas bacias, quantificando os recursos hídricos no tempo e no espaço e avaliando o impacto da modificação da bacia hidrológica sobre o comportamento dos processos hidrológicos. A quantificação da disponibilidade serve de base para o projeto e planejamento da gestão dos recursos hídricos. (TUCCI, 2002, p. 26).

2.1.1 Bacia Hidrográfica

O Estado de Santa Catarina está dividido em 10 Regiões Hidrográficas para efeito do planejamento, gestão e gerenciamento dos recursos hídricos, conforme Lei Estadual nº 10.949, de 09 de novembro de 1998. Estas 10 Regiões Hidrográficas compreendem um total de 23 bacias hidrográficas consideradas principais. (SANTA CATARINA, 1998).

A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica é, portanto, uma área topograficamente definida, composta basicamente por um conjunto de superfícies que escoam a água e um sistema conectado de cursos d'água que convergem para o exutório (SILVEIRA, 2002, p. 40). De acordo com Santa Catarina (1998): “considera-se bacia hidrográfica a área geográfica de contribuição de um determinado curso d'água”.

A bacia hidrográfica é apontada como a unidade territorial mais adequada para a gestão integrada dos recursos hídricos. A própria Política Nacional dos Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, trás como um de seus fundamentos que “a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.”.

A formação da bacia hidrográfica dá-se através dos desníveis dos terrenos que direcionam os cursos da água, sempre das áreas mais altas para as mais baixas. É uma área geográfica e, como tal, mede-se em km². A área de drenagem da bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas. (ANA, 2018a, p. 12).

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. Estes elementos incluem a sua área de drenagem, a forma superficial, o sistema de drenagem e as características do relevo. Existe uma importante correlação entre o regime hidrológico e os elementos que a caracterizam, sendo, portanto de grande utilidade prática o conhecimento destes elementos. (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 12).

De acordo com Back (2014, p. 63), a forma da bacia tem influência no tempo que a água de seus limites mais distantes leva para chegar à saída, definido como tempo de concentração. Para caracterizar a forma da bacia, costuma-se relacioná-las com figuras geométricas conhecidas. Quanto ao sistema de drenagem, este “é constituído pelo rio principal e todos seus tributários, perenes ou intermitentes, incluindo todos os canais naturais, que surgem a partir da linha divisória das águas”. (BACK, 2014, p. 74).

O relevo possui importância significativa, já que tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade de escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto os fatores climatológicos, como temperatura, precipitação e evaporação são funções da altitude da bacia. A determinação de curvas características do relevo de uma bacia hidrográfica é, portanto, de grande importância. (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 17).

Com relação aos aspectos hidrológicos, segundo Pereira (2016, p. 33), “as características principais da bacia hidrológica são: i) área de drenagem, ii) o comprimento do rio principal, iii) declividade do rio e a iv) declividade da bacia.”.

2.1.2 Precipitação

“A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações.” (BERTONI; TUCCI, 2002, p. 175).

A formação das precipitações está ligada à ascensão das massas de ar, que pode ser devida à convecção térmica, influência do relevo ou ação frontal de massas. Essa ascensão do ar provoca um resfriamento que pode fazê-lo atingir o ponto de saturação levando a condensação da água em forma de gotículas que são mantidas em suspensão como nuvens ou nevoeiros. Somente é seguida de uma precipitação se essas gotas crescerem a partir de núcleos, que podem ser poeira, gelo ou outra partícula, até atingirem peso suficiente para vencerem as forças de sustentação e caírem. (HOLTZ, 1976, p. 7).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A chuva, por sua capacidade de escoamento, é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia. As características principais da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial. O total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração. (BERTONI; TUCCI, 2002, p. 175).

A chuva que cai sobre um solo saturado de umidade ou impermeável escoar por sua superfície e forma a drenagem principal das bacias hidrográficas. De acordo com Martins (1976, p. 38) vazão “é o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água.”.

2.1.3 Vazão Mínima

De acordo com Pereira (2016), a vazão ecológica, ambiental, mínima ou de outorga é a demanda necessária a ser mantida em um rio de forma a assegurar a manutenção e a conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, dos aspectos paisagísticos, e de interesses científicos ou culturais.

As vazões mínimas são consideradas geralmente como as vazões de estiagem, sendo representadas pelos valores mais baixos da série histórica. No

entanto, a vazão mínima mensal é o menor valor registrado em cada mês e não é necessariamente uma vazão correspondente a um período de estiagem. Normalmente a vazão mínima é aplicada para avaliação da demanda mínima que um rio pode oferecer. (DESTEFANI, 2005, p. 13).

A curva de probabilidade de vazões mínimas possibilita encontrar a estimativa de riscos de ocorrerem vazões menores que um valor escolhido. De acordo com Tucci (2002, p. 579), as vazões mínimas, em alguns casos, se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. São associadas a uma duração t . Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias, indica que é o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos. Usualmente, a vazão mínima de 1 dia tem pouca utilidade, enquanto as durações maiores, como 7 ou 30 dias apresentam maior interesse ao usuário, já que a sequência de vazões baixas é a condição mais crítica na utilização da água.

O conhecimento das vazões mínimas nas bacias hidrográficas é básico em estudos de disponibilidades hídricas e preservação ambiental, pois estão naturalmente vinculados a períodos críticos de oferta de água no rio. As avaliações de pequenos aproveitamentos hidrelétricos, sistemas de irrigação e de abastecimento de água em perímetros urbanos dependem do conhecimento das vazões mínimas, assim como estudos de qualidade de água e de apoio à instrução de processos de outorga de uso dos recursos hídricos. (SILVEIRA, 1997, p. 6).

2.1.3.1 Vazão $Q_{7,10}$

A determinação da vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) é um importante parâmetro hidrológico com grande aplicação nos estudos de planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos. Constitui importante instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos do Brasil, pois fornece estimativa estatística da disponibilidade hídrica dos escoamentos naturais de água. (SILVEIRA; MOURA; ANDRADE, 2006).

2.1.4 Vazão Média e Vazão Média de Longo Termo

A vazão média anual de um rio é a média diária de todos os valores do ano. A vazão média permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético, entre outros usos. (TUCCI, 2002, p. 579).

Segundo a Santa Catarina (2006, p. 52) a vazão média de longo termo, ou de longo período, é a média das vazões médias anuais ou a média das médias. A vazão média de longo termo é o principal parâmetro hidrológico-estatístico para caracterizar a disponibilidade hídrica de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica em uma seção qualquer. “A vazão média de longo período é a maior vazão possível de ser regularizada numa bacia.” (TUCCI, 2002, p. 579).

2.1.5 Modelos estatísticos de distribuições

Os modelos estatísticos podem ajudar a descrever o comportamento das variáveis hidrológicas, como por exemplo, a flutuação irregular que segue uma tendência. Normalmente estes modelos são compostos por duas partes: a sistemática e a aleatória. A primeira dependente do tempo e usualmente contém alguns valores fixos, sendo necessário obtê-los com base nos dados disponíveis. Estes valores são denominados como parâmetros. Já a parte aleatória representa a flutuação com relação à componente sistemática e também varia com o tempo. (CLARKE, 2002, p. 664).

De acordo com as características intrínsecas presentes nas amostras de certas variáveis hidrológicas, especificam-se alguns dos modelos probabilísticos que previsivelmente melhor se adequam a essas variáveis. Assim, (i) as distribuições Normal e log-Normal são frequentemente aplicáveis a valores anuais da precipitação e do escoamento; (ii) as distribuições log-Normal, de Gumbel para máximos, Pearson III, log-Pearson III e Generalizada de Valores Extremos, a valores extremos máximos, tais como, precipitações máximas anuais com dada duração ou caudais instantâneos máximos anuais; e (iii) os modelos de Gumbel para mínimos e de Weibull, a valores mínimos, por exemplo, de estiagem, como caudais médios diários ou em períodos de 7 dias, ambos mínimos anuais. (NAGHETTINI; PORTELA, 2011, p. 24).

De acordo com Finkleret al. (2015), a distribuição de Gumbel (mínimos), denominada também como extremo tipo I, é uma distribuição extremal bastante utilizada na análise de eventos hidrológicos mínimos anuais.

A distribuição de Weibull pertence à mesma família que a distribuição de Gumbel e é chamada também de extremo tipo III. De acordo com Finkleret al. (2015), em um cenário extremo as vazões que escoam por uma seção fluvial são forçosamente limitadas inferiormente pelo valor zero, a distribuição de Weibull torna-se uma ótima opção para modelagem de eventos hidrológicos mínimos anuais.

A distribuição Normal aplica-se à descrição de algumas variáveis hidrológicas, segundo o qual a soma (ou a média) de um grande número de variáveis aleatórias independentes tende a ser normalmente distribuída. Raciocínio análogo pode ser elaborado para a distribuição log-Normal, no que respeita ao produto de um grande número de variáveis independentes. (NAGHETTINI; PORTELA, 2011, p. 24).

De acordo com Chow (1954) apud Costa (2014), a distribuição log-Normal tem sido utilizada em diversos campos, como astronomia, agricultura, biologia e economia. Uma das primeiras aplicações em hidrologia foi feita em 1914, quando foi sugerido o uso dos logaritmos das vazões com a distribuição normal. A análise de valores extremos de chuva e de vazão são exemplos de aplicações desta distribuição.

De acordo com Coan (2014), a distribuição Gama se mostra adequada para estimar a probabilidade das precipitações mensais, tendo aplicação também para as séries anuais.

Um dos objetivos para os quais os modelos estatísticos são usados é para planejamento do suprimento de água para uso doméstico, uso agrícola, geração de energia ou indústria. Os planejadores necessitam assegurar que o suprimento é suficiente e confiável. Isto não significa que este suprimento nunca vai falhar, mas que a frequência de falhas é pequena e, quando ocorrerem, a duração será curta e de magnitude não muito grande. Se a água é retirada do rio, o planejador pode utilizar um modelo e explorar, por simulação, o comportamento do escoamento durante o ano, possibilitando identificar a frequência que as falhas ocorrem para uma dada regra de retirada. (CLARKE, 2002, p. 670).

2.1.6 Curva de Permanência

As curvas de permanência permitem representar as relações entre as vazões médias mensais de um rio com as probabilidades ou percentagens dos meses com ocorrências que igualem ou superem este valor de vazão. Desta forma pode-se avaliar estatisticamente a quantidade de meses que a disponibilidade hídrica de um rio supera a uma vazão requerida para diversos usos dos recursos hídricos. (SANTA CATARINA, 2006, p. 76).

“A curva de permanência relaciona a vazão ou nível de um rio e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais ao valor da ordenada. Esta curva pode ser estabelecida com base em valores diários, semanais ou mensais.”. (TUCCI, 2002, p. 603).

Com relação à forma de determinação da curva de permanência, Pinto (1976, p. 170) descreve que:

A sucessão de valores de vazões médias de certo intervalo de tempo (dia, mês) constitui uma série de dados que pode ser organizada segundo uma distribuição de frequências. Para isso, basta definir os intervalos de classe em função da ordem de grandeza das descargas e contar e registrar o número de dados que se situam em cada intervalo. Acumulando-se as frequências das classes sucessivas e lançando-as em um gráfico, em correspondência aos limites inferiores dos respectivos intervalos de classe, obtém-se a curva de permanência das vazões, que nada mais é que a curva acumulativa de frequência da série temporal contínua dos valores das vazões.

A curva de permanência de vazões é a representação gráfica da função $Q(t)$, a qual está relacionada ao intervalo de tempo que as vazões mantiveram-se iguais ou superiores ao valor de vazão determinado inicialmente. A duração normalmente é expressa em porcentagem. (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 131).

2.1.7 Monitoramento de vazão

“Uma estação hidrométrica é qualquer seção de um rio, convenientemente instalada e operada para a obtenção sistemática das vazões ao longo do tempo.” (PINTO; HOLTZ, 1976, p. 182).

De acordo com Pinto e Holtz (1976, p. 182), a instalação da estação inclui os dispositivos de medição do nível das águas, réguas linimétricas ou linígrafos, devidamente atribuído a uma cota conhecida e materializada no terreno.

De modo geral, a vazão é obtida a partir do nível das águas, observado com ajuda da régua linimétrica ou registrado pelo linígrafo. A relação nível-vazão deve ser estabelecida por medições diretas em diversas situações de descarga, em geral, ser consubstanciada graficamente pela curva de descarga ou curva-chave da seção. Esta relação pode ser unívoca ou não, constante ou variável com o tempo, dependendo das condições locais. (PINTO; HOLTZ, 1976, p. 182).

A morfologia e a declividade do rio influenciam diretamente no resultado da curva-chave. Segundo Pinto e Holtz (1976, p. 190), podem-se definir três tipos principais de curvas-chaves: curvas estáveis e unívocas; curvas estáveis influenciadas pela declividade e curvas instáveis.

- a) *Curvas estáveis e unívocas*: As curvas de descargas unívocas são possíveis quando a declividade da superfície líquida é constante ou muito pouco variável.
- b) *Curvas estáveis influenciadas pela declividade*: Em rios de pequena inclinação, diversas causas podem acarretar alterações de declividade da linha de água, que se refletem em modificações de vazão, independente da alteração do nível das águas.
- c) *Curvas instáveis*: Quando as condições de controle são instáveis, as curvas de descarga variam ao longo do tempo de maneira imprevisível. A precisão dos resultados estará ligada à frequência com que se realizem medições de vazão, capazes de definir as relações cotas-descargas válidas para cada período de predominância de determinada condição de controle.

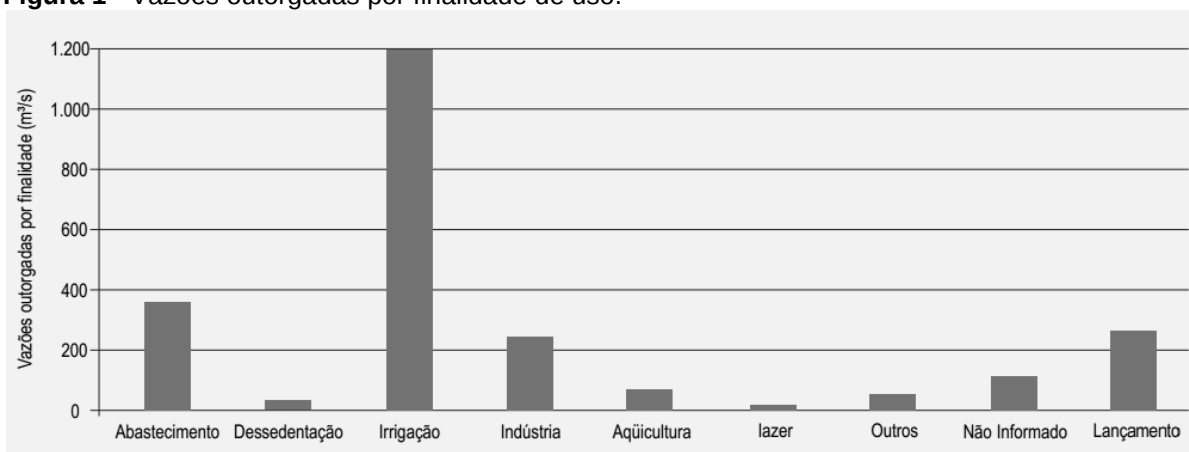
2.2 USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA

A crescente demanda pela água para satisfazer os múltiplos usos associado à variabilidade sazonal e espacial da disponibilidade hídrica tem contribuído para o aumento dos conflitos entre os usuários. No Sul do país, a enorme demanda de água para irrigação de arrozais é o caso mais visível destes conflitos. (BACK; JUST, 2018, p. 134).

De acordo com Lanna (2002, p. 735), a irrigação está inclusa dentro da classe de uso agricultura e aquicultura, que neste caso se refere ao uso da água como bem intermediário visando à criação de condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de espécies vegetais de interesse para a sociedade. Este uso é consultivo, isto é, a água é retirada de sua fonte natural diminuindo suas disponibilidades, espacial e temporalmente.

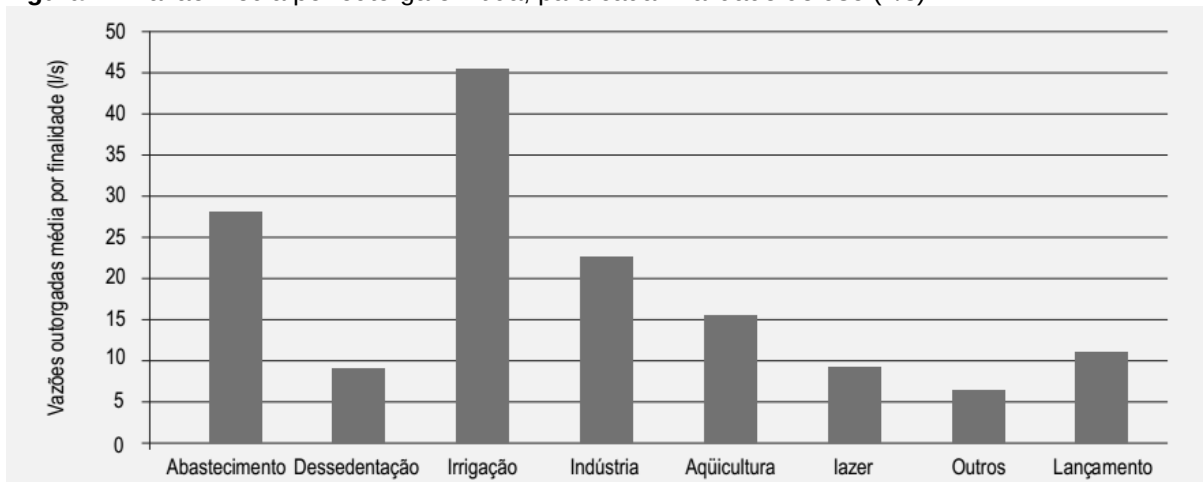
Segundo a ANA (2007, p. 37), os maiores setores usuários dos recursos hídricos são o consumo humano, em termos de número de outorgas emitidas, e a agricultura irrigada, em termos de vazões outorgadas. A Figura 1 apresenta estatísticas de vazões outorgadas por finalidade de uso. Percentualmente, 60% das vazões outorgadas por finalidade de uso são para irrigação. A irrigação ainda se destaca por ser o uso com maior vazão média por outorga emitida (Figura 2).

Figura 1 - Vazões outorgadas por finalidade de uso.



Fonte: ANA, 2007.

Figura 2 - Vazão média por outorga emitida, para cada finalidade de uso (L/s).



Fonte: ANA, 2007.

Com relação a gestão dos recursos hídricos bem como a quantificação da água consumida, Back e Just (2018, p. 134) destacam que:

Para a gestão dos recursos hídricos e diminuição dos conflitos é fundamental que se conheça as disponibilidades de água e demandas de cada um dos usos previstos. A demanda para o abastecimento urbano é razoavelmente bem conhecida, uma vez que existem registros históricos de consumo de água. No caso da água usada rizicultura ainda não há informações precisas do real consumo de água.

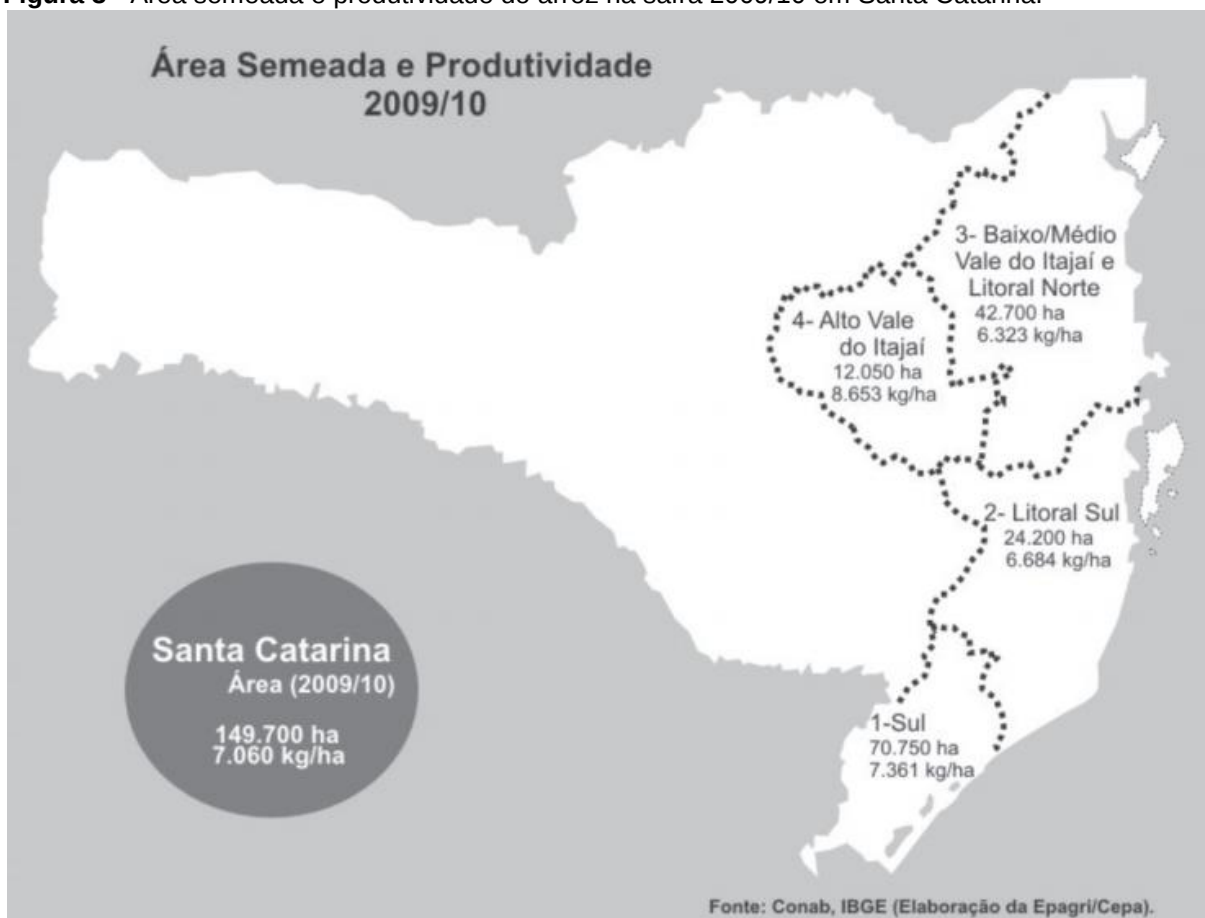
O aumento da produtividade passa pelo aumento da irrigação em grande parte do país. A produção agrícola no Sul do Brasil, como o cultivo do arroz, utiliza quantidades significativas de água. (TUCCI, 2002).

2.3 ARROZ IRRIGADO

O arroz é o segundo cereal mais cultivado no mundo, sendo um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. A área mundial de cultivo do arroz é de aproximadamente 158 milhões de hectares, produzindo cerca de 662 milhões de toneladas de grãos em casca, o que corresponde a 29% do total de grãos usados na alimentação humana. (SOSBAI, 2010, p. 8).

Segundo SOSBAI (2010, p. 9), a área cultivada com arroz no estado de Santa Catarina tem se mantido constante ao longo do tempo, em torno de 150 mil hectares, sendo produzidos em 142 municípios, concentrados no Litoral ou próximo (Região do Baixo e Médio Vale do Itajaí), com 92% da área, e no Alto Vale do Itajaí, com 8% da área (Figura 3). Na safra 2008/09 havia 8.499 agricultores produzindo arroz irrigado em 11,23 mil propriedades, com área média de 13,3 ha, sendo 32% delas arrendadas.

Figura 3 - Área semeada e produtividade do arroz na safra 2009/10 em Santa Catarina.



Fonte: SOSBAI, 2010.

A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola da região sul catarinense e a que ocupa maior área plantada, sendo cultivada com irrigação por inundação no sistema de plantio pré-germinado, o qual consome grandes quantidades de água. (EPAGRI, 1998 apud ROSSO, 2007, p. 1).

2.3.1 Sistema de cultivo pré-germinado

O plantio de arroz no sistema pré-germinado caracteriza-se pela implantação da cultura com sementes pré-germinadas, distribuídas a lanço de forma manual ou mecanizada, em solo previamente inundado com lâmina d'água de aproximadamente 5 cm. A pré-germinação das sementes é realizada imergindo em água os sacos porosos ou em tanques, sendo mantido em hidratação durante 24 a 36 horas. Após esse período, as sementes são retiradas da água e deixadas à sombra por mais 24 a 36 horas. (SOSBAI, 2010, p. 54).

De acordo com SOSBAI (2010, p. 54), nas condições de cultivo de Santa Catarina, onde se cultiva arroz no sistema pré-germinado, as operações de preparo do solo normalmente compreendem três etapas: incorporação da resteva de arroz e plantas daninhas, feita preferencialmente em solo seco para evitar a proliferação de plantas daninhas aquáticas; formação da lama, realizada em solo alagado; e renivelamento e alisamento do solo, para tornar a superfície lisa e nivelada, própria para receber a semente pré-germinada.

Após a semeadura é necessário realizar os tratos culturais para controle das ervas daninhas, insetos e doenças que prejudicam ou impedem o desenvolvimento das plantas de arroz. O controle pode ser realizado através da prevenção, manejo cultural, controle químico, mecânico ou biológico. A escolha do tipo de controle varia de acordo com o agente causador, espécie, resistência e tamanho da área afetada. (SOSBAI, 2010).

Segundo SOSBAI (2010), a prevenção ocorre interrompendo o ciclo de multiplicação e de disseminação do agente. Já o manejo cultural engloba qualquer procedimento ou prática agrícola que favoreça maior competitividade da cultura com as plantas daninhas, principalmente na fase inicial de seu estabelecimento. O controle biológico, como o próprio nome sugere, utiliza agentes biológicos, sendo mais apropriado para uso em lavouras de menores dimensões. O controle mecânico, por sua vez, utiliza implementos, manuais ou tracionados. Por fim, o controle químico utilizando os herbicidas, inseticidas e fungicidas, tem sido o método mais utilizado na lavoura orizícola em função da sua praticidade, eficiência e rapidez.

Quando os grãos atingem a maturidade e apresentam umidade entre 18 e 24% é efetuada a colheita do arroz, geralmente de forma mecanizada. Após a colheita o produto é transportado até uma unidade onde é realizada a pré-limpeza para retirada das impurezas, seguida da secagem, armazenamento e beneficiamento, para posterior comercialização. (SOSBAI, 2010).

Segundo SOSBAI (2010, p. 55), “para maior eficiência do sistema pré-germinado, é necessário um perfeito controle da água na lavoura, que permita manejar a lâmina de acordo as necessidades.”.

O sistema pré-germinado tem como vantagens, quando comparado aos sistemas tradicionais de irrigação, a redução da incidência de plantas daninhas, a maior disponibilidade de nutrientes no solo para as plantas de arroz, o efeito termo-regulador e a redução de mão-de-obra. Apesar dessas vantagens, por ter maior

período de irrigação contínua, este cultivo apresenta como desvantagem o maior consumo de água. (BACK; JUST, 2018, p. 135).

2.3.2 Demanda de água para rizicultura

O manejo da água da lavoura de arroz está relacionado ao sistema de cultivo utilizado. O Estado de Santa Catarina caracteriza-se pelo cultivo em pequenas áreas, onde predomina o sistema de cultivo de quadros em nível. Este sistema tem-se mostrado o sistema mais eficaz no manejo da água, devido à boa distribuição da água e maior planejamento no sistema de irrigação e drenagem. (SOSBAI, 2010, p. 86).

A necessidade de água para gestão de um cultivo de arroz irrigado está condicionada a vários fatores, tais como: tipo de solo, condições climáticas da região, eficiência no manejo da lavoura e cultivares utilizadas. (ROSSO, 2007, p. 11).

O volume de água requerido pelo arroz irrigado por inundação do solo é o somatório da água necessária para saturar o solo, formar uma lâmina, compensar a evapotranspiração e repor as perdas por percolação e fluxo lateral. No cálculo da necessidade de água de uma lavoura, devem-se incluir ainda as perdas nos canais de irrigação. (SOSBAI, 2010, p. 86).

Tendo em vista que o sistema mais utilizado em Santa Catarina é o pré-germinado, além da água necessária durante o ciclo da cultura, deve-se considerar também as necessidades para o preparo do solo, que normalmente é feito sob condições de inundação. (SOSBAI, 2010, p. 86).

No sistema de produção pré-germinado, é mantida uma lâmina permanente de água entre 10 e 20 cm em toda área. Caso a precipitação sobre a área não seja suficiente para manter uma lâmina ideal, é necessário que a irrigação seja feita para a manutenção do sistema. (SILVA, 2015, p. 33).

Segundo SOSBAI (2010, p. 87), para suprir a necessidade de água do arroz, estima-se que é utilizado em média um volume de água de 8.000 a 10.000 m³.ha⁻¹ (vazão de 1,0 a 1,4 L/s.ha), para um período médio de irrigação de 80 a 100 dias. A demanda de água varia de acordo com as características do local, solos de textura mais leve e com maior declividade normalmente requerem maior quantidade

de água. Da mesma forma, a demanda hídrica aumenta em períodos com temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa ou com baixa precipitação.

No sistema de semeadura com sementes pré-germinadas, o período de irrigação é proporcionalmente maior, iniciando-se já no preparo do solo. Para o preparo do solo, aplica-se uma lâmina de água de 4 a 5 centímetros sobre a superfície, mais a lâmina necessária para saturar o solo, porém pode-se aproveitar a água de precipitações pluviais para esta finalidade. A quantidade de água para saturar o solo depende da profundidade do lençol freático e/ou da camada impermeável, do teor de umidade e do espaço poroso do solo. Normalmente são necessários de 1.000 a 2.000 metros cúbicos por hectare para essa fase. Outra fase crítica de demanda de água nesse sistema ocorre por ocasião da reposição de água após a aplicação do herbicida pós-semeadura do arroz. Nesta fase, a reposição deverá ser feita em um ou dois dias, sendo recomendável uma vazão mínima de 2 a 3 litros por segundo por hectare, o que sugere um escalonamento na aplicação do herbicida, para evitar falta de água na reposição da lâmina. Para manutenção da lâmina, vazões em torno de 1 litro por segundo por hectare são suficientes, tendo em vista a baixa percolação da água no solo, devido à formação da lama. (SOSBAI, 2010, p. 87).

Em síntese, a necessidade de água do arroz irrigado por inundação é alta, no entanto o volume requerido varia de acordo com as condições climáticas, atributos e tipo de solo, manejo da cultura e a duração do ciclo da cultivar, dimensões e revestimento dos canais, localização da fonte de captação e a profundidade do lençol freático. (SOSBAI, 2010, p. 87).

O manejo da água em arroz irrigado por inundação é fundamental para o desempenho da cultura. A água, além desempenhar papel importante no aspecto físico das plantas de arroz, interfere na disponibilidade de nutrientes, no desenvolvimento de espécies de plantas daninhas e na ocorrência de determinadas pragas e doenças. (SOSBAI, 2010, p. 89).

Um estudo realizado por Back e Just (2018) a respeito do consumo de água no cultivo do arroz na área da Associação de Irrigação e Drenagem Santo Isidoro (ADISI), localizada nos municípios de Nova Veneza e Forquilha a qual mantém e regulamenta a distribuição de água canalizada aos produtores de arroz, teve como resultado vazão máxima $0,8 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}$ e vazão média de $0,62 \text{ a } 0,67 \text{ L.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$ durante o período de 181 dias de irrigação. O estudo foi realizado nas safras 2008/09 e 2009/10 e obteve valores de $5.030 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ e $4.753 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

2.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA

A resolução nº 65 de 07 de dezembro de 2006 estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental (SDS, 2006). Essa mesma resolução traz em seu 3º artigo, inciso II, a definição de outorga de direito de uso de recursos hídricos, como:

Ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante competente faculta ao requerente o direito de uso dos recursos hídricos, por prazo determinado, nos termos e condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações específicas vigentes. (SDS, 2006).

A outorga é um dos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos e tem o objetivo de assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. A outorga ainda garante ao usuário o direito de acesso à água, uma vez que regulariza o seu uso em uma bacia hidrográfica. (ANA, 2011, p. 11).

2.4.1 Aspectos Legais

A Constituição Federal de 1988 estabelece dois domínios para os recursos hídricos: o da União e o dos Estados. Os corpos de água estabelecidos como bens dos Estados se referem às águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União. (BRASIL, 1988).

A Lei Federal nº 9.433, promulgada em 8 de janeiro de 1997, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH e regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Esse inciso determina como competência da União, a instituição do SINGREH e a definição dos critérios de outorga de direito de seu uso. (BRASIL, 1997).

O artigo 5º da Lei 9.433/1997 traz como instrumentos da PNRH: i) os Planos de Recursos Hídricos; ii) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; iii) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; iv) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; v) a compensação a municípios; e vi) o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, estabelecido pelo inciso III da lei da PNRH, tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. (BRASIL, 1997).

Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

I - derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;

II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;

III - lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;

IV - aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;

V - outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. (BRASIL, 1997).

A lei que estabelece a PNRH apresenta no seu capítulo III, inciso III, a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, como uma de suas diretrizes gerais de ação. Sendo assim os instrumentos, licenciamento ambiental e outorga, quando avaliados de forma articulada, contribuem para esta integração.

O Decreto nº 4.778, de 11 de outubro de 2006, que 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, decreta a outorga de direitos de usos dos recursos hídricos responsabilidade única e exclusiva da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável – SDS, ou sucedânea. (SANTA CATARINA, 2006).

A Portaria SDS nº 035, de 30 de outubro de 2006, que dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga, exige em seu 8º artigo que para emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos, objetivando a utilização racional e a garantia do uso múltiplo dos recursos hídricos, a Diretoria de Recursos Hídricos - DRHI realize a avaliação: (I) do pleito, sob o aspecto do uso racional da água; e (II) do corpo d'água e da bacia, quanto à existência de conflito pelo uso da água. (SDS, 2006).

Segundo a SDS (2006), no caso do uso na irrigação, a avaliação por ponto de captação deverá considerar a relação entre o volume captado e o volume estimado para atender às necessidades dos cultivos, a área irrigada, as

características das culturas, as condições climáticas da região e o calendário agrícola, além do(s) método(s) de irrigação e sua adequação às culturas irrigadas, podendo ser considerados racionais os usos associados às eficiências mínimas apresentadas Tabela 1.

Tabela 1 - Método Eficiência de referência (%).

Método de Irrigação	Eficiência (%)	Vazão específica ($\text{Ls}^{-1}.\text{ha}^{-1}$)
Sulco	40 a 65	0,8 – 2,0
Inundação	40 a 65	0,25 – 1,5
Aspersão	70 a 85	0,6 – 1,0
Localizada	90 a 95	0,3 – 0,7
Outros	40 a 85	0,30 – 2,5

Fonte: SDS, 2006.

2.4.2 Critérios para Concessão de Outorga

A vazão outorgável é a vazão disponível para ser outorgada. De acordo com Cardoso da Silva e Monteiro (2004) apud ANA (2011, p. 22), as vazões de referência utilizadas, são as vazões mínimas, a fim de caracterizar uma condição de alta garantia de água no manancial. A partir dessa condição, são realizados os cálculos de alocação da água, de modo que, quando essas vazões mínimas ocorram, os usuários ou os usos prioritários mantenham de certa forma, suas retiradas de água.

As vazões mínimas aplicadas como referência são vazões de elevada permanência no tempo, calculadas de forma estatística. A definição da vazão de referência a ser aplicada depende da garantia de atendimento que se deseja considerar para os usos a serem instalados em determinada bacia. As vazões de permanência mais utilizadas são as vazões Q_{90} e Q_{95} . Se os usos exigem maiores garantias, deve-se optar por vazões mais conservadoras, como a Q_{95} e a $Q_{7,10}$. (ANA, 2011, p. 22).

A Q_{90} é a vazão determinada a partir das observações em um posto fluviométrico em certo período de tempo, em que em 90% daquele período as vazões foram iguais ou superiores a ela. A Q_{95} tem o mesmo significado que a Q_{90} , entretanto a garantia corresponde a 95% do tempo de observação. Se

considerarmos o tempo de observação de 1 ano, o tempo de permanência da vazão Q_{95} será de 347 (95%) dias ao ano e para vazão Q_{90} será de 329 (90%). (ANA, 2011, p. 23).

De acordo com ANA (2011, p. 23), a $Q_{7,10}$ é a menor vazão média consecutiva de sete dias com um período de retorno de uma vez em cada 10 anos. O cálculo da $Q_{7,10}$ é probabilístico, enquanto os da Q_{90} e da Q_{95} decorrem de uma análise de frequências.

A Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008, 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. 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 de referência, a Q_{98} (vazão de permanência por 98% do tempo), sendo a vazão outorgável equivalente a 50% da vazão de referência. (SDS, 2008).

3 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar os objetivos deste trabalho foi desenvolvida uma pesquisa descritiva, com abordagem quantitativa e de natureza aplicada, utilizando como objeto de estudo a bacia do Rio Manoel Alves.

Inicialmente foi realizado o diagnóstico físico da bacia do rio Manoel Alves por meio de revisão bibliográfica, dados físicos da bacia hidrográfica e geoprocessamento através do ArcGIS®, software para Sistemas de Informações Geográficas, com o intuito de caracterizar fisicamente a área de estudo.

Para caracterizar a bacia hidrográfica foram elaborados mapas para sua identificação e qualificação, bem como para delimitação dos usos do solo a fim de determinar a área destinada ao cultivo do arroz. Além disso, foi realizado o levantamento dos usos da água por meio de pesquisa bibliográfica.

De acordo com Back (2014, p. 64) a forma da bacia, pode ser descrita por meio do fator forma, K_f , determinado pela Equação 1, e do coeficiente de compacidade, K_c , por meio da Equação 2. Nas equações A corresponde a área de drenagem da bacia, em km^2 , o P ao perímetro da bacia e o L_x ao comprimento axial da bacia, ambos em km.

$$K_f = \frac{A}{(L_x)^2} \quad \text{Eq. (1)}$$

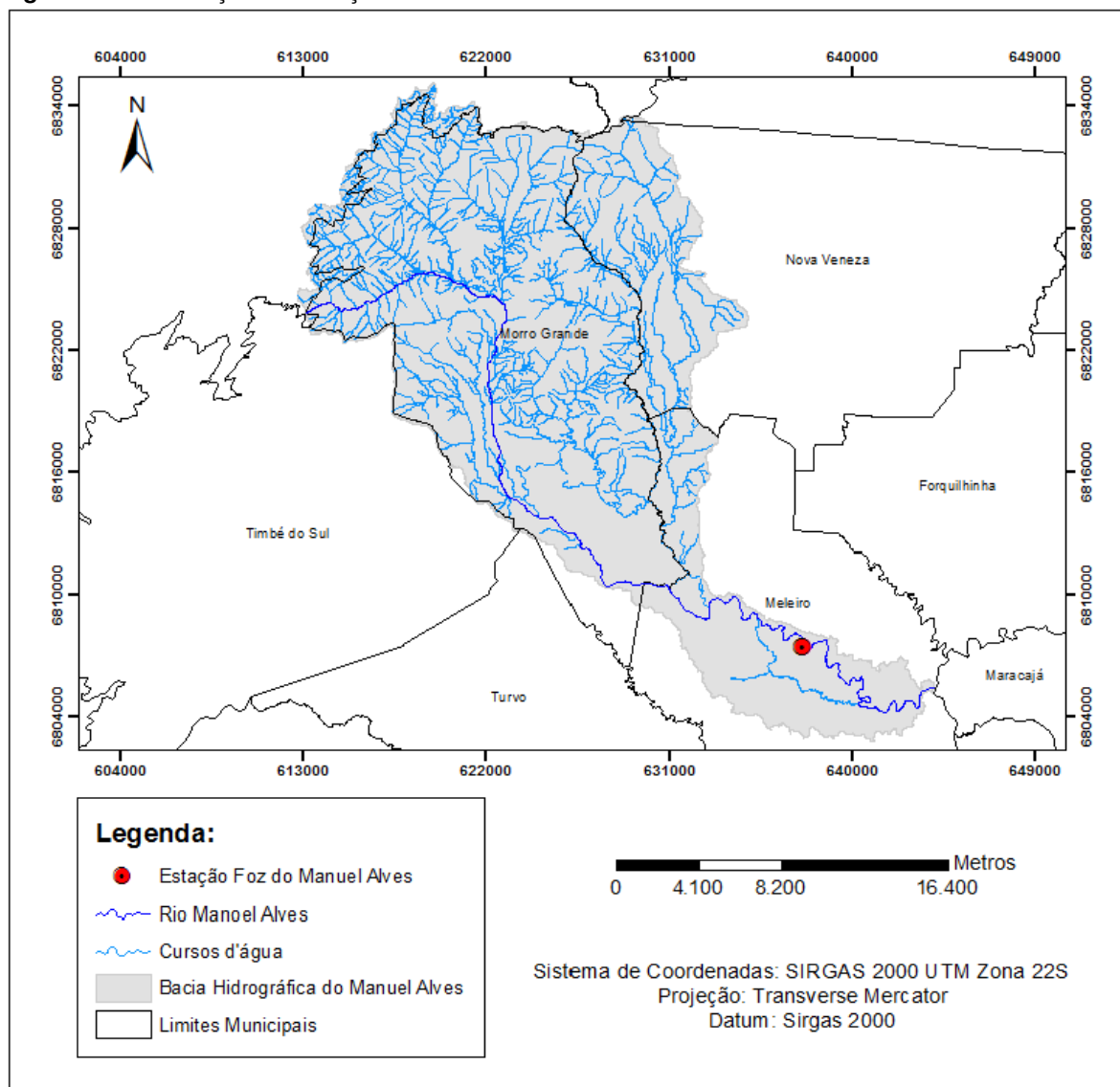
$$K_c = 0,282 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Os dados sobre o regime hidrológico da bacia foram obtidos pela estação fluviométrica Foz do Manuel Alves, código 84853000, da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA). A estação é de responsabilidade da ANA e operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). A estação está localizada nas coordenadas: 49° 35' 22.92" W, 28° 51' 12.96" S, a 10 metros de altitude, conforme ilustrado no mapa (Figura 4).

Por meio do software Microsoft Office Excel 2007® foi elaborada uma planilha com o intuito de determinar e analisar as vazões médias mensais, as mínimas mensais com base na $Q_{7,10}$ e a curva de permanência do rio Manoel Alves.

A série histórica utilizada para obtenção dos dados de vazão compreende o período de 1977 a 2014.

Figura 4 - Localização da estação fluviométrica Foz do Manuel Alves.



Fonte: A autora, 2018.

3.1 ANÁLISE DAS VAZÕES MÉDIAS MENSAIS

A média mensal das vazões do rio Manoel Alves foi determinada dividindo o acumulado mensal das vazões pelo número de dias que possui cada mês.

Foram analisadas as séries anuais de vazão para cada mês, determinando-se as frequências observadas e posteriormente ajustando-se frequências teóricas. Para os cálculos das frequências as séries anuais foram

ordenadas de forma crescente e as frequências observadas calculadas pela equação de Weibull (BACK, 2013), dada por D (Equação 4).

$$f_{observada} = \frac{i}{n+1} \quad \text{Eq. (3)}$$

$$D = f_{observada} - f_{teorica} \quad \text{Eq. (4)}$$

No estudo de vazões médias mensais foram avaliadas as distribuições teóricas de probabilidade mais adequadas, testando-se a distribuição Normal, Log-Normal e a distribuição Gama, sendo utilizado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para como critério para determinar a distribuição de frequência mais adequada para cada mês.

3.1.1 Distribuição Gama

De acordo com Lanna (2002, p. 133) a função de densidade de probabilidade, denominada Gama, pode ser determinada pela Equação 5, sendo seus parâmetros α e β definidos pelas Equações 6 e 7, respectivamente. Para $0 < x < \infty$; $\alpha > 0$ e $\beta > 0$.

$$f(x, \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta} \quad \text{Eq. (5)}$$

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad \text{Eq. (6)}$$

$$\alpha = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad \text{Eq. (7)}$$

A variável aleatória x , neste trabalho, é referente à vazão média mensal que se deseja obter na distribuição teórica.

3.1.2 Distribuição Normal

Segundo Lanna (2002, p. 137) a distribuição Normal tem a função densidade de probabilidade conforme Equação 8, em que os parâmetros μ corresponde a média aritmética $\bar{x}$ e σ ao desvio padrão s da variável aleatória. Para $-\infty < x < +\infty$.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-0,5 \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad \text{Eq. (8)}$$

3.1.3 Distribuição Log-Normal

Conforme Lanna (2002, p. 141) a função densidade de probabilidade da distribuição Log-Normal é definida pela Equação 9 e seus parâmetros μ e σ respectivamente pelas Equações 10 e 11.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x \cdot \sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-0,5 \left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma} \right)^2} \quad \text{Eq. (9)}$$

$$\mu = \frac{1}{2} \cdot \ln \left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right) \quad \text{Eq. (10)}$$

$$\sigma = \sqrt{\ln \left(\frac{\mu^2 + \sigma^2}{\mu^2} \right)} \quad \text{Eq. (11)}$$

3.1.4 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ou K-S, é usado para verificação do ajuste da distribuição de probabilidade a frequências observadas de um conjunto de dados. O teste consiste em determinar a diferença máxima (Equação 12) entre as frequências teóricas e as frequências observadas, isto é:

$$D_{max} = \text{Max} |f_{observada} - f_{teorica}| \quad \text{Eq. (12)}$$

Se o valor de D_{max} é inferior ao valor crítico a distribuição de probabilidade é considerada adequada. Neste estudo foi adotado o valor crítico ao nível de significância de 5% (Anexo 1). Quando mais de uma distribuição foi considerada adequada utilizou-se o critério de menor valor de D_{max} para selecionar a melhor distribuição.

3.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência foi avaliada para as vazões mensais, sendo determinada através da metodologia empírica. De acordo com Tucci (2002, p. 603), a metodologia consiste em estabelecer n intervalos de classe de vazões, sendo adotado para este trabalho o número fixo de 50 intervalos. A subdivisão de classes é baseada na escala logarítmica devido à grande variação de magnitudes de vazões envolvidas, calculada pela Equação 13, sendo $Q_{máx}$ correspondente à vazão máxima, $Q_{mín}$ a vazão mínima.

$$d = \frac{[\ln (Q_{máx}) - \ln (Q_{mín})]}{50} \quad \text{Eq. (13)}$$

$$Q_j = EXP[\ln (Q_{mín}) + (j - 1) \cdot d] \quad \text{Eq. (14)}$$

$$P_i = \left(\frac{d_i}{N_v} \right) \cdot 100 \quad \text{Eq. (15)}$$

Os limites inferiores, L_i , dos intervalos foram determinados a partir da Equação 14, onde Q_j é o limite inferior do intervalo j . Para determinar a frequência f_i de cada intervalo foi contado o número de vazões que cai em cada intervalo. Acumulou-se os valores de f_i no sentido da maior para a menor vazão, obtendo desta forma os valores d_i de permanência. A probabilidade P_i de frequência (em porcentagem) de uma vazão Q ser maior ou igual à Q_i é determinada pela Equação 15, sendo N_v o número total de valores.

3.3 ANÁLISE DAS VAZÕES MÉDIAS MÍNIMAS

A vazão $Q_{7,10}$ foi determinada a partir da série histórica das vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos. A série foi obtida a partir das médias com intervalo de sete dias ao longo do ano civil (janeiro a dezembro) e foi determinado posteriormente o menor valor, sendo o processo aplicado para todos os anos, correspondente a 1977 a 2014.

Após a determinação das vazões mínimas de sete dias para todos os anos da série histórica, os dados foram ordenados de forma crescente. A partir destes dados foram calculadas, assim como nas distribuições de frequência das vazões médias, a frequência observada (Equação 3) e as teóricas, sendo estas detalhadas a seguir, bem como os desvios D (Equação 4).

Para as vazões mínimas foram avaliadas a distribuição de Gumbel e a distribuição Weibull, utilizando-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a aderência das distribuições.

3.3.1 Distribuição de Gumbel

De acordo com Finkler et al. (2015), a distribuição de Gumbel (mínimos), denominada também como extremo do tipo I, tem a função densidade de probabilidade representada pela Equação 16, sendo α o parâmetro de escala e β , o parâmetro de posição; de fato, β é a moda da variável x . Para $x > 0$. Os parâmetros α e β são estimados pelas Equações 17 e 18, respectivamente.

$$f(x) = 1 \frac{1}{\alpha} \exp \left[\frac{x-\beta}{\alpha} - \exp \left(\frac{x-\beta}{\alpha} \right) \right] \quad \text{Eq. (16)}$$

$$\alpha = 1,2826/S \quad \text{Eq. (17)}$$

$$\beta = \bar{x} + 0,451.S \quad \text{Eq. (18)}$$

Em que $\bar{x}$ é a média e S o desvio padrão da série de mínimas anuais.

3.3.2 Distribuição Weibull

De acordo com Finkler et al. (2015), em um cenário extremo as vazões que escoam por uma seção fluvial são forçosamente limitadas inferiormente pelo valor zero. Se o limite inferior da variável aleatória x é positivo e diferente de zero, a distribuição torna-se a três parâmetros com a inclusão da variável ξ . Sua função de densidade de probabilidade pode ser representada pela Equação 19, sendo α e β são, respectivamente, parâmetros de escala e forma. Para $\beta \geq 0$ e $\alpha > 0$.

$$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha}} \quad \text{Eq. (19)}$$

3.4 DETERMINAÇÃO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Com os dados hidrológicos e informações quanto ao consumo de água e uso do solo pela rizicultura, avaliou-se a disponibilidade hídrica para a irrigação de arroz ao longo da bacia do rio Manoel Alves, bem como, foram comparados os resultados com os parâmetros para emissão de outorga de direito de uso de água.

Para determinação da probabilidade de ocorrência da vazão requerida mensalmente utilizou-se a área total destinada à rizicultura, o volume de água demandado para o cultivo de arroz e os parâmetros da distribuição de frequência teórica, tais como α e β , que melhor se ajustaram às curvas das frequências observadas.

A definição do consumo de água se deu com base nas referências consultadas. SOSBAI (2010) estima que são utilizados em média 8.000 a 10.000 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de água, o que corresponde a vazão de 1,0 a 1,4 $\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}$. Back e Just (2018) ao estudarem uma área da ADISI, localizada nos municípios de Nova Veneza e Forquilha, nas safras 2008/09 e 2009/10, obtiveram-se valores de 5.030 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ e 4.753 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, tendo como vazão máxima 0,8 $\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}$ e vazão média de 0,62 a 0,67 $\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Como a área de estudo deste trabalho é a estudada por Back e Just (2018) possuem similaridade em suas características físicas e hidrológicas, estando parte de Nova Veneza em domínio da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves, optou-

se por utilizar o dado de consumo de água deste estudo, extrapolando-se o volume demandado para $6.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$.

O volume demandado para a rizicultura ao longo do período de cultivo foi distribuído nos meses que se realiza a irrigação proporcionalmente a quantidade requerida. O cultivo do arroz na região ocorre entre os meses de setembro, quando se inicia o plantio, e janeiro, quando é realizada a colheita. Posteriormente calculou-se a probabilidade de ocorrência das vazões requeridas.

Com o intuito de identificar o percentual de área atendida pelas vazões outorgáveis, calculou-se a relação entre quantidade de água disponível para outorga e a quantidade demandada pela área total de rizicultura na bacia. Para fins de análise considerou-se as vazões $Q_{98\%}$, critério de outorga pela SDS, sendo a vazão outorgável 50% da $Q_{98\%}$, e a $Q_{7,10}$, tida como vazão ecológica, a qual garante a estabilidade e conservação dos recursos hídricos daquele ecossistema.

4 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá - BHRA faz parte da Região Hidrográfica: RH 10 – Extremo Sul Catarinense, a qual tem em seu domínio as bacias do Rio Araranguá, Rio Urussanga e Rio Mampituba, totalizando uma área de 4.849 km². (SANTA CATARINA, 1998).

A BHRA está localizada entre as coordenadas UTM: (580000E, 6840000N) x (700000E, 6760000N) e é dividida em quatro Unidades de Gestão (UG) definidas em seu Plano de Recursos Hídricos, são elas: UG Rio Araranguá, UG Rio Mãe Luzia, UG Rio Itoupava e UG Rio Manoel Alves. (PROFILL, 2014a, p. 16).

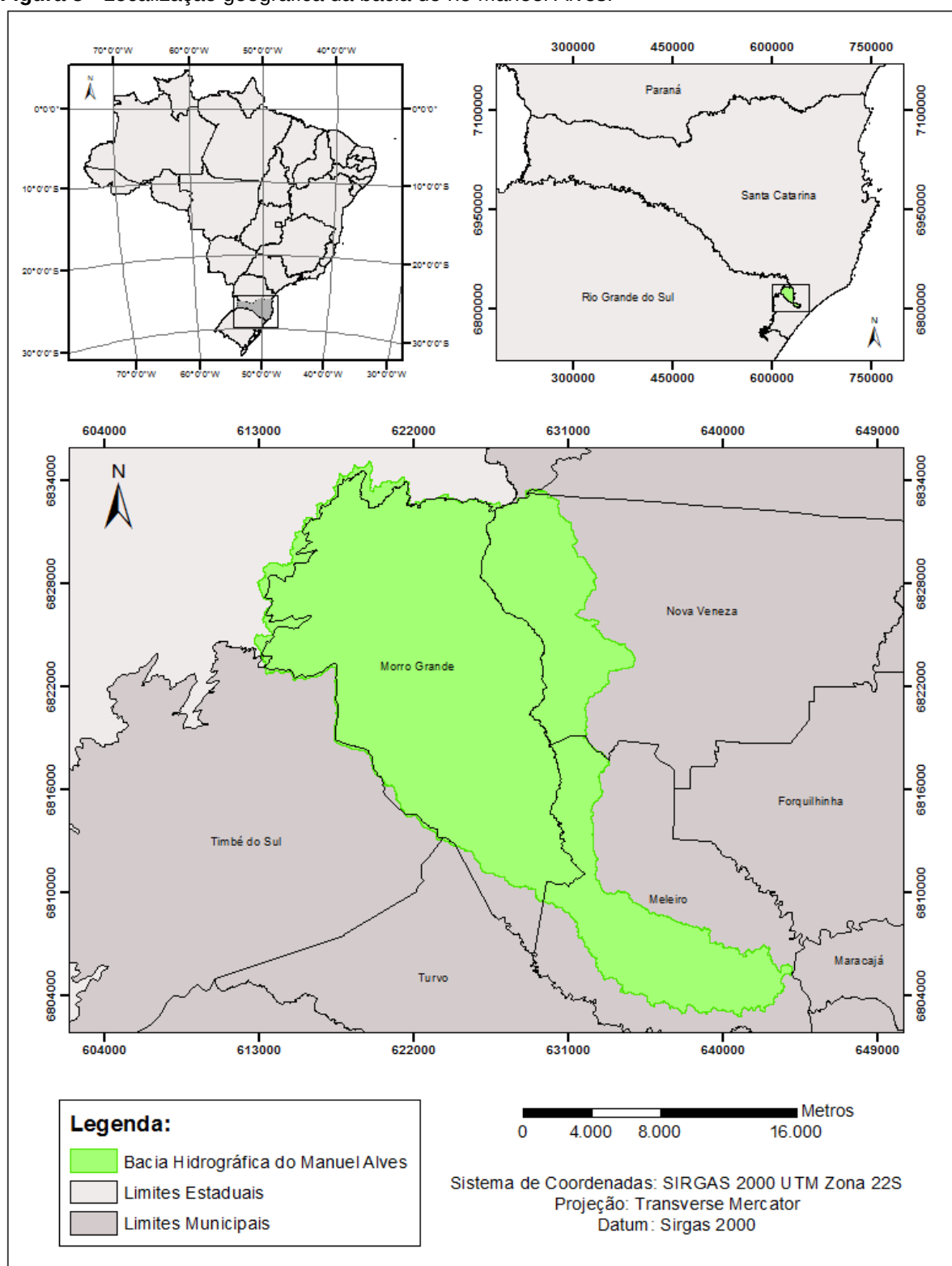
Mesmo sendo o rio Manoel Alves um afluente do rio Mãe Luzia, considera-se sua área de abrangência como uma UG separada, devido sua importância para a gestão dos recursos hídricos da Bacia do Rio Araranguá. (PIAVA SUL, 2011 apud PROFILL, 2014a, p. 18).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A bacia do rio Manoel Alves (Figura 5) apresenta área de abrangência de 392,63 km², tendo como perímetro 189,01 km. Os cursos d'água da bacia drenam partes dos territórios dos municípios de Morro Grande, Nova Veneza e Meleiro, sendo considerados como principais afluentes o rio Manoel Alves, rio Morto, rio do Meio, rio do Salto, rio Três Barras e rio Pingador.

A bacia hidrográfica do rio Manoel Alves possui coeficiente de compacidade, Kc, igual a 2,69 e fator de forma, Kf, 0,30, conferindo a bacia uma forma alongada o que implica em um maior tempo de concentração, resultando em menor intensidade de chuvas máximas e com isso menores picos de vazão. De acordo com os coeficientes determinados para a bacia, esta não é sujeita a grandes enchentes, porém sua geomorfologia possui características que levam a ocorrência de cheias em suas nascentes nas encostas da serra geral. Para a bacia do Rio Araranguá, Mãe Luzia e Itoupava o coeficiente de compacidade é de 1,586; 1,383 e 1,607, respectivamente (SANTA CATARINA, 1997), evidenciando a forma mais alongada da bacia do Rio Manoel Alves.

Figura 5 - Localização geográfica da bacia do rio Manoel Alves.



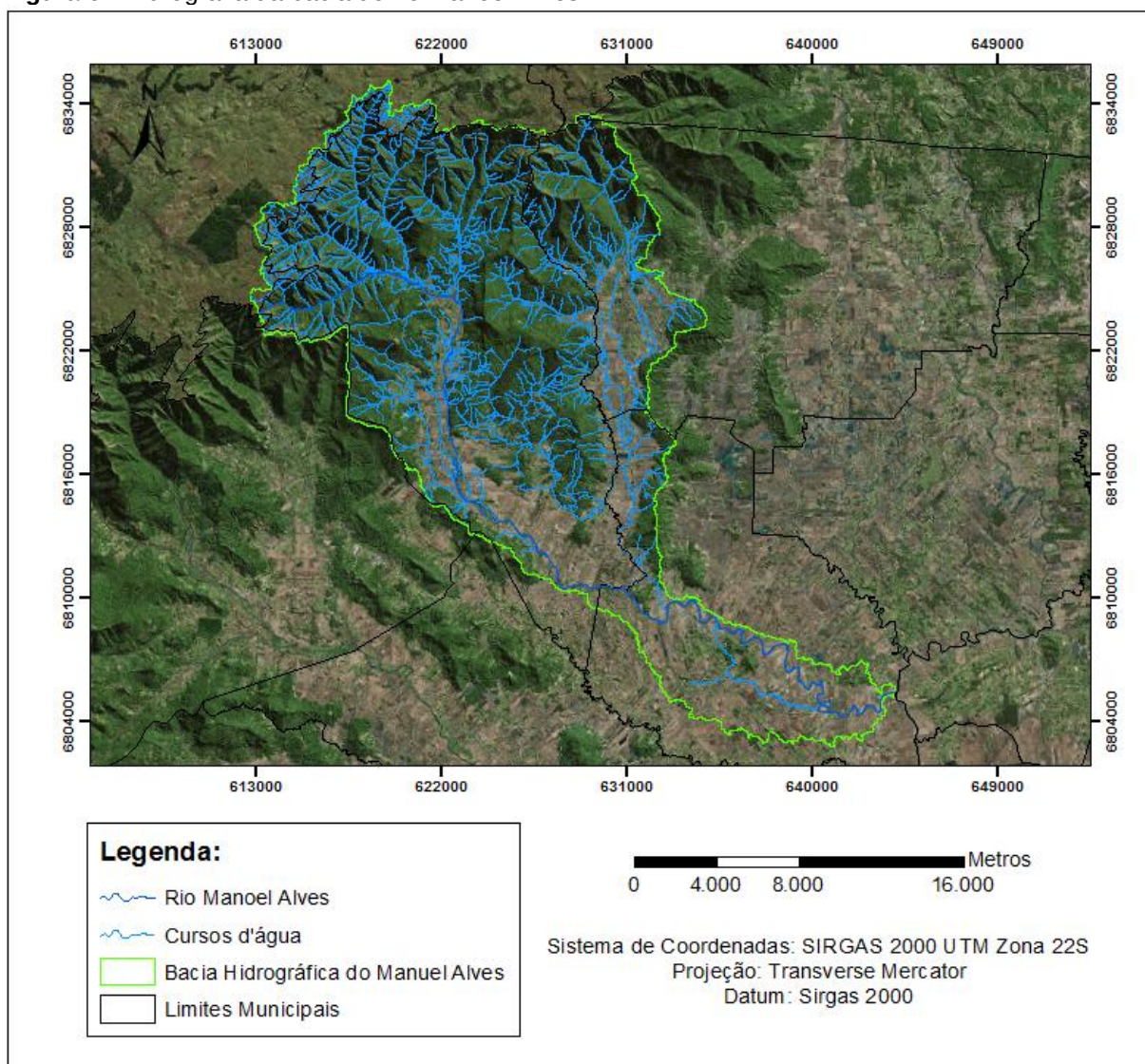
Fonte: A autora, 2018.

As principais nascentes dos cursos d'água da bacia (Figura 6) localizam-se na comunidade de Três Barras, no município de Morro Grande, correspondem as nascentes dos rios Três Barras, Manoel Alves e Pingador na região de maior altitude

(Figura 7) a aproximadamente 1.240 metros de altitude. O rio principal da bacia, correspondente ao rio Manoel Alves, o qual tem 58,76 km de extensão e comprimento axial de 36 km, possuindo diversos afluentes, totalizando 796,90 km lineares de cursos d'água distribuídos na área total da bacia.

De acordo com VCS (2007, p. 82) os principais rios que compõem a bacia na parte pertencente a Morro Grande têm praticamente o mesmo tempo de concentração (aproximadamente 65 minutos) e uma declividade alta (cotas 200 a 1300 m), o que faz com que as águas adquiram grande energia, ocasionando erosão. Após o município de Morro Grande, o rio perde sua energia devido a pouca declividade.

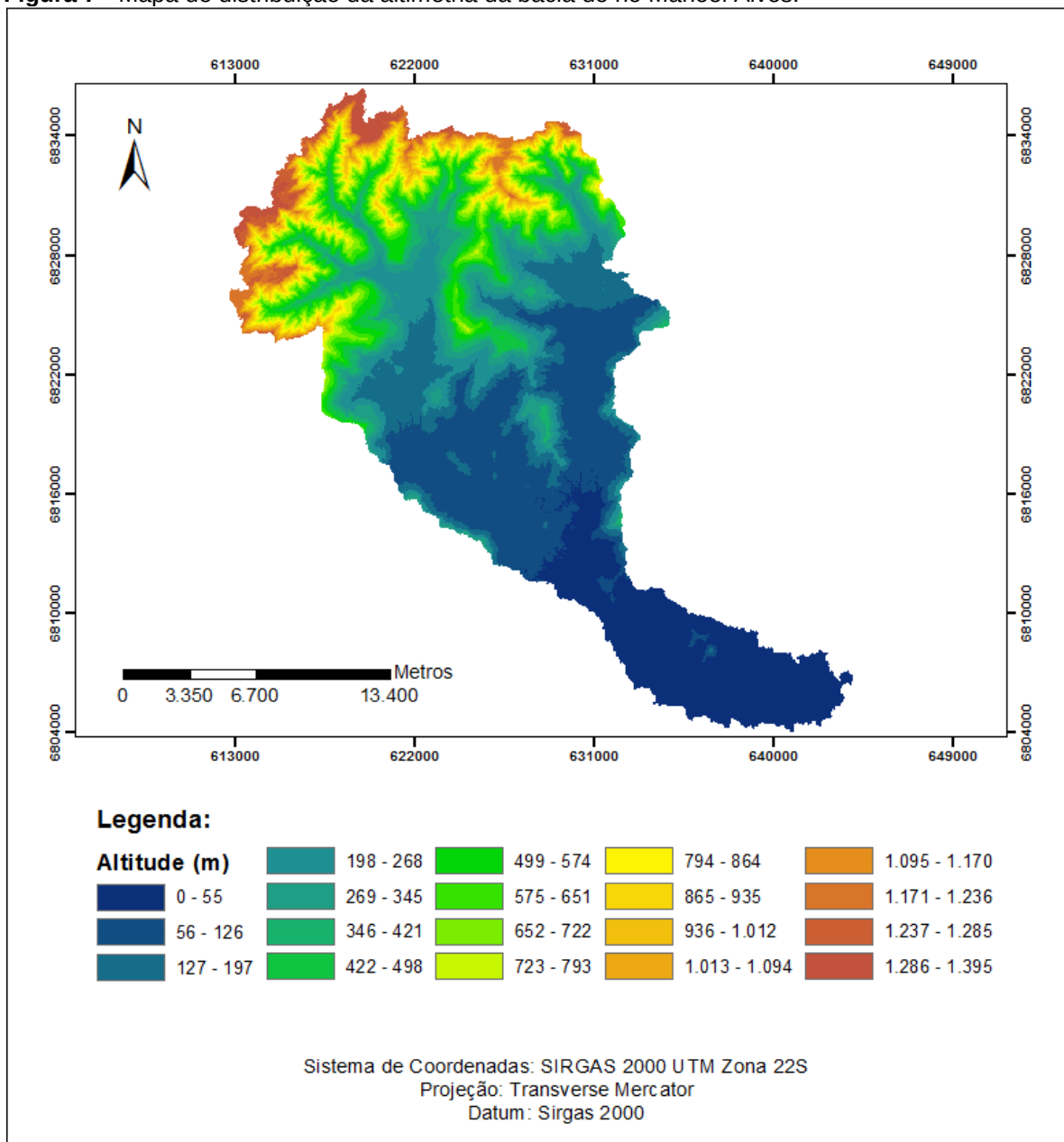
Figura 6 - Hidrografia da bacia do rio Manoel Alves.



Fonte: A autora, 2018.

Grande parte da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves possui altitudes entre 0 e 268 metros (Figura 7), representadas no mapa pela cor azul. As maiores altitudes, ilustradas no mapa pelas cores amarelo e vermelho, ocupam uma área menor da bacia, correspondendo as áreas de cabeceira, e variam de 499 a 1395 metros em uma menor distância linear.

Figura 7 - Mapa de distribuição da altimetria da bacia do rio Manoel Alves.



Fonte: A autora, 2018.

De acordo com as características apresentadas, pode-se afirmar que o relevo da bacia é mais plano a sudeste, onde se encontram as menores altitudes,

enquanto a noroeste o relevo é de ondulado a montanhoso, sendo nesta região encontradas as altitudes mais acentuadas.

4.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da BHRA os principais usos do solo na UG Rio Manoel Alves são as florestas em estágio médio ou avançado e/ou primário e a agricultura, correspondendo a 59,21% e 29,42% da área total da bacia, respectivamente. (PROFILL, 2014a, p. 27).

O uso e ocupação do solo é um fator importante para a determinação dos principais usos da água na bacia, assim como para sua quantificação. Delimitou-se quatro classes de uso do solo para a bacia do rio Manoel Alves distribuídos conforme a Tabela 2, sendo eles:

- *Vegetação arbórea*: correspondente às florestas em estágio médio ou avançado e/ou primário, reflorestamentos e florestas em estágio inicial;
- *Rizicultura*: áreas de cultivos de arroz;
- *Vegetação rasteira*: cultivos agrícolas exceto rizicultura, pastagens e campos naturais;
- *Outros*: áreas urbanizadas e/ou construídas, solo exposto, mineração e outros usos não especificados anteriormente.

Tabela 2 - Distribuição do uso e ocupação do solo.

Tipo de uso do solo	Área em (km²)	(%)
Vegetação Arbórea	238,89	60,84
Rizicultura	66,66	16,98
Vegetação Rasteira	62,93	16,03
Outros	24,14	6,15
Total	392,63	100

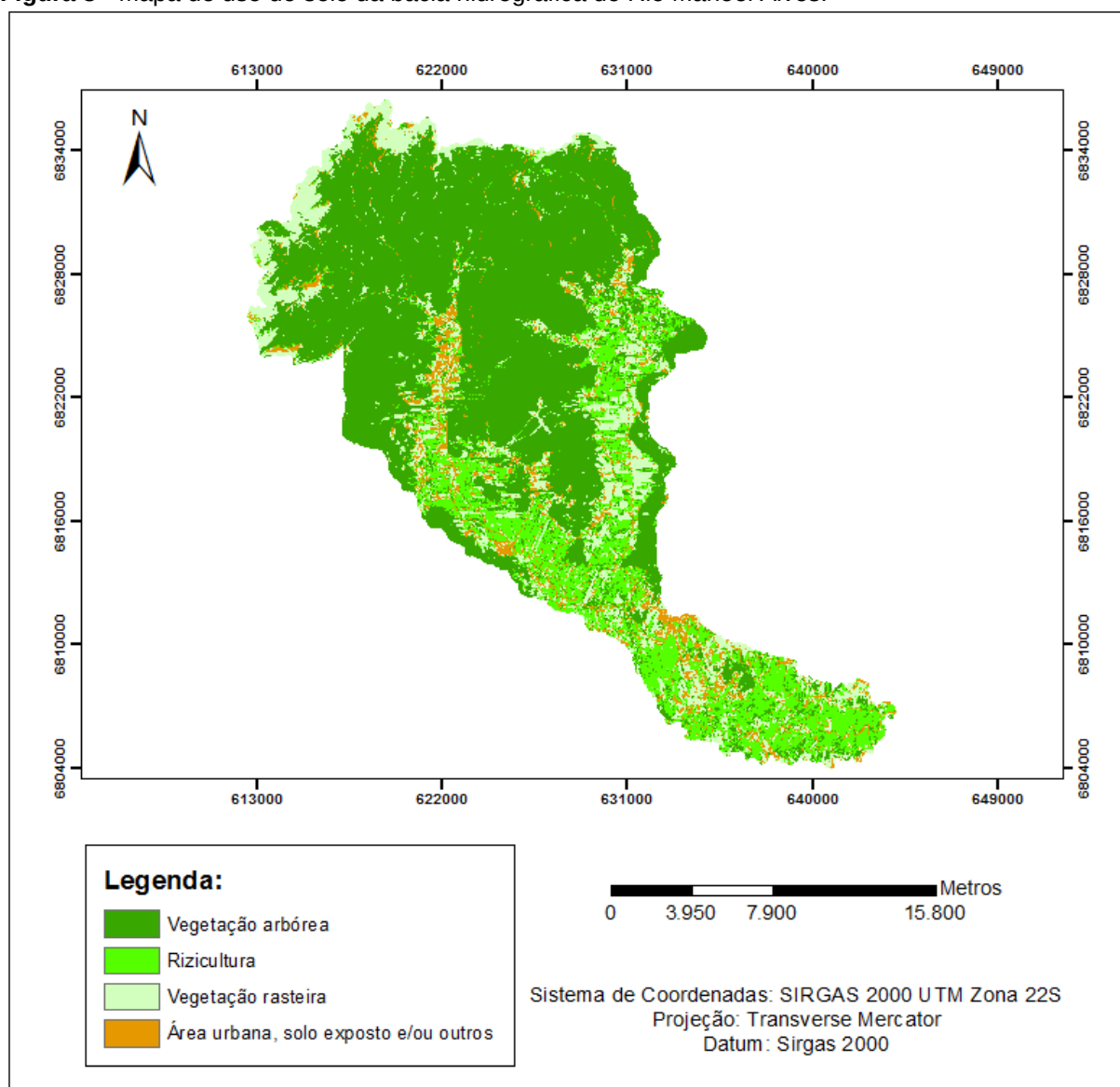
Fonte: A autora, 2018.

O principal uso do solo na bacia do rio Manoel Alves é a vegetação arbórea que ocupa 60,84% da sua área total, seguido pelo cultivo de arroz que representa 16,98% da bacia. Os outros 22,18% da área total são ocupados por

áreas urbanas e/ou construídas, demais cultivos agrícolas, pastagens e outros usos de menor significância.

No mapa temático de uso e ocupação do solo (Figura 8) pode-se observar a distribuição espacial dos usos descritos acima. A vegetação arbórea está concentrada nas regiões de maior altitude e os cultivos agrícolas nas áreas de várzea e relevo plano.

Figura 8 - Mapa de uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves.



Fonte: A autora, 2018.

A rizicultura ocupa cerca de 6.670 hectares da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves. Levando em consideração que mais de 60% da área total da bacia é ocupada por vegetação arbórea, o cultivo de arroz representa 43,36% da área

remanescente, tendo, portanto, grande relevância para a gestão dos recursos hídricos já que se trata de um cultivo que consome grandes quantidades de água.

No estudo desenvolvido para elaboração do Plano de Recursos Hídricos da BHRA foram identificados sete grandes usos da água: abastecimento público, esgotamento sanitário, criação de animais, irrigação, indústria, mineração e aquicultura. Sendo a irrigação o uso mais expressivo, chegando a 402 milhões de metros cúbicos por ano, o que corresponde a 88% da demanda total da bacia. (PROFILL, 2015, p. 25).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

5.1 VAZÕES MÉDIAS

Os dados de vazão do rio Manoel Alves foram obtidos analisando a série histórica correspondente ao período de 1977 a 2014, cujos dados foram planificados (Tabela 3) com o intuito de determinar os gráficos e demais informações referentes às vazões médias. Os dados correspondem às vazões médias obtidas em cada mês de seu respectivo ano. Campos vazios são referentes aos períodos que a estação fluviométrica Foz do Manuel Alves não registrou os dados por algum problema no equipamento.

Tabela 3 - Vazões médias mensais no período de 1977 e 2014, representadas em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$.

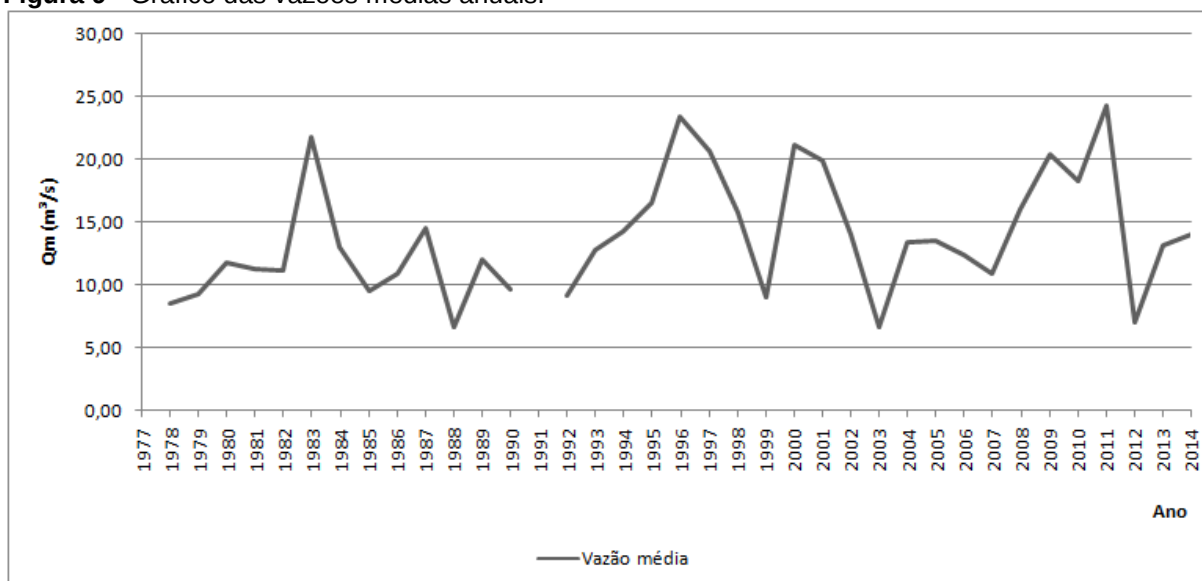
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,55	7,54	14,57
1978	13,37	14,43	19,97	2,10	2,26	0,60	1,40	4,03	7,91	7,75	9,85	18,53
1979	3,75	3,01	17,31	7,48	9,82	2,17	3,76	3,33	2,34	6,90	22,88	29,15
1980	5,41	13,68	18,28	9,92	6,20	3,41	6,55	12,39	6,43	9,63	7,79	41,90
1981	9,99	10,03	11,99	19,39	10,09	20,74	8,83	4,88	17,26	8,32	9,92	3,96
1982	1,11	5,79	17,96	5,25	3,82	10,48	9,20	3,88	4,11	13,18	24,98	33,64
1983	27,24	21,37	19,26	17,44	19,21	21,39	47,92	35,29	5,23	8,54	19,21	19,24
1984	15,20	12,84	19,54	15,34	10,06	10,07	10,00	12,67	8,03	7,68	22,26	12,72
1985	6,72	38,71	10,14	8,15	2,91	6,31	5,71	11,94	5,46	7,77	9,12	1,94
1986	4,01	13,76	5,80	7,11	1,74	1,25	6,62	2,01	15,53	31,48	14,02	27,09
1987	17,86	21,48	7,52	8,62	21,06	14,36	14,53	24,29	9,86	21,36	8,42	5,83
1988	8,94	5,73	12,17	11,17	8,64	4,71	2,03	1,60	10,07	12,76	0,30	1,76
1989	16,97	11,56	24,38	16,93	20,22	4,72	9,24	4,66	22,72	6,16	0,50	6,20
1990	25,60	7,73	9,54	13,79	4,60	5,78	4,95	3,25	8,04	14,46	11,31	6,69
1991	9,69	9,50	4,24	-	-	-	-	-	-	-	16,96	25,00
1992	10,82	20,54	13,27	4,71	8,94	5,60	12,08	12,64	15,43	1,96	2,98	0,90
1993	14,56	39,51	16,29	15,44	6,88	5,87	17,69	3,12	16,58	9,65	1,39	7,21
1994	2,15	24,65	19,30	5,51	61,23	17,37	15,22	7,12	2,14	9,13	5,20	2,79
1995	19,19	30,82	19,90	4,23	1,25	9,24	13,33	13,41	3,60	5,81	10,36	67,11
1996	56,20	34,28	31,78	16,04	5,65	12,96	7,46	9,47	33,36	30,45	18,29	25,52
1997	39,28	54,32	17,50	3,77	1,16	1,98	14,41	32,21	6,35	37,49	35,21	4,88
1998	16,47	43,36	27,97	9,20	4,41	5,81	8,81	21,64	21,17	12,24	10,68	8,01
1999	3,99	18,36	-	29,12	2,76	3,93	11,52	3,04	0,57	9,02	11,17	5,38
2000	50,72	67,05	33,44	8,17	4,34	7,15	7,13	3,29	20,74	28,20	13,63	10,99

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2001	19,94	81,92	22,70	15,03	13,13	9,23	8,91	1,70	23,95	14,63	10,88	16,67
2002	18,16	8,34	15,68	6,89	12,46	24,60	8,68	7,12	3,04	15,96	22,07	25,48
2003	4,52	14,26	14,34	6,53	3,47	6,74	4,57	2,07	2,11	9,31	5,68	6,23
2004	14,28	8,37	16,57	19,16	32,53	8,53	8,07	2,13	18,28	5,90	8,68	19,06
2005	4,23	12,81	18,64	9,58	12,72	4,81	4,12	25,24	22,53	30,78	13,32	4,27
2006	17,41	27,35	14,59	8,88	7,54	3,28	4,97	3,54	1,41	5,15	43,85	10,50
2007	8,86	19,33	31,79	8,63	14,64	2,44	7,21	3,84	11,39	2,93	-	8,83
2008	12,90	10,61	14,39	4,37	33,95	3,42	11,23	10,82	14,81	30,44	33,37	12,71
2009	54,13	29,04	25,39	5,38	2,40	1,47	2,14	12,90	58,02	13,83	21,32	19,88
2010	35,15	16,15	36,45	28,20	54,83	13,87	10,51	3,92	1,78	2,62	12,64	3,01
2011	50,00	82,71	37,93	11,94	9,16	11,31	25,99	36,71	11,13	4,22	3,77	7,07
2012	28,17	12,02	2,48	0,28	0,24	2,40	4,63	2,13	15,07	10,96	0,01	5,42
2013	9,18	32,01	23,01	4,00	2,56	3,88	3,86	39,21	8,25	2,83	-	16,20
2014	17,30	30,55	25,25	18,10	4,13	31,52	5,23	1,56	7,82	9,77	5,76	11,64

Fonte: A autora, 2018.

Conforme o gráfico de vazões médias anuais (Figura 9) apresentado pode-se observar uma variação significativa na vazão do rio de um ano para o outro, demonstrando grande heterogeneidade em seu comportamento. Essa falta de uniformidade não confere informações suficientes para identificar a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica em longo prazo, nem permite identificar o comportamento das vazões ao longo do ano, já que não é possível determinar quais são os períodos mais críticos.

Figura 9 - Gráfico das vazões médias anuais.

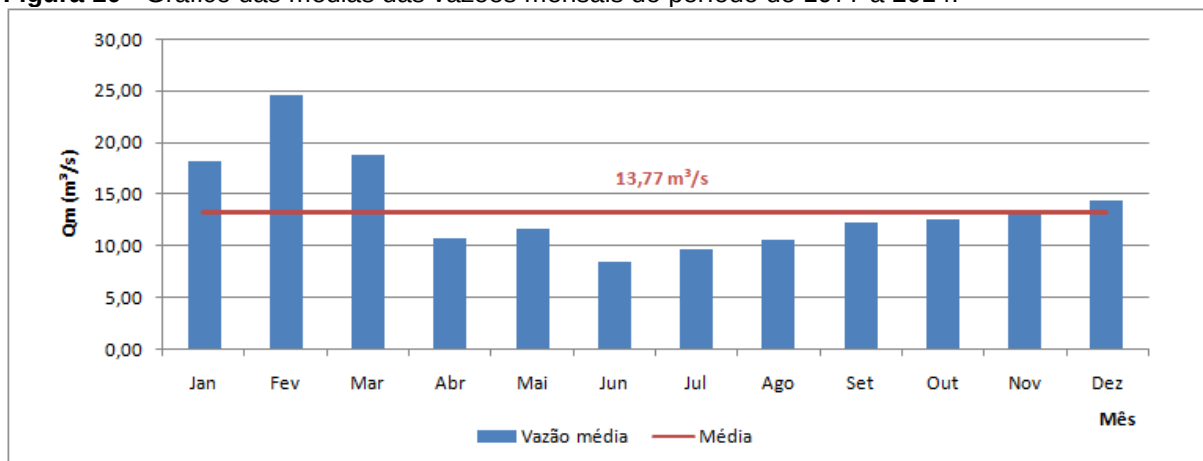


Fonte: A autora, 2018.

Quando o comportamento da vazão do rio é analisado mensalmente é possível obter conclusões mais interessantes e aplicáveis à gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica.

No gráfico referente às vazões médias mensais para o período de 1977 e 2014 (Figura 10) pode-se verificar que as vazões mensais não apresentam homogeneidade na distribuição ao longo do ano, sendo as maiores vazões registradas no período de dezembro a março, relativos aos meses do verão e ao primeiro mês do outono. As maiores disponibilidades hídricas se concentram nos meses de janeiro, fevereiro e março. Os demais meses apresentaram vazões inferiores à vazão média de longo termo, correspondente a $13,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Figura 10 - Gráfico das médias das vazões mensais do período de 1977 a 2014.



Fonte: A autora, 2018.

Os resultados obtidos neste trabalho para vazões médias apresentaram divergência quando comparados aos expostos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, realizado em 2014, para a Unidade de Gestão Rio Manoel Alves (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação entre as vazões médias de longo período e as específicas obtidas e as apresentadas pelo plano da BHRA.

Vazão	Obtida	Determinada pelo plano da BHRA	
		Observada	Calculada
Qmlp ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	13,77	14,94	16,86
Qesp ($\text{L} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^2$)	34,98	44,20	42,87

Fonte: A autora, 2018.

A vazão média de longo período (Q_{mlp}) obtida neste trabalho foi inferior àquelas determinadas pelo plano da BHRA, tanto a vazão observada, quanto a calculada por meio das equações de regionalização.

A vazão específica média (Q_{esp}), de acordo com Profill (2014b, p. 29), corresponde à relação entre a Q_{mlp} e a área de drenagem da bacia, a qual representa a produção de vazão por unidade de área e se constitui em um indicador regional de escoamento. As vazões específicas determinadas no plano da BHRA foram maiores que a determinada no estudo realizado no presente trabalho.

A diferença de mais de 22% entre os dados de vazões médias e específicas calculadas se dá porque no plano da bacia as vazões foram obtidas através de equações de regionalização, enquanto neste trabalho as vazões foram determinadas através da série de dados de 1977 a 2014 na estação fluviométrica Foz do Manuel Alves. Esta diferença indica que a regionalização não representa completamente a realidade das condições hidrológicas da bacia.

Ao comparar os dados obtidos nesse trabalho aos observados no estudo realizado para elaboração do plano, a diferença foi menor ao analisar a Q_{mlp} , correspondendo a 8,5%, enquanto a Q_{esp} superou os 26%. Essa diferença significativa na vazão específica se deu porque foi considerada a área de 338 km² como sendo a drenagem da UG. Se calcularmos a Q_{esp} com os 393 km² citados no plano, esta vazão seria de 38,01 L.s⁻¹.km⁻², equivalente a aproximadamente 8,5%.

Embora a diferença seja menor entre a vazão observada no plano e a obtida neste trabalho, essa diferença mostra que a série histórica utilizada para estudo das vazões tem papel fundamental na obtenção de resultados com maior confiabilidade e que representem melhor a realidade. No plano foram utilizados dados entre outubro de 1977 e dezembro de 2004, enquanto neste trabalho adotou-se a série histórica de outubro de 1977 a dezembro de 2014. São 10 anos de diferença, tornando desatualizada e menos precisa a série de 1977 a 2004.

Conclui-se ainda que as vazões identificadas através das séries históricas podem ser menores que a calculada por regionalização devido ao fato de estas representarem a vazão excedente da bacia, isto porque como a estação fluviométrica, da qual se extraiu os dados, se localiza ao final da bacia, a vazão lida é, portanto, a resultante dos usos múltiplos da água ao longo da bacia a água, ou seja, o que sobra após captação e consumo.

5.1.1 Teste de Ajustamento das Distribuições

Com o intuito de verificar o ajuste das vazões médias obtidas quanto à distribuição de frequências foram testadas três funções de distribuição de probabilidade – Normal, Log-Normal e Gama. A Tabela 5 apresenta os resultados do teste de aderência K-S das distribuições aos dados de vazões médias mensais.

Tabela 5 - Teste de ajustamento K-S para as vazões médias mensais.

Mês	Dcrítico	Dmáx			Distribuição melhor ajustadas
		Normal	Log-Normal	Gama	
Jan	0,2183	0,1908	0,1258	0,0855	Gama
Fev	0,2183	0,1664	0,1001	0,0769	Gama
Mar	0,2212	0,1218	0,0794	0,0716	Gama
Abr	0,2212	0,1415	0,1062	0,0778	Gama
Mai	0,2212	0,2213	0,1037	0,1212	Log-Normal
Jun	0,2212	0,1651	0,0939	0,0556	Gama
Jul	0,2212	0,1703	0,0837	0,1454	Log-Normal
Ago	0,2212	0,2129	0,2204	0,1318	Gama
Set	0,2212	0,1287	0,1232	0,0746	Gama
Out	0,2183	0,1968	0,0981	0,1068	Log-Normal
Nov	0,2212	0,1434	0,1067	0,0781	Gama
Dez	0,2154	0,1409	0,1011	0,0497	Gama

Fonte: A autora, 2018.

Na análise do ajuste das distribuições para as vazões médias mensais a distribuição Gama apresentou melhor aderência que as demais distribuições, pois os menores desvios máximos, Dmáx, foram encontrados para todos os meses com esta distribuição, com exceção dos meses de maio, julho e outubro que apresentaram melhor aderência à distribuição Log-Normal.

Observa-se ainda que exceto pelo mês de maio, que obteve um Dmáx para a distribuição Normal superior ao Dcrítico, em todos os demais meses os Dmáx obtidos foram inferiores aos Dcríticos determinados pelo teste de ajustamento K-S para as três distribuições testadas.

Como a distribuição Gama apresentou melhor ajustamento geral em comparação às demais distribuições e nos meses em que não foi considerada a melhor opção teve uma aderência bastante aceitável, optou-se por utilizá-la para todos os meses. A Tabela 6 expõe os parâmetros determinados para todos os meses bem como os desvios críticos e máximos de cada mês.

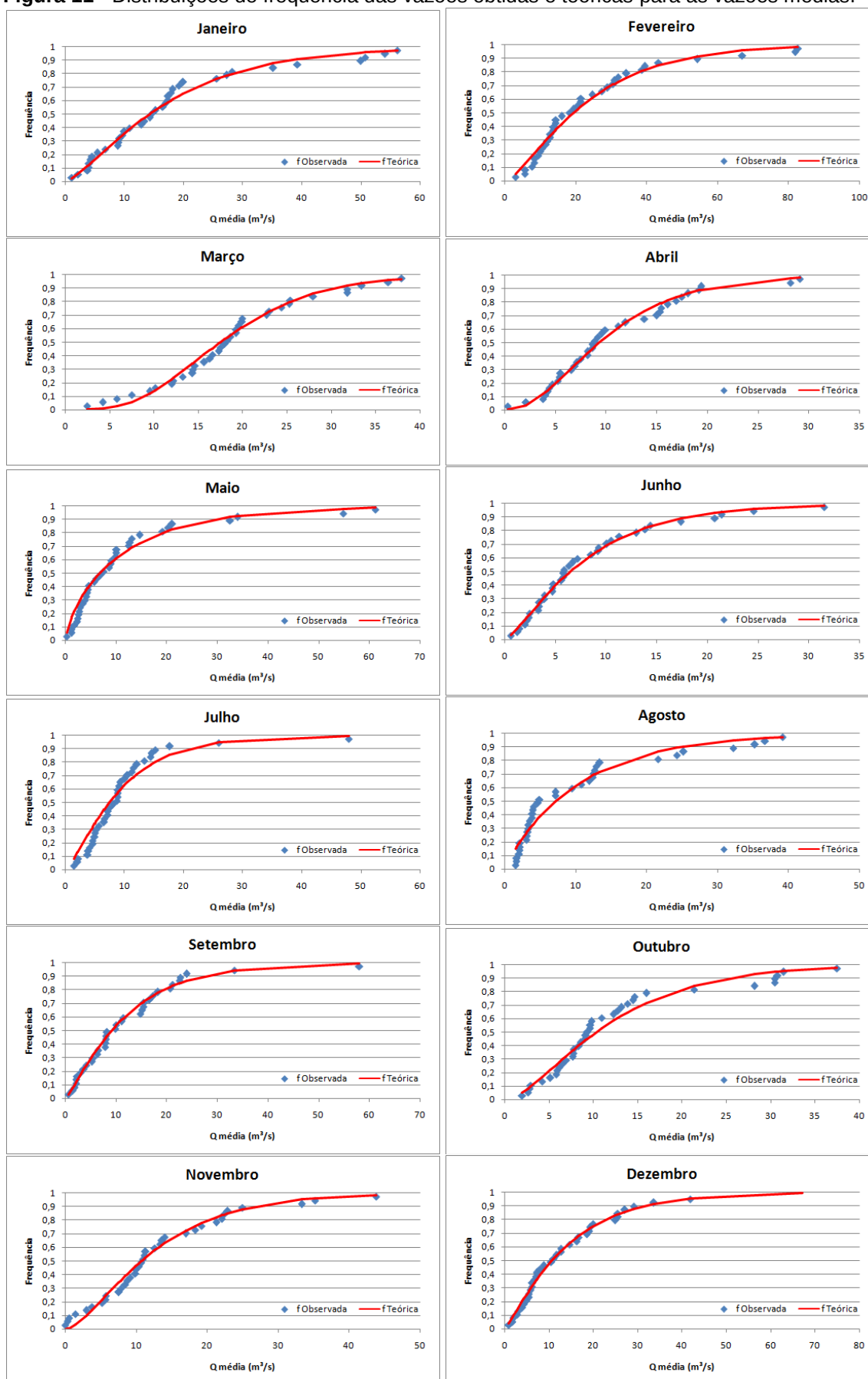
Tabela 6 - Parâmetros determinados para a distribuição Gama.

Mês	Dcrítico	Dmáx	A	β
Jan.	0,2183	0,0855	1,4620	12,4497
Fev.	0,2183	0,0769	1,5243	16,0995
Mar.	0,2212	0,0716	4,7482	3,9591
Abr.	0,2212	0,0779	2,5194	4,2545
Mai.	0,2212	0,1212	0,7015	16,6691
Jun.	0,2212	0,0556	1,3763	6,1234
Jul.	0,2212	0,1454	1,3938	6,9455
Ago.	0,2212	0,1318	0,9314	11,4236
Set.	0,2212	0,0746	1,2245	10,0386
Out.	0,2183	0,1068	1,7922	7,0247
Nov.	0,2212	0,0781	1,7197	7,6778
Dez.	0,2154	0,0497	1,1923	12,0945

Fonte: A autora, 2018.

As distribuições de vazões médias observadas nos doze meses do ano e suas respectivas distribuições Gama estão representadas graficamente na Figura 11.

Figura 11 - Distribuições de frequência das vazões obtidas e teóricas para as vazões médias.



Fonte: A autora, 2018.

5.1.2 Curva de Permanência

A curva de permanência foi determinada conforme a metodologia descrita neste trabalho e efetuada considerando a série de vazões médias mensais, cujos dados utilizados estão apresentados na Tabela 7. A vazão média mensal máxima da série é de $82,71 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e a mínima de $0,01 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

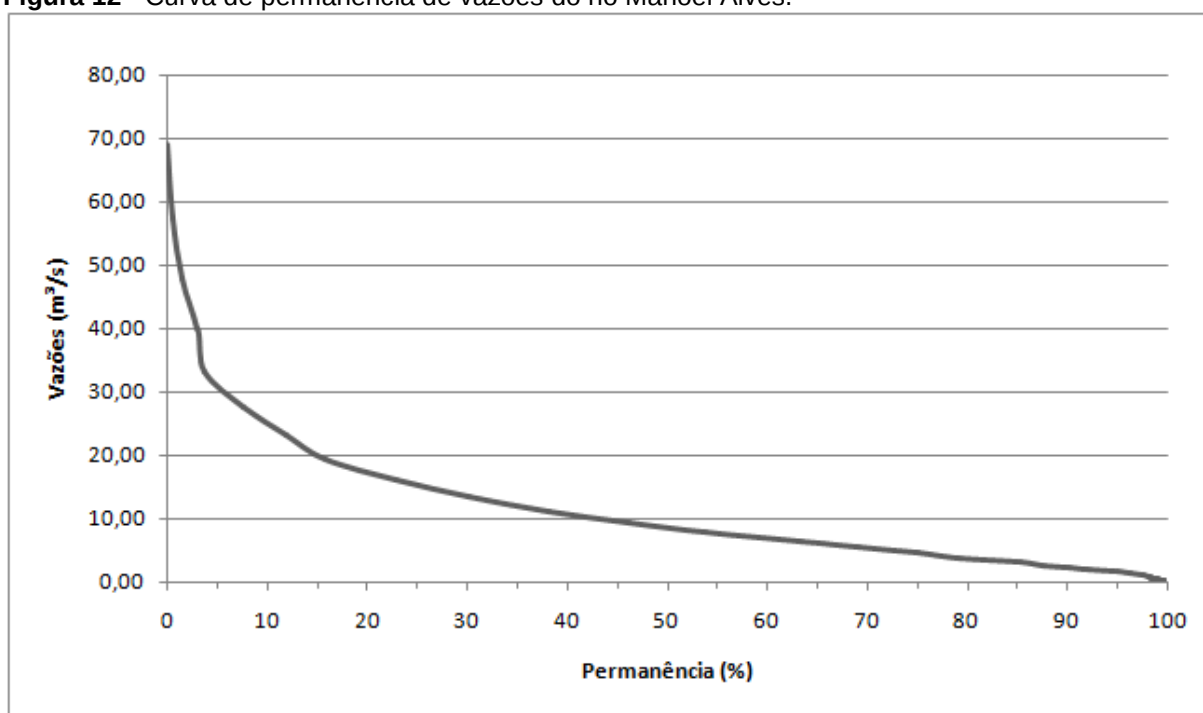
Tabela 7 - Tabela de dados da curva de permanência.

Classe	Li	Ls	fi	Di	Pi
1	0,009	0,011	1	437	100,00
2	0,011	0,013	1	436	99,77
3	0,013	0,016	1	436	99,77
4	0,016	0,019	1	436	99,77
5	0,019	0,022	1	436	99,77
6	0,022	0,027	1	436	99,77
7	0,027	0,032	1	436	99,77
8	0,032	0,039	1	436	99,77
9	0,039	0,047	1	436	99,77
10	0,047	0,056	1	436	99,77
11	0,056	0,067	1	436	99,77
12	0,067	0,080	1	436	99,77
13	0,080	0,097	1	436	99,77
14	0,097	0,116	1	436	99,77
15	0,116	0,139	1	436	99,77
16	0,139	0,167	1	436	99,77
17	0,167	0,200	1	436	99,77
18	0,200	0,240	2	435	99,54
19	0,240	0,289	3	434	99,31
20	0,289	0,346	4	433	99,08
21	0,346	0,416	4	433	99,08
22	0,416	0,499	4	433	99,08
23	0,499	0,599	7	430	98,40
24	0,599	0,719	7	430	98,40
25	0,719	0,863	7	430	98,40
26	0,863	1,036	8	429	98,17
27	1,036	1,243	10	427	97,71
28	1,243	1,492	16	421	96,34
29	1,492	1,790	22	415	94,97

Classe	Li	Ls	fi	Di	Pi
30	1,790	2,149	35	402	91,99
31	2,149	2,579	43	394	90,16
32	2,579	3,096	54	383	87,64
33	3,096	3,716	64	373	85,35
34	3,716	4,460	91	346	79,18
35	4,460	5,353	109	328	75,06
36	5,353	6,425	135	302	69,11
37	6,425	7,711	160	277	63,39
38	7,711	9,255	202	235	53,78
39	9,255	11,108	235	202	46,22
40	11,108	13,332	270	167	38,22
41	13,332	16,002	305	132	30,21
42	16,002	19,206	337	100	22,88
43	19,206	23,052	368	69	15,79
44	23,052	27,668	385	52	11,90
45	27,668	33,208	404	33	7,55
46	33,208	39,857	421	16	3,66
47	39,857	47,838	424	13	2,97
48	47,838	57,417	431	6	1,37
49	57,417	68,914	435	2	0,46
50	68,914	83,000	437	0	0,00

Fonte: A autora, 2018.

A curva de permanência (Figura 12) permite representar as relações entre as vazões médias mensais do rio Manoel Alves com as percentagens dos meses com ocorrências que igualem ou superem um determinado valor de vazão. A determinação da curva de permanência possibilita avaliar estatisticamente a disponibilidade hídrica de um rio ao longo do ano verificando se determinada vazão supera aquela requerida para diversos usos dos recursos hídricos.

Figura 12 - Curva de permanência de vazões do rio Manoel Alves.

Fonte: A autora, 2018.

As vazões de permanência estão detalhadas na Tabela 8, com destaque nas vazões de permanência de 90%, 95% e 98%, já que estas são utilizadas para fins de balanço hídrico para concessão de outorgas pela SDS.

Tabela 8 - Vazões de permanência do rio Manoel Alves.

Permanência (%)	Vazão (m³.s ⁻¹)	Permanência (%)	Vazão (m³.s ⁻¹)
5	31,301	55	7,547
10	25,068	60	6,878
15	19,987	65	6,122
20	17,304	70	5,219
25	15,230	75	4,468
30	13,407	80	3,633
35	12,001	85	3,131
40	10,695	90	2,176
45	9,538	95	1,486
50	8,483	98	0,927

Fonte: A autora, 2018.

Os resultados obtidos neste estudo para as vazões de referência Q90%, Q95% e Q98% também apresentaram diferenças quando comparados àqueles

determinados pelo plano da BHRA para a Unidade de Gestão Rio Manoel Alves (Tabela 9).

Tabela 9 - Comparação entre as vazões de permanência obtidas e as apresentadas pelo plano da BHRA.

Permanência	Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	
	Obtida	Determinada pelo plano da BHRA
Q90%	2,176	3,372
Q95%	1,486	2,192
Q98%	0,927	1,349

Fonte: A autora, 2018 e Profill, 2014b.

As diferenças entre os resultados foram ainda mais significativos quando comparados às vazões médias e específicas, correspondendo a vazões de permanência em média 50% menores que às determinadas no plano. Esta diferença ocorre devido à variação de metodologias utilizadas para obtenção dos dados.

No estudo realizado para elaboração do plano da BHRA as vazões foram determinadas por equações de regionalização, enquanto neste trabalho foram obtidas através da série de dados da estação fluviométrica Foz do Manuel Alves. Novamente constatou-se que a regionalização não representa na íntegra as condições hidrológicas da bacia.

As vazões observadas correspondem àquelas que restam no rio após utilização ao longo da bacia hidrográfica, nesse sentido não caracteriza a disponibilidade de água e sim a água remanescente. Desta forma não é possível determinar a outorga de direito de uso de água por meio da vazão de permanência observada na bacia, sendo mais apropriado, embora não seja um dado de completa confiabilidade, utilizar dados teóricos, como os obtidos por equações de regionalização, já que estes estimam a quantidade total de água disponível antes de ser consumida pelos múltiplos usos do recurso.

5.2 VAZÕES MÍNIMAS

“A previsão da disponibilidade hídrica em situações de estiagem é de suma importância tanto para o planejamento dos usos como para a definição dos

valores a serem outorgados.” (PROFILL, 2014b, p. 44). Tendo em vista conhecer a disponibilidade em situações de estiagem, determinou-se a vazão $Q_{7;10}$.

Para sua determinação calculou-se as vazões de sete dias para toda a série histórica disponível e posteriormente os tempos de retorno. Os campos vazios se referem aos períodos que a estação fluviométrica Foz do Manuel Alves não registrou dados por algum problema no equipamento ou devido aos resultados serem insuficientes para considerar o referido ano para fins de cálculo das vazões mínimas.

Dos resultados obtidos foram extraídas as vazões mínimas mensais (Tabela 10), cujos dados foram tabelados com o intuito de analisar estatisticamente às vazões mínimas.

Tabela 10 - Vazões mínimas mensais de sete dias dos anos da série de 1977 - 2014, representadas em $m^3.s^{-1}$.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	1,44	6,60	3,70	1,25	0,58	0,52	0,34	1,10	1,91	2,03	1,25	2,38
1979	0,20	0,12	0,28	4,09	2,80	0,73	1,31	1,40	1,18	2,48	2,13	6,65
1980	2,16	1,80	4,53	2,98	1,89	1,17	1,53	2,12	3,21	4,90	3,72	6,59
1981	2,99	3,93	2,28	4,92	5,00	4,07	3,07	1,99	3,48	5,16	3,14	0,73
1982	0,18	1,37	6,67	1,53	1,77	1,37	2,61	2,23	1,35	1,55	12,58	7,67
1983	9,91	11,33	3,94	7,14	7,64	5,54	23,14	7,02	4,14	0,98	10,04	9,27
1984	7,42	5,93	4,37	5,04	3,67	4,32	5,69	4,98	3,29	3,02	5,13	3,93
1985	0,78	5,21	2,51	3,40	1,97	2,39	1,60	1,64	2,65	0,91	0,28	0,23
1986	0,34	1,49	1,18	1,38	0,13	0,19	0,59	0,23	0,06	1,40	0,69	2,70
1987	2,56	2,71	2,11	2,61	6,28	4,75	5,28	6,94	7,51	8,12	2,32	0,35
1988	1,07	0,46	1,51	2,82	1,74	1,52	1,20	0,72	0,55	0,49	0,20	0,19
1989	1,03	3,03	4,29	7,51	3,24	2,32	2,66	1,86	7,26	0,41	0,13	0,23
1990	0,28	0,17	1,80	4,36	1,82	1,13	2,88	1,64	0,81	0,63	1,10	0,15
1991	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1992	0,15	9,83	5,66	2,81	3,21	2,47	2,22	5,00	4,39	0,41	0,19	0,11
1993	1,64	11,63	6,90	8,16	3,18	3,54	4,59	1,61	0,30	1,51	0,21	0,33
1994	0,26	3,63	7,23	3,00	3,05	9,33	7,08	3,07	0,49	1,33	0,89	0,80
1995	8,60	15,09	4,90	1,13	0,38	0,50	5,24	1,05	0,13	0,14	1,77	0,36
1996	23,47	14,55	9,92	6,39	2,94	3,63	3,04	2,75	2,67	10,05	1,25	2,42
1997	1,89	9,58	3,07	1,35	0,59	0,78	1,74	5,72	1,72	10,46	3,72	1,17
1998	9,70	22,30	12,76	3,86	1,95	1,80	3,95	4,94	4,75	2,36	0,12	0,09
1999	0,12	0,88	-	3,32	1,69	2,11	6,34	1,01	0,22	0,41	0,18	0,59
2000	26,48	7,59	4,10	2,90	1,78	1,23	1,21	1,44	1,19	1,92	1,52	2,57
2001	4,53	36,36	3,75	3,39	3,40	2,72	1,39	0,86	2,89	1,24	1,24	3,27
2002	4,83	2,78	7,74	5,16	7,33	7,67	5,11	3,19	1,84	5,76	5,39	5,47

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
2003	2,12	3,27	7,88	2,99	2,34	2,82	2,72	1,23	0,90	1,60	0,72	1,73
2004	1,75	1,57	1,33	6,29	6,04	3,91	3,49	1,24	1,24	1,74	2,71	2,76
2005	1,56	4,65	3,18	5,72	4,47	2,82	1,83	1,66	5,02	8,12	1,91	1,74
2006	2,16	6,22	2,60	2,69	2,30	2,14	1,50	1,26	0,97	1,26	1,20	0,86
2007	2,20	8,81	12,26	2,22	3,80	1,54	1,54	1,35	1,30	0,22	-	2,68
2008	1,30	3,36	3,29	1,34	2,73	1,15	5,01	1,80	1,89	1,97	3,93	2,37
2009	7,17	12,16	6,78	1,33	1,31	0,92	0,77	1,04	7,05	1,21	1,44	6,63
2010	17,30	5,60	3,15	7,63	7,61	4,27	2,55	0,00	0,00	0,04	0,00	0,21
2011	6,02	48,27	17,17	2,47	2,07	1,72	3,91	11,37	1,32	0,58	0,46	0,46
2012	2,45	2,89	0,34	0,22	0,17	0,90	1,74	0,23	0,64	0,05	0,00	0,00
2013	0,40	12,04	5,20	0,73	0,09	0,18	0,05	1,70	0,16	0,01	-	0,49
2014	0,89	2,54	10,23	2,56	1,31	12,52	0,12	0,15	0,04	0,01	0,00	0,00

Fonte: A autora, 2018.

Com base nas vazões mínimas foram determinadas as vazões mínimas para cada ano da série histórica (Tabela 11).

Tabela 11 - Vazões mínimas de sete dias para o período de 1977 a 2014.

Ano	$Q_{7\min} (m^3.s^{-1})$	Ano	$Q_{7\min} (m^3.s^{-1})$	Ano	$Q_{7\min} (m^3.s^{-1})$
1977	-	1990	0,15	2003	0,72
1978	0,34	1991	-	2004	1,24
1979	0,12	1992	0,11	2005	1,56
1980	1,17	1993	0,21	2006	0,86
1981	0,73	1994	0,26	2007	0,22
1982	0,18	1995	0,13	2008	1,15
1983	0,98	1996	1,25	2009	0,77
1984	3,02	1997	0,59	2010	0,00
1985	0,23	1998	0,09	2011	0,46
1986	0,06	1999	0,12	2012	0,00
1987	0,35	2000	1,19	2013	0,01
1988	0,19	2001	0,86	2014	0,00
1989	0,13	2002	1,84	-	-

Fonte: A autora, 2018.

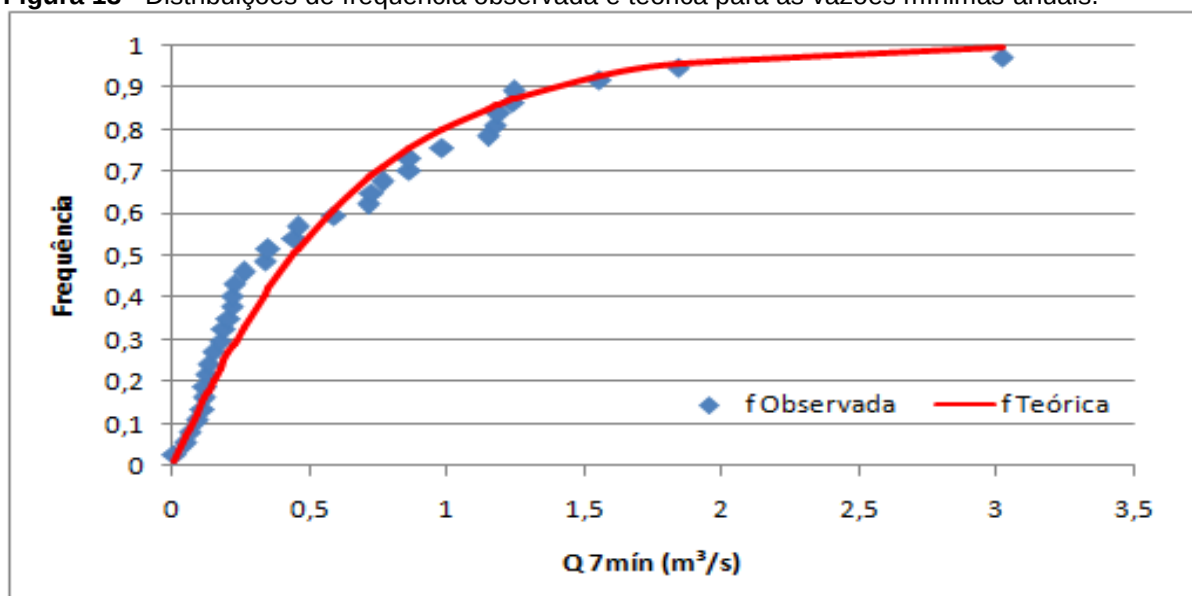
Com o objetivo de verificar o ajuste das vazões mínimas obtidas quanto à distribuição de frequências foram testadas duas funções de distribuição de probabilidade – Gumbel e Weibull (Tabela 12).

Tabela 12 - Teste de ajustamento K-S para as vazões mínimas.

Vazão	D _{máx}		D _{crítico}
	Gumbel	Weibull	
Q _{7mín}	0,3868	0,1406	0,2212

Fonte: A autora, 2018.

Como se pode verificar na Tabela 12, a distribuição mais adequada para as vazões mínimas é a Distribuição de Weibull, isto porque o D_{máx} é inferior ao D_{crítico}, determinado pelo teste de ajustamento K-S. Já a Distribuição de Gumbel não se ajusta, tendo D_{máx} superior ao D_{crítico}. A Figura 13 apresenta o gráfico de frequência das vazões mínimas observadas, bem como a distribuição melhor ajustada.

Figura 13 - Distribuições de frequência observada e teórica para as vazões mínimas anuais.

Fonte: A autora, 2018.

A Tabela 13 apresenta a média das vazões mínimas anuais de 7 dias com período de retorno de 2 a 100 anos para a bacia hidrográfica do rio Manoel Alves. Estes resultados obtidos são aplicáveis para planejamento e gestão do uso dos recursos hídricos, em especial a vazão Q_{7;10}.

O conhecimento da Q_{7;10} é de grande relevância devido a sua aplicação nos estudos para concessão de outorgas de direito de uso da água, principalmente para os usos que exigem maior garantia, já que esta vazão é mais conservadora,

assim como as vazões de maior permanência no tempo, por exemplo, a Q95% e a Q98%.

Tabela 13 - Vazões mínimas anuais de 7 dias para os períodos de retorno de 2 a 100 anos.

Tr (anos)	Probabilidade (%)	$Q_{7min} (m^3.s^{-1})$
2	50	0,439
5	20	0,149
10	10	0,073
15	7	0,049
20	5	0,037
50	2	0,015
100	1	0,008

Fonte: A autora, 2018.

O resultado da vazão $Q_{7;10}$ deste estudo apresentou diferença significativa quando comparado ao plano da BHRA para a Unidade de Gestão Rio Manoel Alves, ultrapassando os 560%. Os valores correspondem a $0,485 m^3.s^{-1}$ e $0,073 m^3.s^{-1}$, para o plano da BHRA e para os resultados do presente trabalho, respectivamente.

Esta diferença ocorre devido à variação de metodologias utilizadas para obtenção dos dados, sendo os valores do plano obtidos através de equações de regionalização, enquanto este trabalho utiliza a série histórica observada na estação fluviométrica Foz do Manuel Alves de 1977 a 2014. Esta diferença indica que a regionalização não representa a realidade hidrológica da bacia.

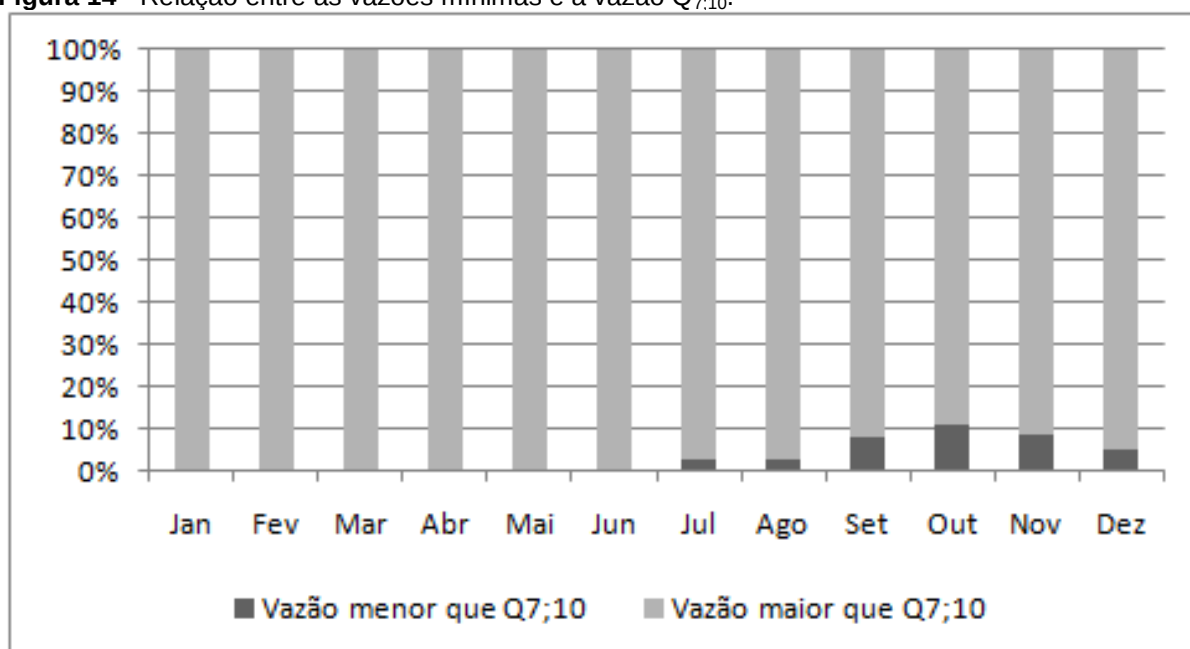
Como demonstrado na Figura 14, ao considerar as vazões mínimas mensais de toda a série histórica e relacioná-la a vazão $Q_{7;10}$, é possível verificar que apenas nos meses de julho a dezembro apresentaram vazões inferiores a $0,073 m^3.s^{-1}$, especialmente em setembro, outubro e novembro. A ocorrência deste fato se dá por dois motivos: i) os meses em questão correspondem ao período estiagem da região; ii) os meses equivalem ao período de maior demanda por água na bacia, já que coincide com a safra do arroz (setembro a janeiro, com maiores demandas em outubro e novembro).

De acordo com VCS (2007), com base na série histórica de 1943 a 2006, obtida pela estação pluviométrica de Meleiro, o trimestre mais chuvoso corresponde a dezembro, janeiro e fevereiro e os menores índices pluviométricos foram

registrados em abril, maio e junho. Observou-se ainda que o mês de outubro possui uma grande probabilidade de ter dias com muita chuva.

Levando em consideração que os dados obtidos por VCS (2007) e as vazões mínimas determinadas neste trabalho, os meses com menores pluviometrias (abril, maio e junho) coincidem com as menores vazões médias no rio Manoel Alves, no entanto, não correspondem aos meses com menores vazões mínimas. Período de maior demanda hídrica, o volume de água retirado do rio para a irrigação é superior à vazão mínima, secando completamente o seu leito quando a disponibilidade é baixa.

Figura 14 - Relação entre as vazões mínimas e a vazão $Q_{7;10}$.



Fonte: A autora, 2018.

Tendo em vista a possibilidade de falta de água na bacia hidrográfica no período de maior demanda, se faz necessário implantar metodologias de armazenamento ou reaproveitamento de água, bem como técnicas de cultivos e/ou tratamentos culturais que reduzam as exigências de água.

5.3 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Levando em consideração o uso e ocupação do solo da bacia do rio Manoel Alves onde, dos usos antrópicos, há predominância de rizicultura, e a grande

exigência de água deste cultivo, é necessário estimar a disponibilidade hídrica e através desse dado propor medidas para a gestão adequada dos recursos hídricos.

A safra do arroz na região onde se encontra a bacia hidrográfica do rio Manoel Alves ocorre normalmente entre os meses de setembro e janeiro, sendo os meses de outubro e novembro os que mais requerem água. A maior demanda nestes dois meses ocorre por tratar-se do período de maior concentração de semeaduras e aplicações dos insumos agrícolas, quando uma lâmina de água permanece sobre o solo.

A distribuição dos $6.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de água exigidos pela rizicultura se deu conforme a Tabela 14, considerando para os meses de maior utilização um volume de $1500 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, enquanto para os demais meses adotou-se $1.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$. A determinação da probabilidade de ocorrência das vazões exigidas pela rizicultura para cada mês de cultivo se efetuou utilizando a distribuição Gama, já que foi esta a distribuição que apresentou melhor ajustamento para as vazões médias.

Tabela 14 - Probabilidade de ocorrência da vazão necessária mensal para rizicultura.

Mês	Volume por hectare ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$)	Volume total (m^3)	Vazão ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	Probabilidade (%)
Set.	1000	6670000	2,57	14,7
Out.	1500	10005000	3,74	13,9
Nov.	1500	10005000	3,86	14,3
Dez.	1000	6670000	2,49	12,4
Jan.	1000	6670000	2,49	6,5

Fonte: A autora, 2018.

Conforme observado na tabela, são baixas as probabilidades de ocorrência de vazões iguais ou inferiores às requeridas, sendo menos de 15% para todos os meses. O arroz é relativamente tolerante a pequenas estiagens, por esse motivo é possível cultivar arroz nessas condições.

Para garantir água para a rizicultura e proporcionar maior segurança e viabilidade hídrica na bacia é necessário promover o uso de medidas para aumentar a disponibilidade de água e reduzir a demanda, assim como incentivar a criação de associações de irrigantes. Estas associações têm como finalidade manter e regular o uso da água para evitar conflitos pelo uso entre os agricultores, as quais também

podem estimular seus usuários a escalonar os períodos de plantio do arroz, para que os picos de uso ocorram em momentos diferentes.

Para aumentar a disponibilidade hídrica é essencial promover ações para proteger os recursos hídricos. A Área de Preservação Permanente - APP é a melhor alternativa para preservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos, sendo necessário respeitar a largura e/ou raio da APP conforme estabelecidos pela lei de proteção da vegetação nativa, lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, conhecida como Novo Código Florestal (BRASIL, 2012). Para garantir disponibilidade de água superficial, a qual supre a maior parte da água utilizada para irrigação, se faz necessário preservar a mata ciliar dos cursos d'água naturais e das nascentes.

A promoção do uso de estratégias estruturais e não estruturais para aumento da disponibilidade de água e redução das demandas também são interessantes opções. Como alternativas estruturais podem-se citar a realização de projetos que aumentem a disponibilidade, tais como barramentos nos rios, e a utilização de outras fontes de captação de água, tais como açudes, reservatórios superficiais e poços de água subterrânea. Como alternativa não estrutural há a redução gradual da demanda de água para irrigação, a fim de otimizar o processo produtivo, sendo necessária uma conscientização permanente por parte de entidades, como por exemplo, associações de rizicultores e EPAGRI.

5.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE ÁGUA

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da BHRA, a principal cultura cadastrada na SDS/SIRHESC é o arroz irrigado com 99% das declarações. Também se pode destacar o grande número de associações de irrigantes e produtores rurais, que captam água e distribuem para os demais associados.

Ao considerar a vazão outorgável pela SDS como sendo de $0,463 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, o que corresponde a 50% da vazão Q98% determinada neste trabalho, pode-se afirmar que esta vazão não atende toda a demanda por água da área rizícola da bacia do rio Manoel Alves. Com esta vazão é possível atender apenas 18% da área cultivada com arroz que demanda água nos meses de setembro, dezembro e janeiro, enquanto em outubro e novembro esse percentual é ainda menor, correspondendo a 12% da área.

Ao levar em consideração 50% da Q98% determinada por regionalização no plano da BHRA, isto é, $0,675 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, a vazão é maior que a observada neste trabalho, no entanto a demanda total de água na bacia para a rizicultura também não seria suprida. Aproximadamente 17% da área de cultivo de arroz poderiam sanar suas necessidades de água nos meses de outubro e novembro e por volta de 26% nos meses de setembro, dezembro e janeiro.

Alguns rizicultores optam por um plantio mais tardio em comparação ao período de safra adotado para este estudo (setembro a janeiro), enquanto outros preferem realizar o plantio mais cedo. Considerando então que a demanda por água ocorra durante aproximadamente seis meses e que cada hectare de arroz necessita de em média 6000 m^3 de água proveniente da irrigação, as vazões outorgáveis suprem apenas uma pequena fração da área total (Tabela 15).

Tabela 15 - Área atendida pela vazão outorgável Q98%.

Q98%	Vazão outorgável ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	Volume disponível por safra (m^3)	Área atendida (ha)
Obtida	0,463	7.206.155	1201
Plano	0,675	10.489.824	1748

Fonte: A autora, 2018.

O critério de outorga adotado para o estado de Santa Catarina é bastante rígido. Ao adotá-lo é necessário prever qual a providência será tomada diante da impossibilidade de suprir todas as demandas da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves, considerando, além da rizicultura, as demais atividades que fazem uso dos recursos hídricos.

Tendo em vista que com o critério de outorga de direito de uso de água estabelecido pela SDS não há o suprimento da demanda total da bacia para a rizicultura se faz necessário estabelecer critérios mais realistas para emissão das outorgas, já que não há expectativa de redução significativa da área cultivada a curto e médio prazo. O estudo para determinação da vazão outorgável deve levar em consideração que o volume de água que existe nos rios corresponde ao excedente, isto é, o que não é consumido para a irrigação.

Também é necessário incentivar as emissões de outorgas coletivas, através das associações irrigantes, as quais ficam responsáveis por distribuir a água

aos usuários. Estas associações desempenham papel importante na regulação e fiscalização do uso da água possibilitando minimizar a probabilidade de conflitos entre os rizicultores associados, reduzir os custos e otimizar do aproveitamento da água, bem como reduzir o desperdício de água por parte dos agricultores.

Comparando a vazão de permanência de 98% com a $Q_{7;10}$ verifica-se que a $Q_{98\%}$, obtida através da curva de permanência, $0,927 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, possui valor superior a $Q_{7;10}$, que foi igual a $0,073 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. O limite de vazão outorgável é significativamente baixo, porém não é considerada a vazão mínima, $Q_{7;10}$, a qual se mostrou a alternativa mais rigorosa.

6 CONCLUSÃO

A bacia hidrográfica do rio Manoel Alves é ocupada principalmente por vegetação arbórea, a qual corresponde a 60,84% da sua área total. O restante da bacia é ocupado por rizicultura, 16,98%; outros cultivos agrícolas, pastagens e campos naturais, 16,03%; e áreas urbanizadas e/ou construídas, solo exposto, mineração e outros usos não especificados anteriormente, 6,15%.

A rizicultura representa 43,36% da área que não é ocupada por vegetação arbórea, o que corresponde a cerca de 6.670 hectares da bacia. O cultivo de arroz demanda grandes quantidades de água, sendo este o seu principal uso. Devido a sua grande demanda se faz necessário o planejamento e gestão dos recursos hídricos para garantir sua disponibilidade.

O presente trabalho obteve como resultados de vazões: vazão média de longo termo correspondente a $13,77 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, vazões de permanência no tempo, Q90% de $2,176 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, Q95% de $1,486 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e Q98% de $0,927 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, e vazão mínima $Q_{7;10}$ igual a $0,073 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Estes valores divergem dos determinados para a Unidade de Gestão Rio Manoel Alves no Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araranguá desenvolvido em 2014.

As diferenças entre os valores obtidos neste trabalho e os determinados pelo plano da Bacia do Rio Araranguá se deram porque no plano as vazões foram obtidas através de equações de regionalização, enquanto neste trabalho as vazões foram determinadas através da série de dados de 1977 a 2014 da estação fluviométrica Foz do Manuel Alves. Esta diferença indica que a regionalização não representa completamente a realidade das condições hidrológicas da bacia.

Ao relacionar a área de 6.670 hectares de cultivos de arroz e o consumo total de água de $6.000 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ distribuído ao longo da safra, concluiu-se que as probabilidades de ocorrência de vazões iguais ou inferiores às requeridas em cada mês são baixas, sendo inferior a 15% em todos os meses. Levando em consideração da tolerância do arroz a pequenas estiagens, é possível cultivá-lo nessas condições.

Com o intuito de garantir água para o cultivo de arroz se faz necessário estabelecer critérios mais realistas para emissão das outorgas de direito de uso e incentivar a adoção de práticas para aumentar a disponibilidade, reduzir a demanda de água e gerir de melhor forma os recursos hídricos. Podem-se usar opções

estratégias estruturais, como barramentos nos rios e uso de outras fontes de captação de água, e não estruturais, como a redução gradual da demanda de água para irrigação e conscientização permanente sobre a otimização do uso da água.

Outra alternativa é a criação de associações de irrigantes, as quais tem como objetivo manter e regular o uso da água a fim de evitar conflitos entre os agricultores e atender toda a demanda. Para efetividade desta regulação se faz necessário fiscalizar o uso da água dos canais de irrigação, principalmente nos períodos de safra. As associações também podem promover que seus usuários escalonem os períodos de plantio do arroz para que os picos de uso ocorram em momentos diferentes.

Considerando que os rios da bacia de estudo são de domínio do Estado, a SDS é a responsável pela emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos, a qual adota como critério para análise da disponibilidade hídrica a vazão de permanência $Q_{98\%}$, o limite de vazão outorgável é significativamente baixo, porém não é considerada a vazão mínima, $Q_{7,10}$, a qual se mostrou a alternativa mais rigorosa.

O critério de outorga adotado para Santa Catarina é bastante rigoroso. Como foi possível verificar neste trabalho, ao adotá-lo, somente 1.201 hectares dos 6.670 ocupados por rizicultura têm suas demandas por água supridas com o volume disponível via outorga. Tendo em vista esta carência hídrica são necessárias medidas para suprir todas as demandas da bacia hidrográfica do rio Manoel Alves e incentivar a emissões de outorgas coletivas através das associações irrigantes, as quais ficam responsáveis por distribuir a água aos usuários, além de revisar o critério adotado para outorga.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil, e, Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2007. 166 p. (Caderno de Recursos Hídricos, 4).

ANA - Agência Nacional de Águas. **Hidrologia básica**. Unidade 1: ANA, 2018. 55 p. Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/2/Unidade_1.pdf>.
Acesso em: 05 set. 2018a.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Hidrologia básica: Aplicação de dados hidrológicos em séries históricas e estudos**. Unidade 3. ANA, 2018. 47 p. Disponível em:
<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/ana/66/6/Unidade_3.pdf>.
Acesso em: 05 set. 2018b.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2011. 50 p. (Cadernos de capacitação em Recursos Hídricos, v. 6).

BACK, Á. J. **Bacias Hidrográficas: classificação e caracterização física** (com o programa Hidrobacias para cálculos). Florianópolis: EPAGRI, 2014. 162 p.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem para o Estado de Santa Catarina** (com programa HydroChuSC para cálculos). Florianópolis, Epagri, 2013. 193 p.

BACK, Á. J.; JUST, M. C. **Consumo de água em lavouras de arroz irrigadas em sistema coletivo**. v. 24. Criciúma: Revista Tecnologia e Ambiente, 2018. p.133-145.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. cap. 5. p.177-241.

BRASIL. **Constituição** (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 23 ago. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de mai. de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências.** Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 10 out. 2018.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de jan. 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.** Brasília, DF, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 23 ago. 2018.

BRASIL. Resolução nº 65, de 07 de dez. de 2006. **Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental.** Brasília: DOU, 2007. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-cnrh-no-65-de-07-de-dezembro-de-2006/view>>. Acesso em: 03 out. 2018.

CLARKE, R. T. Hidrologia Estatística. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. cap. 17. p.659-702.

COAN, B. P. **Caracterização e Probabilidades de Ocorrência de Estiagens e**

Períodos Chuvosos no Estado de Santa Catarina. UNESCO. Criciúma, SC: Ed. do Autor, 2014. 108 p.

COSTA, K. T. **Avaliação de Distribuições de Probabilidades das Vazões Médias Diárias Máximas Anuais do Brasil.** Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2014. 195 p.

DESTEFANI, E. V. **Regime Hidrológico do Rio Ivaí - PR.** Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá, 2005. 95 p.

EPAGRI. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico do Estado de Santa Catarina.** 1998. Disponível em:
<<http://ciram.epagri.sc.gov.br/images/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

FINKLER, N. R. et al. **Comparação de funções de distribuição de probabilidades na determinação de vazão mínima anual e sazonal.** v. 3, n. 2, 2015. p. 42-49.

HOLTZ, A. C. T. Precipitação. In: PINTO, N. L. S. et al. **Hidrografia Básica.** São Paulo: Blucher, 1976. cap. 2. p.7-35.

KITE, G. W. **Frequency and Risk Analyses in Hydrology.** Water Resources Publications, 1977. 224 p.

LANNA, A. E. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. cap. 4. p. 79-176.

LANNA, A. E. Gestão dos recursos hídricos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. cap. 19. p.727-768.

MARTINS, J. A. Escoamento Superficial. In: PINTO, N. L. S. et al. **Hidrografia**

Básica. São Paulo: Blucher, 1976. cap. 3. p.36-43.

NAGHETTINI, M.; PORTELA, M. M., **Probabilidade e Estatística Aplicadas à Hidrologia.** Hidrologia Aplicada. DECivil, IST: 2011, 57 p.

PEREIRA, J. R. **Caracterização hidrológica como ferramenta de análise ambiental da APA/Bacia do Rio Maior.** Criciúma, SC: Ed. do Autor, 2016. 103 p.

PINTO, N. L. S. Manipulação dos dados de vazão. In: PINTO, N. L. S. et al. **Hidrografia Básica.** São Paulo: Blucher, 1976. cap. 9. p.167-181.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T. Medições de vazão. In: PINTO, N. L. S. et al. **Hidrografia Básica.** São Paulo: Blucher, 1976. cap. 10. p.182-204.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araranguá - Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos:** Relatório B1 – Consolidação das Informações sobre Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS: Profill, 2014a. 205 p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Araranguá - Etapa B: Diagnóstico e Prognóstico dos Recursos Hídricos:** Relatório B2 – Cenário Hídrico Atual. Porto Alegre, RS: Profill, 2014b. 227 p.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá.** Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Do Rio Araranguá. 2015. 64 p.

ROSSO, J. C. **Avaliação do consumo de água em lavouras de arroz irrigado no sistema pré-germinado nas condições climáticas do sul catarinense.** Criciúma: Ed. o autor, 2007. 64 p.

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, 1997. Disponível em:

<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=499&idMenuPai=496>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SANTA CATARINA. Lei nº 10.949, de 09 de novembro de 1998. **Dispõe sobre a caracterização do Estado em 10 (dez) Regiões Hidrográficas.** Florianópolis, SC, 1998. Disponível em:

<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=266&idMenuPai=235>. Acesso em: 29 ago. 2018.

SANTA CATARINA. **Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina.** Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos para o estado de Santa Catarina. v. 1. 2006. 141 p.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente/Secretaria de Estado do Desenvolvimento Rural e da Agricultura. **Plano de Gestão e Gerenciamento da Bacia do Rio Araranguá.** Análise das Características Físicas. Florianópolis, 1997

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. Portaria SDS nº 35 de 30 de outubro de 2006. **Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga e dá outras providências.** SC, 2006. Disponível em:

<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=638&idMenuPai=501>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável. Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008. **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, 2008. Disponível em:

<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa

a=29&idMenu=718&idMenuPai=501>. Acesso em: 25 ago. 2018.

SILVA, E. P. **O uso da água na produção rizícola e a sustentabilidade “hídrica” – caso da Associação de Drenagem e Irrigação Santo Izidoro (ADISI)**. Criciúma, SC : Ed. do Autor, 2015. 132 p.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. cap. 2, p.35-51.

SILVEIRA, A.; MOURA, R. M. P.; ANDRADE, N. L. R. **Determinação da $Q_{7,10}$ para o Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil e comparação com a vazão regularizada após a implantação do reservatório de aproveitamento múltiplo de Manso**. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Punta del Este – Uruguay, 2006. 8 p.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazões em pequenas bacias hidrográficas com carência de dados fluviométricos**. UFRGS, 1997. 123 p.

SOSBAI - Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil** / 28. Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 11 a 13 de agosto de 2010, Bento Gonçalves, RS. - Porto Alegre: SOSBAI, 2010. 188 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade/ UFRGS: ABRH, 2002. 943 p.

VCS Engenharia e Consultoria Ltda. **Relatório de Impacto Ambiental: Extração Mineral na Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves (Seixos Rolados)**. Criciúma: 2007. 175 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ANEXOS

ANEXO A – TESTE DE AJUSTAMENTO DE KOLMOGOROV-SMIRNOV – Tabela
de Probabilidade para $n = 1, \dots, 100$ e $\alpha_0 = 0,05, 0,01$.

n	5%	1%	n	5%	1%	n	5%	1%	n	5%	1%	n	5%	1%
1	.9750	.9950	21	.2872	.3443	41	.2076	.2490	61	.1709	.2051	81	.1487	.1784
2	.8419	.9293	22	.2809	.3367	42	.2052	.2461	62	.1696	.2034	82	.1478	.1773
3	.7076	.8290	23	.2749	.3295	43	.2028	.2433	63	.1682	.2018	83	.1469	.1763
4	.6239	.7342	24	.2693	.3229	44	.2006	.2406	64	.1669	.2003	84	.1460	.1752
5	.5633	.6685	25	.2640	.3166	45	.1984	.2380	65	.1657	.1988	85	.1452	.1742
6	.5193	.6166	26	.2591	.3106	46	.1963	.2354	66	.1644	.1973	86	.1444	.1732
7	.4834	.5758	27	.2544	.3050	47	.1942	.2330	67	.1632	.1958	87	.1435	.1722
8	.4543	.5418	28	.2499	.2997	48	.1922	.2306	68	.1620	.1944	88	.1427	.1713
9	.4300	.5133	29	.2457	.2947	49	.1903	.2283	69	.1609	.1930	89	.1419	.1703
10	.4092	.4889	30	.2417	.2899	50	.1884	.2260	70	.1597	.1917	90	.1412	.1694
11	.3912	.4677	31	.2379	.2853	51	.1866	.2239	71	.1586	.1903	91	.1404	.1685
12	.3754	.4490	32	.2342	.2809	52	.1848	.2217	72	.1576	.1890	92	.1396	.1676
13	.3614	.4325	33	.2308	.2768	53	.1831	.2197	73	.1565	.1878	93	.1389	.1667
14	.3489	.4176	34	.2274	.2728	54	.1814	.2177	74	.1554	.1865	94	.1382	.1658
15	.3376	.4042	35	.2242	.2690	55	.1798	.2157	75	.1544	.1853	95	.1375	.1649
16	.3273	.3920	36	.2212	.2653	56	.1782	.2138	76	.1534	.1841	96	.1368	.1641
17	.3180	.3809	37	.2183	.2618	57	.1767	.2120	77	.1524	.1829	97	.1361	.1632
18	.3094	.3706	38	.2154	.2584	58	.1752	.2102	78	.1515	.1817	98	.1354	.1624
19	.3014	.3612	39	.2127	.2552	59	.1737	.2084	79	.1505	.1806	99	.1347	.1616
20	.2941	.3524	40	.2101	.2521	60	.1723	.2067	80	.1496	.1795	100	.1340	.1608