

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

RAMIRO PAXE MALUNGO

**INDICADORES AMBIENTAIS EM ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO DE
CARVÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E
SUBTERRÂNEA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA-SANTA
CATARINA-BRASIL**

CRICIÚMA

2022

RAMIRO PAXE MALUNGO

**INDICADORES AMBIENTAIS EM ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO DE
CARVÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E
SUBTERRÂNEA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA-
SANTACATARINA-BRASIL**

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

Orientador (a): Prof. (a) Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes.

CRICIÚMA

2022

RAMIRO PAXE MALUNGO

**INDICADORES AMBIENTAIS EM ÁREAS IMPACTADAS PELA MINERAÇÃO DE
CARVÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL E
SUBTERRÂNEA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO URUSSANGA-
SANTACATARINA-BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Eng. Ambiental e Sanitarista no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental e Restauração de ambientes alterados e recuperação de área degradadas

Criciúma, 23 de novembro de 2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlyle Torres Bezerra, de Menezes – Eng. Dr de Minas - (UNESC) -Orientador

Prof. Gustavo Simão – Msc Geólogo - (UNESC)

Prof. Álvaro José Back – Msc Ciências ambientais - (UNESC)

Dedico este trabalho aos meus familiares que sempre estiveram comigo e que me deram maiores incentivos até chegar nesta fase final do curso

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus Pai todo poderoso por concretizar o meu sonho de se tornar engenheiro Ambiental e Sanitarista, E os meus pais, irmãos, primos e sobrinhos, que estiveram sempre a me dar muita força, aos meus amigos, a minha mulher que sempre esteve comigo e que me motivou bastante para esse grande ciclo de vida.

Agradeço imenso aos meus tios Ramiro Paxe, Samuel Paxe, por me derem essa grande oportunidade de estudo de poder me formar esse é o presente que eu dou para vocês. Agradecimento vai para todos os professores do curso por cada ensinamento que foi dado ao longo dos anos. Agradeço aos meus colegas de turma que sempre estiveram para me ajudar quando era recém-chegado no Brasil e na Universidade, Carlos Henriques, Guilherme Zanette, Enandra Casagrande, João Bembele. Agradeço os membros da banca examinadora por aceitar o convite o meu muito obrigado.

Agradeço ao meu orientador Dr. Carlyle Torres Bezerra de Menezes pela paciência e pelo tempo disponibilizado para mim, e que me incentivou bastante. Agradeço em particular ao professor Gustavo Simão por me mostrar o caminho para oportunidade de estágio, isso sempre será lembrado.

Agradeço imenso à equipe da CPRM Núcleo de Criciúma pela grande oportunidade de fazer parte desta grande família, aos meus grandes Supervisores Albert, e Geovane pela dedicação e carinho que sempre mostraram para mim, ao tio Zancan, ao Guilherme, a Vitoria a Kauana, a Patrícia o Marlon pela vossa amizade.

Agradeço a todos que tiveram comigo diretamente ou indiretamente. Gratidão Deus acima de tudo.

“Quando você começa a trabalhar com o meio ambiente seriamente, toda a arena vem à tona: direitos humanos, direito das mulheres, direitos ambientais, direitos das crianças, sabe, direitos de todos. Assim que começa a fazer essas conexões, você não pode mais apenas plantar árvores”

Wangari Maaathai
Ambientalista, Prêmio Nobel da Paz de 2004

RESUMO

Com o aumento populacional, o modelo hegemônico de desenvolvimento econômico, e as mudanças nos padrões de consumo a demanda global por água tem aumentado, principalmente o consumo das águas potáveis, com isto cresce a preocupação com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, justificando o interesse de muitos pesquisadores, e órgãos governamentais e sociedades civis para uma maior compreensão sobre as formas de poluição e a contaminação dos recursos hídricos. A exploração da mineração de carvão mineral historicamente provocou severamente a degradação dos recursos hídricos do Sul do Estado de Santa Catarina causando sérios impactos ambientais. Apesar da indústria mineral ter contribuído para a economia da região, por outro lado, ela se destaca como uma das maiores responsáveis pelos danos ambientais causados em toda a região carbonífera, com graves impactos em todas as etapas desta indústria, desde a lavra, beneficiamento até a disposição dos resíduos sólidos e efluentes líquidos, comprometendo a qualidade ambientes aquáticos e dos solos. O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar os resultados das campanhas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas em áreas impactadas devido as atividades de mineração de carvão mineral na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga com vistas a identificar os indicadores de recuperação ambiental. É uma metodologia em que o estudo se trata de uma pesquisa do tipo aplicada e quantitativa. Para o desenvolvimento deste estudo usou-se os dados das campanhas de monitoramento dos indicadores ambientais fornecido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM Núcleo de Criciúma. As coletas de amostragens foram realizadas pela mesma empresa. Porém através da pandemia que impactou as primeiras campanhas de monitoramento, os pontos de amostragem foram reduzidos, para últimas campanhas. Foram analisados parâmetros químicos e físico-química, para acompanhar a evolução dos recursos hídricos em relação aos anos anteriores. O estudo foi feito na bacia hidrográfica do rio Urussanga que se localiza entre as latitudes 28°26'S e 28°49'S e longitude 49°25' W e 49°06' W. Está inserida na bacia carbonífera do sul do estado de Santa Catarina, e situa-se entre as bacias dos rios Araranguá e Tubarão. Abrangendo 10 municípios que são interagidos pelas bacias de Criciúma, Cocal do Sul, Içara, Jaguaruna, Pedras Grandes, Sangão, Treze do Maio, Urussanga, Morro da Fumaça, Balneário do Rincão. Para este estudo foram apenas selecionados três principais rios da bacia que são os rios Carvão e Maior e rio Urussanga, que é formado a partir da confluência dos dois rios. Com os resultados obtidos das campanhas das águas superficiais podemos observar que o rio Carvão e o rio Urussanga ainda apresentam vários problemas ambientais, tais como baixo pH, o Ferro e Manganês e o Sulfato e outros metais tóxicos com elevadas concentrações. Vale ressaltar para estas últimas campanhas de monitoramento, embora os indicadores ambientais ainda apresentem condições ruins de qualidade nos recursos hídricos podemos observar que houve uma pequena melhora em relação as campanhas anteriores, porém ainda não se pode afirmar que esta é uma tendência geral para toda a área de estudo.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Águas superficiais e subterrâneas. Mineração de carvão; Impactos Ambientais; Recuperação de áreas Degradadas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais efeitos da DAM sobre o meio Ambiente	24
Figura 2 - Drenagem Ácida de Mina – DAM em área degradada pela mineração de carvão	25
Figura 3 - DAM na água superficial do Rio Urussanga	26
Figura 4 - Mapa das áreas degradadas pela mineração de carvão na região sul catarinense.....	29
Figura 5 - Mapa de localização das áreas impactadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina.....	32
Figura 6 - Aspectos das atividades de mineração e processamento relativos aos vários compartimentos ambientais	32
Figura 7 - Ciclo de vida de uma mina e o papel da recuperação de áreas degradadas – RAD.....	46
Figura 8 - Área Recuperada (A), e área em processo de obra de recuperação ambiental (B).....	47
Figura 9 - Rio Pio em estágio de recuperação ambiental	48
Figura 10 - Área Recuperada, com implementação de poleiros artificiais área III, Treviso-SC	49
Figura 11 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga	52
Figura 12 - Localização das áreas de estudo: rios Carvão Maior e rio Urussanga ..	53
Figura 13 - Localização dos pontos de coleta selecionadas para este estudo	58
Figura 14 - Sonda Multiparamétrica Aquaread medindo os parâmetros de águas superficial em campo. (pH, condutividade elétrica).....	59
Figura 15 - Sonda Multiparamétrica Aquaread medindo os parâmetros de água subterrâneas em campo (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura)	60
Figura 16 - Ponto de monitoramento URP010 rio Carvão	64
Figura 17 - Ponto de monitoramento URP011 rio maior	66
Figura 18 - Ponto de monitoramento URP024 rio Urussanga.....	68
Figura 19 - Poço PMAPUR01	70
Figura 20 - Poço PMAPUR02.....	72
Figura 21 - Poço PMAPUR03.....	74
Figura 22 - Poço PMAPUR01 (leque aluvial).....	76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - parâmetros analisados no rio Carvão ponto URP010	64
Gráfico 2 - Parâmetros analisados no rio Maior ponto URP011.....	67
Gráfico 3 - Parâmetros analisados no rio Urussanga ponto URP024.....	69
Gráfico 4 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR01	70
Gráfico 5 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR02.....	72
Gráfico 6 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR03.....	75
Gráfico 7 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR01	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Área de mineração a céu aberto	22
Quadro 2 - Minerais de sulfetos metálicos mais importantes em regiões da mineração e produtos resultantes de oxidação completa.....	27
Quadro 3 - Área degradada (ha) pela mineração de Carvão nas Bacias Hidrográficas do Sul de Santa Catarina.....	29
Quadro 4 - Recursos hídricos superficiais contaminados pela mineração de carvão	37
Quadro 5 - Presença de aquífero na região da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga	55
Quadro 6 - Valores de Background e do CONAMA 396/08 e do CONAMA 357/05 ..	62
Quadro 7 - pontos e poços e números das Campanhas.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Água
As	Arsênio
CBCA	Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
Cu	Cobre
CuFeS ₂	Calcopirita
DAM	Drenagem ácida de mina
Fe	Ferro
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
IMA	Instituto do Meio Ambiente
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
Mo	Molibdênio
PMAPUR	Poço de Monitoramento Ambiental Ponto Urussanga
PMC	Prefeitura Municipal de Criciúma
PRAD	Plano de recuperação de área degradada
RAD	Recuperação de área degradada
SC	Santa Catarina
Se	Selênio
SIECESC	Sindicato da Indústria de extração de Carvão do Estado de Santa Catarina
SMM	Secretaria de Minas e Metalurgia
UNESC	Universidade do Extremo Sul Catarinense
URP	Urussanga Ponto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	18
2.1 MINERAÇÃO E O MEIO AMBIENTE.....	18
2.1.1 Mineração de Carvão na Região da Carbonífera do Sul de Estado de Santa Catarina	19
2.1.2 Formação da Drenagem Ácida Mina – DAM	22
2.1.3 Áreas Degradadas Pela Mineração De Carvão A Céu Aberto No Sul De Santa Catarina e Impactos Ambientais	28
2.2 RECURSOS HÍDRICOS – ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	33
2.2.1 Recursos Hídricos Regionais: impactos Ambientais sobre águas superficiais e subterrâneas	35
2.2.2 Bacias Representativas	38
2.2.3 Vulnerabilidades dos Aquíferos	38
3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO MINERAL	42
4 METODOLOGIA	50
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS BIBLIOGRAFICOS E DOCUMENTAL	51
4.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	51
4.2.1 Geologia e Geomorfologia	53
4.2.2 Hidrogeologia	54
4.2.3 Caracterização Climática	56
4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO E PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS E AMOSTRAGENS DE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA	57
4.3.1 Procedimentos para amostragem de águas superficiais	59
4.3.2 procedimentos para amostragem de águas subterrâneas	60
4.4. ESTUDO COMPARATIVO DE BACKGROUND REGIONAL	61
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1 ANÁLISE DE DADOS DAS AMOSTRAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	63
5.2 ANÁLISE DE DADOS DAS AMOSTRAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.	69
6 CONCLUSÃO CONSIDERAÇÕES FINAIS	80
REFERÊNCIAS	82
ANEXO (S)	90

1 INTRODUÇÃO

Um dos recursos mais importantes para a sobrevivência não só da espécie humana, mas de todas as formas de vida, a água tem se tornado nos últimos anos motivo de grande preocupação, tanto em função dos aspectos quantitativos e de estresse hídrico, quanto aos aspectos qualitativos para os seus diversos usos (SILVA e PORTO, 2020).

Desde o início da história da humanidade é evidente a importância da água. No entanto, com o aumento populacional, o modelo hegemônico de desenvolvimento econômico, e a mudança nos padrões de consumo a demanda global por água tem aumentado, principalmente o consumo das águas potáveis, com isso cresce a preocupação com a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, justificando o interesse de muitos pesquisadores e órgãos governamentais e sociedades civis para uma maior compreensão sobre as formas de a poluição e a contaminação dos recursos hídricos (BELLETTINI; VIERO; NETO, 2019)

Nas últimas décadas os ecossistemas aquáticos têm sido alterados significativamente em função de múltiplos impactos antrópicos tais como a mineração, construções de barragens, dragagens e desvios dos cursos naturais dos rios, lançamentos de efluentes dos grandes centros urbanos e industriais não tratados, desmatamentos e uso inadequado dos solos em regiões de inundação. A exploração da mineração de carvão mineral não racionalizadas têm assolado muito os recursos hídricos do Sul do Brasil, causando sérios impactos ambientais significativos (BELLETTINI; VIERO; NETO, 2019).

A exploração da mineração de carvão mineral historicamente provocou severamente a degradação dos recursos hídricos do Sul do Estado de Santa Catarina causando sérios impactos ambientais. Apesar da indústria mineral ter contribuído para a economia da região, por outro lado, ela se destaca como uma das maiores responsáveis pelos danos ambientais causados em toda a região carbonífera, com graves impactos em todas as etapas desta indústria, desde a lavra, beneficiamento até a disposição dos resíduos sólidos e efluentes líquidos, comprometendo a qualidade ambientes aquáticos e dos solos. (VOLPATO, 2013).

No Brasil, as principais ocorrências de carvão mineral localizam-se na Região Sul e se estendem a partir do Estado de São Paulo, passando pelos estados

do Paraná e Santa Catarina, até ao Rio Grande do Sul. A Bacia carbonífera Catarinense constitui-se de uma faixa aproximadamente de 100 km de comprimento e uma largura média de 20 km, entre a serra geral a oeste e o maciço granito da serra do mar e a leste seguindo a orientação Norte Sul (BELOLLI et al., 2002).

No Brasil, o carvão mineral é a maior fonte de energia não renovável, a sua mineração nos moldes efetuados até recentemente vem trazendo sérios impactos e danos ao meio ambiente (CASTILHOS, 2010).

A região sul do Estado de Santa Catarina é conhecida como região carbonífera e durante muito tempo, a sua economia foi sempre baseada na extração do carvão mineral. Essa atividade de exploração de carvão na região do sul do estado de Santa Catarina iniciou nos finais do século XIX, tendo sido impulsionadas pelas duas guerras mundiais e a crise do petróleo na década de 1970, quando o carvão foi considerado uma alternativa energética de grande potencialidade (ALBA, 2018).

Os carvões minerais brasileiros constituem altos teores de impurezas (piritas e minerais de rochas sedimentares), assim na maioria dos casos, são necessários métodos de concentração para alcançar os parâmetros de operação nas usinas termoelétricas. Atualmente, cerca de 60-70% do mineiro extraído do carvão de Santa Catarina é disposto em depósito como rejeito. Estima-se que existam, aproximadamente 300 milhões de toneladas de rejeitos na região sul do país, com uma alta quantidade de enxofre. Esses depósitos são a principal fonte de geração da drenagem ácida de mina (DAM), que é um grande problema que assola a região carbonífera do sul de Santa Catarina (AMARAL FILHO et al., 2013).

O histórico da região carbonífera do sul do estado de Santa Catarina aponta que no processo de disposição sem o controle dos estéreis e de rejeitos, o solo não foi preservado e muitas áreas da região foram abandonadas após atividades a mineração ocasionando certos problemas ambientais, como o surgimento da geração da drenagem ácida de mina (DAM), erosão emissão de gases para atmosfera e impactos visual (ALBA, 2018).

Segundo Sousa (2020), a mineração é associada a desenvolvimento, socioeconômico e essencial para sociedade. No entanto, as atividades mineradoras apresentam alto índice de impactos ambientais, assim como o desmatamento, a degradação do terreno, a poluição e a contaminação do solo e de recursos hídricos.

A poluição e a contaminação dos recursos hídricos podem ocorrer em três maneiras na mineração:

- Por meio de alto consumo de água para beneficiamento de mineiro;
- Por meio de rebaixamento do lençol freático durante a etapa de extração de mineiros, diminuindo o fluxo de água do rio impactando também a recarga dos aquíferos;
- Possível contaminação das águas por meio de rejeitos com contaminação tóxica que são levadas até aos recursos hídricos pelo escoamento superficial das águas (Sousa, 2020).

Nos últimos anos devido a atividade de mineração, águas superficiais e subterrâneas têm passado por alterações que comprometem diretamente a manutenção dos usos múltiplos dos recursos hídricos. Nos ecossistemas aquáticos, a heterogeneidade da qualidade da água pode ser influenciada principalmente pela contribuição natural da bacia hidrográfica. Diversos estudos apontam que as atividades de mineração de carvão mineral a céu aberto como sendo uma atividade de alto potencial degradador e responsável pela poluição e contaminação do solo e dos recursos hídricos (MEDEIRO et al., 2018).

O principal impacto ambiental da mineração de carvão é a contaminação por drenagem ácida de minas (DAM) que afetam os recursos hídricos por ocasionando baixo pH e alta concentração de elementos tóxicos que colocam em riscos os ecossistemas das águas superficiais e subterrâneas. A gravidade desses impactos depende de fatores como condições geológica e se a mina está ativa ou abandonada e os métodos de extração utilizados. Após o processo de recuperação de áreas degradadas o monitoramento ambiental é realizado pelos responsáveis e os resultados são encaminhados a agência estadual do meio Ambiente (CARDOSO; FAN, 2021).

Na bacia carbonífera catarinenses, são encontrados cerca de 6000 ha de áreas degradadas pelas atividades de mineração de carvão, comprometendo, os cursos de águas da região pela drenagem ácida de mina (DAM), grandes partes das massas de água presente na região encontram-se comprometida pela poluição e contaminação provocada por meio de atividades de indústrias mineradoras, colocando em risco o abastecimento de água para toda região (BRANDELERO et al, 2013).

A região impactada atinge três bacias a Bacia do Rio Araranguá a Bacia do Rio Tubarão e a Bacia do Rio Urussanga. A bacia do Rio Araranguá é a mais afetada das três Bacias existente na região. Na Bacia do Rio Urussanga o segmento mais crítico

de Contaminação, possivelmente devido à contribuição das áreas mineradas por Coquerias está região, deve receber maior atenção em ações de controle ambiental e gestão desta Bacia (BRANDELERO et al, 2013).

Segundo Menezes et al., (2019), nos dias de hoje a região carbonífera do sul do Estado de Santa Catarina é enquadrada entre aquelas que possuem um dos maiores passivos ambientais no Brasil, apesar de existir programas de recuperação de áreas degradadas. Os recursos hídricos, continuam a apresentar sérios comportamentos nocivos, tanto em perdas da biodiversidade e contaminação do solo incluindo sedimentos aquáticos. As principais características destes impactos é a elevação do nível de concentração de substâncias tóxicas.

No sul catarinense a extração de carvão a montante do estuário tem provocado alterações física e química e biológicas nos ecossistemas locais, comprometendo de forma severa os recursos hídricos, o solo e a biota. As atividades de carvão executadas na área da Bacia do Rio Urussanga, abrangendo os seus afluentes assim como os rios América, carvão e rio deserto, correspondem às áreas de maior degradação (MENEZES et al., 2019).

Segundo Schnack et al., (2018), o sindicato local da indústria carbonífera estima uma extração de 6 milhões de toneladas de carvão por ano, dos quais cerca de 3,5 milhões de toneladas por ano se tornam rejeitos e são depositados em aterro.

A exploração de carvão mineral sem preocupação ambiental comprometeu significativamente a região carbonífera causando um grande impacto ambiental que deixou diversas áreas contaminadas com pilhas de rejeitos, passivos de bocas de minas, danos as águas superficiais e subterrâneas. Com isso vários pesquisadores apontam que a região carbonífera do sul do estado de Santa Catarina é a mais crítica em relação a poluição e contaminação dos cursos de águas.

Desta forma à certos problemas de contaminação das águas superficiais e subterrâneas da bacia hidrográfica da região carbonífera do sul de Santa Catarina, este trabalho tem como o enfoque avaliar e analisar as qualidades das águas superficiais e subterrâneas na região da bacia hidrográfica do rio Urussanga, impactadas pela mineração de carvão a céu aberto.

Diante das abordagens introdutórias, apresentada, o presente trabalho tem como objetivo geral:

Avaliar os resultados das campanhas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas em áreas impactadas devido as atividades de mineração de carvão mineral na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga com vistas a identificar os indicadores de recuperação ambiental.

Para este trabalho destacou-se os seguintes objetivos específicos:

1. Selecionar e analisar parâmetros químicos e físico-químicos obtidos das campanhas de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas;
2. Compreender por meio de aprofundamento teórico e revisão bibliográfica e documental, bem como a análise de indicadores ambientais a importância do monitoramento de águas superficiais e subterrâneas;
3. Utilizar a ferramenta Qgis, para identificar os pontos de coleta da água dos rios e dos poços de monitoramentos na área em estudo.
4. Avaliar e interpretar o comportamento dos parâmetros selecionados e realizar um estudo comparativo com a legislação vigente CONAMA 357/05 e CONAMA 396/08 e com os valores estabelecidos de background da Região Carbonífera Catarinense.
5. Subsidiar e contribuir para o aperfeiçoamento dos processos de monitoramento ambiental de águas superficiais e subterrâneas.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 MINERAÇÃO E O MEIO AMBIENTE

A mineração é um dos setores básicos da economia de um determinado país, contribuindo de forma decisiva para o bem-estar e a melhoria da qualidade de vida dos presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presente preceitos do desenvolvimento sustentável (FARIAS, 2002).

A avaliação do desempenho ambiental é uma ferramenta que ao mesmo tempo possibilita um controle corporativo dos resultados ambientais de uma operação ou um conjunto de operações e coleta evidências que demonstram esses resultados à comunidade e demais partes interessadas (SÁNCHEZ, 2017).

O exercício da atividade minerárias guarda uma estreita relação com a temática da proteção ao meio ambiente, não apenas por se tratar da exploração de um recurso mineral, mais também por não se pode visualizar a jazida fora de seu contexto de íntima ligação com os demais elementos da natureza como o solo, e a flora. Para que se viabilize o exercício da mineração é imprescindível a intervenção na área de exploração onde se localiza o mineiro, provocando inúmeras transformações ao meio ambiente (FERREIRA; FERREIRA, 2012).

O Subsolo brasileiro possui importantes depósitos minerais. Partes dessas reservas são consideradas expressivas quando relacionadas mundialmente. O Brasil produz cerca de 70 substâncias, sendo 21 dos grupos de minerais metálicos, 45 dos não metálicos e 4 dos energéticos. Em termos de participação no mercado mundial em 2000, ressalta-se a posição do nióbio (92%), minério de ferro (20% segundo maior produtor do mundo), tantalita (22%), manganês (19%), alumínio e amianto (11%), grafite (19%), caulim (8%), (FARIAS, 2002).

Segundo Sánchez (2007), o planejamento e gestão ambiental na indústria de mineração integram um campo em rápida evolução. Há certamente avanço importante em temas como: recuperação de áreas degradadas, manejo de água em minas, monitoramento ambiental e relações com a comunidade.

Para Farias (2002), a nível federal os órgãos responsáveis definem regulamentações, assim como atuar na fiscalização e cumprimento da legislação para o aproveitamento dos recursos minerais são:

- I. Ministério do Meio Ambiente – MMA: responsável por formular e coordenar as políticas ambientais;
- II. Ministério de Minas e Energia – MME: responsável por formular e coordenar políticas dos setores minerais;
- III. Secretaria de Minas e Metalurgia – SMM/MME: Responsável por formular e coordenar a implementação das políticas do setor mineral;
- IV. Serviço Geológico do Brasil – CPRM (Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais), responsável por difundir conhecimento geológico e hidrológico básico.
- V. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA responsável por formular políticas ambientais, cuja resolução que têm poder normativo, com força de lei, desde que o poder legislativo não tenha aprovada a legislação específica;
- VI. Agência Nacional de Água – ANA: responsável pela execução da política nacional de recursos hídricos (FARIAS, 2002).

Sobre a legislação aplicável à mineração e ao meio ambiente, Vaz e Mendes (1997), afirmam que no campo jurídico surgiu o direito ambiental sub o ramo do direito administrativo com objetivo voltado a proteção do meio ambiente, que tem como enfoque o conjunto de princípio e regras impostos coercitivamente pelo poder público competente e disciplinares de todas as atividades direta e indiretamente, relacionados com uso racional dos recursos naturais.

2.1.1 Mineração de Carvão na Região da Carbonífera do Sul de Estado de Santa Catarina

Historicamente, os primeiros trabalhos da exploração de carvão ocorreram no município de Lauro Muller nos meados de 1861, realizado por visconde de Barcacena que recebeu a concessão para exploração do imperador Don Pedro II. Durante o aumento de carvão e durante a 1ª guerra mundial, surgem novas empresas mineradoras entre elas, Companhia Brasileira Carbonífera Araranguá – CBCA que iniciou suas atividades na década de 1917 (HOELZEL, 2018).

Durante as décadas de 30 e 40, o governo de Getúlio Vargas determinou a obrigação de uso do carvão nacional por este motivo em 1946 foi criado a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN. Durante a década de 50 muitas minas foram abertas em toda região carbonífera, atualmente o carvão catarinense vem sendo utilizado majoritariamente para a geração de energia termelétrica, onde 6 empresas desenvolvem suas atividades na região (HOELZEL, 2018).

O carvão mineral não é um mineral no sentido estrito da palavra. Não há composição química definida, trata-se de um recurso energético e, entre estes, compete com o petróleo e o gás natural pela. (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

Para Campos et al., (2010), o carvão mineral é uma rocha sedimentar combustível, que vem se formando a partir de determinadas vegetais que sofreram soterramento em bacias originalmente pouco profundas. Fatores como pressão, temperatura, tectônica e seu tempo de atuação, determinaram carbonificação gradativa da matéria vegetal original, sofrendo alterações significativas com perda de O₂ e H₂O e torna sendo-se maior em carbono.

O carvão mineral é formado por carbono, oxigênio, nitrogênio, enxofre e de outros elementos, que constituem sua matéria carbonosa. Esta pode estar associada a rocha (arenito, siltito, folhelhos e diamictitos) e minerais como a pirita. O objetivo principal da etapa de beneficiamento é reduzir as impurezas associadas à matéria carbonosa de carvão mineral. As camadas lavradas em Santa Catarina São Barros Brancos representando cerca de 90% do produto vendável (CETEM, 2001).

O carvão mineral, no Brasil, constitui-se na maior fonte de energia não renovável suas reservas apresentam aproximadamente cerca de 50%, seguido pela energia nuclear com 27% e o petróleo com 8%, o restante é atribuído a gás natural, xisto e turfa (CETEM, 2001).

O carvão brasileiro é considerado de qualidade inferior devido aos elevados teores de cinzas e enxofre (carvão de Santa Catarina e do Paraná). Também, a lavra em Santa Catarina foi conduzida de maneira predatória e sem compromisso nenhum com o meio ambiente, resultou um passivo ambiental enorme e uma área impactada com pequenas perspectivas de recuperação (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

O carvão brasileiro é produzido apenas nos estados da região sul. Rio Grande do Sul é o maior produtor e tem as maiores reservas. A qualidade varia para o norte, onde o teor de cinzas diminui e o teor de enxofre aumenta. O caráter metalúrgico (capacidade de fornecer coque), não existe no Rio Grande do Sul, exceto no carvão de Morungava, e é fraco no Paraná e excelente em Santa Catarina (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

A exploração de carvão mineral pode ser subterrânea e a céu aberto. Mineração subterrânea é realizada em abertura de poços, planos inclinados ou galerias de encostas para exploração de mineiros, transporte de materiais e de pessoas. Na mineração subterrânea o método de câmeras e pilares é o mais utilizado no Brasil e tem a função na abertura de um eixo principal de transporte, que pode ser constituída de duas ou mais galerias paralelas e perpendiculares (CAMPOS et al., 2010).

A lavra a céu aberto é utilizada, quando a jazida de carvão se encontra próximo a superfície do solo até, aproximadamente 30 m de profundidade. Consistia em época passadas na retirada da vegetação, solo e estéreis da mineração por escavadeira até localizar a camada de carvão, formando cavas, neste material depositado em pilhas geralmente cônica, até 20 m de altura, a vegetação e o solo eram depositados na base das pilhas, ficando nas camadas superiores os estéreis da mineração gerando a conhecida paisagem lunar, promovida pela inversão das camadas do solo (KLEIN, 2006, p. 3).

A lavra a céu aberto consiste nas operações de remoção da cobertura de material estéril e extração da camada de carvão descoberto. O método utilizado no Brasil de lavra mais frequente é classificado como *Strip Mining* (CAMPOS et al, 2010).

Em Santa Catarina exploração de carvão mineral desenvolveu-se na região sul de estado onde importantes centros de mineração encontram-se nos municípios de Lauro Muller, Urussanga, Siderópolis, Treviso, Criciúma, Forquilha, Içara, Morro da Fumaça, e Maracaja. No passado em decorrência de uma produção definida e crescente, essa região desenvolveu condições estruturais favoráveis e instalações de importante centro de produção de carvão mineral (BELOLLI et al., 2002).

Na região sul do estado de Santa Catarina, onde fica a bacia carbonífera catarinense, a preocupação ambiental surgiu quando o governo federal, por base de decreto federal nº 085206/80, classificou a região carbonífera como 14ª área crítica nacional para o efeito de controle ambiental. Com o passar dos anos, e o constante descaso com o meio ambiente, em 1982 o governo federal esclareceu algumas obrigações para as carboníferas, como a preservação do meio ambiente e considerando a necessidade de conciliar a expansão da produção e o uso do carvão mineral com a preservação e integridade do meio ambiente é publicado na portaria nº 917, 06 de julho de 1982 (GONÇALVES, 2012).

Segundo Gonçalves (2012), algumas obrigações estabelecidas pelo governo federal foram as seguintes:

- Tratamento dos efluentes líquidos originados na drenagem de mina e do beneficiamento do carvão;
- Transporte, manuseio, disposição ou parcial de subprodutos, produtos ou resíduos sólidos, originados da lavra ou do beneficiamento do carvão, da recuperação das áreas degradadas pela mineração (GONÇALVES, 2012).

Nos municípios de Urussanga e Siderópolis as áreas das lavras a céu aberto ultrapassam os 2.100 hectares. Em poucas áreas, os terrenos foram nivelados

mecanicamente e reflorestados com espécies de eucaliptos que apresentam reduzido crescimento devido à falta de técnica de manejo adequado, pela precariedade do solo e pela presença de água altamente poluída e tóxica (POMPÊO et al., 2004).

Descreve-se, inicialmente que a bacia carbonífera corresponde a 32 municípios com uma área total de 9553 Km^2 , o que corresponde a 95% do território Catarinense. Relacionado as principais atividades na bacia com a mineração de carvão: lavra, beneficiamento, transporte, estocagem de rejeito, coqueria e a usina termoelétrica. Sobre a poluição das águas, Carola (2011), afirma que a sua qualidade na região carbonífera está diretamente relacionada com atividade de mineração de carvão de que 2/3 dos recursos hídricos estão comprometidos, ou seja, as Bacias Hidrográficas do Rio Araranguá, do Rio Urussanga e do Rio Tubarão (CAROLA, 2011 p. 15 -16). O quadro 1 apresenta as principais áreas de mineração a céu aberto no sul Catarinense.

Quadro 1 - Área de mineração a céu aberto

Local	Área de cobertura minerada	
Bacia do Rio Araranguá	1.000	1.200
Bacia do Rio Urussanga	150	700
Bacia do Rio Tubarão	250	600
Subtotal	1.400	2.500
Total	3900 ha	

Fonte: CAROLA, 2011, modificada pelo autor

No sul da região carbonífera para a lavra de carvão a céu aberto, removeram-se grandes volumes de estéril que é a mistura das rochas removidas para acesso as camadas de carvão, o que formou cavas e pilhas de material resultante da escavação. Essas pilhas são geralmente cônicas, com até 20 m de altura, e resultaram da inversão dos horizontes do solo e das rochas, em relação as suas posições estratigráficas originais, verificando-se a vegetação e o solo depositado na base, e os estéreis da mineração nas camadas superiores, originando a conhecida inversão das camadas do solo (ALBA, 2018).

2.1.2 Formação da Drenagem Ácida Mina – DAM

A exploração de certos minerais está associada aos problemas e danos ambientais que a drenagem ácida pode causar. Caracterizada por apresentar baixo

pH e altas concentrações de elementos tóxicos, a DAM pode comprometer severamente em longo prazo a qualidade de águas superficiais e subterrâneas, bem como os solos. Os principais minerais que podem originar DAM são a pirita (FeS_2) e a marcassita (FeS_2), pirrotita (FeS), calcopirita (CuFeS_2), e outros minerais de sulfeto contendo ferro (Fe), cobre (Cu), arsênio (As), selênio (Se) e molibdênio (Mo) podem também produzir soluções ácidas. A pirita é o principal responsável pela geração de DAM (GALHARDI; SOLDERA, 2018).

As drenagens ácidas ocorrem em áreas nas quais o mineral a ser lavrado encontra-se sob a forma de sulfetos ou quando sulfetos estão associado a rochas encaixantes. Os resíduos de minas (estéreis e rejeitos provenientes do beneficiamento), ricos em sulfetos, ao ficarem expostos à água e ao ar, oxidam-se gerando acidez. (CETEM, 2001).

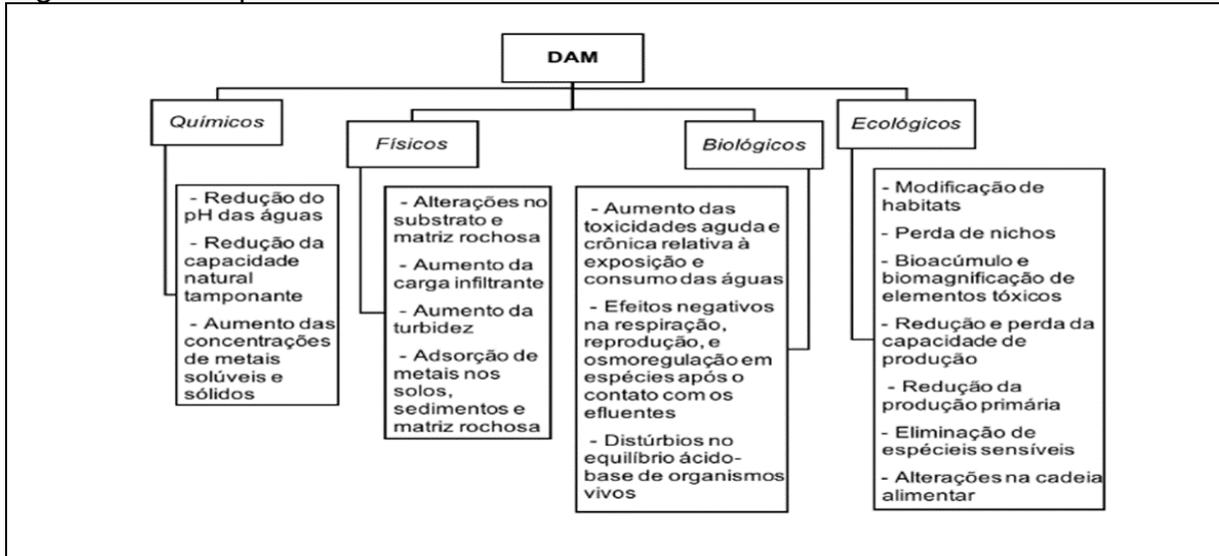
Conforme dito por Mello, Duarte e Ladeira a (2014), DAM é um fenômeno que inicia quando as rochas contendo minerais sulfetados são retiradas do interior da terra pelas atividades de mineração e quando disposta na superfície terrestre, oxidam-se por reação com água e oxigênio atmosférico.

A DAM pode causar sérios problemas, como a corrosão de estruturas, corrosão de rochas calcárias no subsolo causando subsidência, bioacumulação e biomagnificação de metais pesados, entre outras problemáticas (GIAMPÁ; GONÇALES, 2013).

Segundo Galhardi e Soldera (2018); os efeitos químicos e físicos sobre os aquíferos podem gerar fortes danos irreparáveis nos ecossistemas, principalmente ao ambiente subsuperficial. Sabe-se, contudo, que a infiltração de efluentes ácidos é possível e frequente, o que modifica significativamente a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em áreas de mineração, tornando frequentemente imprópria para o consumo humano. A figura 1 apresenta alguns dos princípios efeito da DAM, no ambiente após seu contato com o solo e com os corpos hídricos.

A exposição dessas rochas dos rejeitos de mineração a condições que causam oxidação pode produzir ácido sulfúrico, por meio de reação dos minerais peritosos e acessórios, presentes nessas rochas. Nessas reações são liberados elementos tóxicos nas águas (ALBA, 2018).

Figura 1 - Principais efeitos da DAM sobre o meio Ambiente



Fonte: GALHARDI, (2018).

Segundo Amaral e Krebs, (2010) no passado a exploração de carvão mineral na Bacia Carbonífera de Santa Catarina foi realizada sem tomar maiores precauções com o meio ambiente, com a disposição desordenada de pilhas de estéréis e rejeitos sem proteção e sem construção de depósito de resíduos sólidos, e com a presença de minerais sulfetados, principalmente a pirita, sulfeto de ferro. Estes aspectos contribuíram em fontes de geração da drenagem ácida e a solubilização de metais pesados, entre os quais o ferro, o manganês e o zinco, além do baixa pH, elevada acidez e concentração em sulfeto. Além disso, havia o lançamento inadequado de efluentes brutos de beneficiamento e drenagem de mina diretamente nos corpos hídricos. A água com grande carga de acidez e pH muito baixos, desta forma aumenta a ocorrência de metais pesados solubilizados, constituindo a drenagem ácida (AMARAL; KREBS, 2010). A figura 2 abaixo apresenta a presença de drenagem ácida mina em uma área degradada pela mineração de carvão.

Segundo Krebs (2004), a drenagem ácida de mina (DAM) existe em um volume expressivo na Região Carbonífera de Santa Catarina, que é das fontes poluidoras dos recursos hídricos.

Podemos explicar a ocorrência da drenagem ácida por meio de água que penetram nas pilhas de resíduos de mineração 'ou também mediante do escoamento de águas pelas paredes de minas subterrâneas ou de minas superficiais. Em alguns casos, à medida que as águas ácidas são aeradas, os locais por onde escorrem tornam se coloridas por um marrom avermelhado (figura 2 e 3), isso é resultado da

oxidação de Fe^{2+} a Fe^{3+} que forma uma precipitação de $Fe(OH)_3$ (MELLO et al., 2014).

Figura 2 - Drenagem Ácida de Mina – DAM em área degradada pela mineração de carvão



Fonte: <https://www.hidroplan.com.br/site/blog-era-da-agua/52-drenagem-acida-de-mina-caracteristicas-e-impactos-ambientais>

As drenagens ácidas são capazes de atingir os mananciais hídricos e com baixo pH, mantém dissolvida grande parte dos metais pesados liberados da pirita durante a sua oxidação. Na região carbonífera existem centenas de bocas de minas abandonadas, e muitas delas ainda geram DAM. Essas águas ácidas caminham até aos rios e arroios, fazendo com que seja extinta a vida aquática nos mesmos. Em cursos d'água que alimentam aquíferos subterrâneos, encontramos aquíferos impróprios para o consumo humano (RONCHI, 2010).

Segundo Furmanski et al., (2014), diz que além do surgimento da DAM proveniente dos rejeitos carbonoso e piritosos depositada sobre a superfície do solo, algumas drenagens podem surgir das cavas das minas, galerias subterrâneas, pilhas de estéreis ou de estoque ou da bacia de decantação, sendo que nestes locais também são causados pelos fenômenos do intemperismo natural ao longo dos anos. A figura 3 abaixo apresenta a presença de drenagem ácida mina em uma área degradada pela mineração de carvão na água superficial do rio Urussanga.

Figura 3 - DAM na água superficial do Rio Urussanga



Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, (2022).

Para o Alba (2018), existindo a presença de minerais sulfetados podem ocorrer diversas reações, sendo essas apresentam quatro reações químicas que são as seguintes:

- 1) Eq. $\text{FeS}_2 + 7/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ – o sulfeto é oxidado, liberando ferro ferroso, sulfato e ácido;
- 2) Eq. $\text{Fe}^{2+} + 1/4 \text{O}_2 + \text{H}^+ = \text{Fe}^{3+} + 1/2 \text{H}_2\text{O}$ – o íon ferroso pode ser oxidado para férrico;
- 3) Eq. $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$ – o ferro férrico pode ser hidrolisado e formar hidróxido férrico e a acidez.
- 4) Eq. $\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O} = 15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$ – o ferro férrico pode atacar a pirita e agir como catalisador, fazendo com que seja aumentado a geração de ferro ferroso, sulfato e a acidez (ALBA, 2018).

Se uma dessas reações é detida ou torna-se lenta ocorrerá uma resposta imediata na geração de DAM, que será respectivamente eliminada ou reduzida, por exemplo pela remoção do ar (oxigênio) e da água do sistema. A equação (2) é o limite para oxidação de pirita, pois a conversão do ferro ferroso a férrico é lenta para pH abaixo de 5, sob condições abióticas (ALBA, 2010).

Um outro aspecto relacionado a geração da drenagem ácida de mina – DAM, é quando um volume de material contendo pirita estiver em uma região com fratura e exposto a condições oxidantes. A remoção do ar e/ou água do sistema, esses dois de seus principais reagentes, poderá parar a oxidação da pirita. Na natureza sob condições do aquífero freático, a oxidação da pirita quase não ocorre por causa da

ausência de oxigênio. A DAM está ligada diretamente a mineração de carvão, mas ela também pode ser gerada em condições naturais ou onde tenha sulfeto em rochas (KREBS, 2004). O quadro 2 apresenta minerais de sulfetos metálico mais relevante na mineração de carvão.

Os metais pesados são contaminantes que fazem parte dos sedimentos dos corpos de água produzindo um aumento significativo progressivo de suas concentrações no tempo e posterior bioacumulação no organismo dos seres vivos. Os metais pesados não são biodegradáveis e seu ciclos naturais envolvem os ecossistemas das águas superficiais e subterrâneas. Seus efeitos nocivos são importantes, pois podem ser assimilados no fitoplâncton e incorporados na cadeia alimentar, e levando grandes números de consequências e o agravamento das alterações ecológicas e biológicas (AMARAL; KREBS, 2010).

Quadro 2 - Minerais de sulfetos metálicos mais importantes em regiões da mineração e produtos resultantes de oxidação completa

Metal	Composição química	Nome	Produto da oxidação iônica
Ferro	FeS ₂	Pirita	
	FeS ₂	Marcassita	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Fe _{1-x} S ₂	Pirrotita	
Cobre	Cu ₂ S	Calcocita	Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	CuS	Covellita	
	CuFeS ₂	Calcopirita	Cu ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Cu ₅ FeS ₄	Bonita	
Zinco	ZnS	Esfalerita	Zn ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	(Zn, Fe)S	Wurzita	Zn ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Chumbo	PbS	Galena	Pb ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Níquel	NiS	Millerita	Ni ²⁺ , SO ₄ ²⁻
	(Fe, Ni) ₉ S ₈	Pentlandita	Ni ²⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Manganês	MnCO ₃	Rodocrosita	Mn ²⁺ , Mn ³⁺ , Mn ⁴⁺
	MNS	Alabandita	
Arsênio	FeAsS	Arsenopirita	AsO ₄ ³⁻ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	AsS	Realgar	AsO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	As ₂ S ₃	Ouro-pigmento	AsO ₄ ³⁻ , Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
	Cu ₁₂ (Sb, As) ₄ S ₁₃	Tetraedrita	Cu ²⁺ , SbO ₃ ³⁻ , AsO ₂ ³⁻ , Cu ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺
Mercúrio	HgS	Cinábrio	Hg ²⁺ , SO ₄ ²⁻ , H ⁺

Fonte: Alba, (2018). Adaptado pelo autor, 2022.

A solubilidade dos metais pesados nos cursos aquáticos é uma função do pH ocorrente. Na região carbonífera de Santa Catarina existem maiores quantidades de DAM com pH verificado entre 1,5 até 3,0 o que por si só explica a grande quantidade de metais dissolvidas nestas águas. (AMARAL; KREBS, 2010).

O uso de rejeito piritoso conservação de estradas e aterros de áreas imobiliária, contribuíram no aumento da área de exposição destes rejeitos e, por consequência aumentaram na formação de drenagem ácida de mina (FURMANSKI et al., 2014).

2.1.3 Áreas Degradadas Pela Mineração De Carvão A Céu Aberto No Sul De Santa Catarina e Impactos Ambientais.

Hoelzel e Cardoso (2020), ressaltam que a degradação ambiental da região sul do estado de Santa Catarina, em especial os comprometimentos dos recursos hídricos motivaram o Ministério Público Federal a mover uma ação civil pública que condenou solidariamente a União federal e as empresas mineradoras a promoverem a recuperação ambiental. Horzel e Cardoso (2020), dispõe que no ano 2008 a Ação de Cumprimento de Sentença, com decisão de antecipação de tutela, nº 2008.72.04.003517-1 imputou à União o dever de recuperar as áreas degradadas das empresas falidas.

A degradação da qualidade ambiental é alteração das características do meio ambiente. A acidez com o decréscimo do pH torna a água fortemente corrosiva, o ecossistema fluvial se degrada até ser incapaz de manter a diversidade de vidas, a solubilidades de muitos metais pesados aumenta com isso forma água toxica (CAROLA, 2011).

Segundo Kopezinski (2000), a mineração promove a degradação no meio físico, e de escala pontuais até escalas regionais. Os efeitos desses processos modificadores do meio são perceptíveis por vários condicionantes ambientais e antrópicos, influentes ou não a vida humana. Os principais impactos ambientais que atividade mineira brasileira inflete no meio físico sendo este constituído por recursos hídricos.

Avaliação que para solucionar problemas, as empresas devem implementar um projeto de lavra para o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, com procedimento evitando a degradação das drenagens. Ao final ressalta a atuação do DNPM visando controlar os processos poluidor em quase todo circuito de lavagem, com os desafios de recuperação dos sistemas de drenagem na região (CAROLA, 2011).

A extensão das áreas degradadas na região é equivalente a 5.087ha distribuídos em 217 áreas, além de cerca de 818 bocas de minas abandonadas, as extensões destas áreas variam desde os valores inferiores a 1 hectare até 301,8

hectares (figura 6). A fim de reservar a situação destas áreas degradadas, diminuir os impactos ambientais da região e contribuir para que não haja geração de drenagem ácida de mina aos recursos hídricos (FURMANSKI et al., 2014).

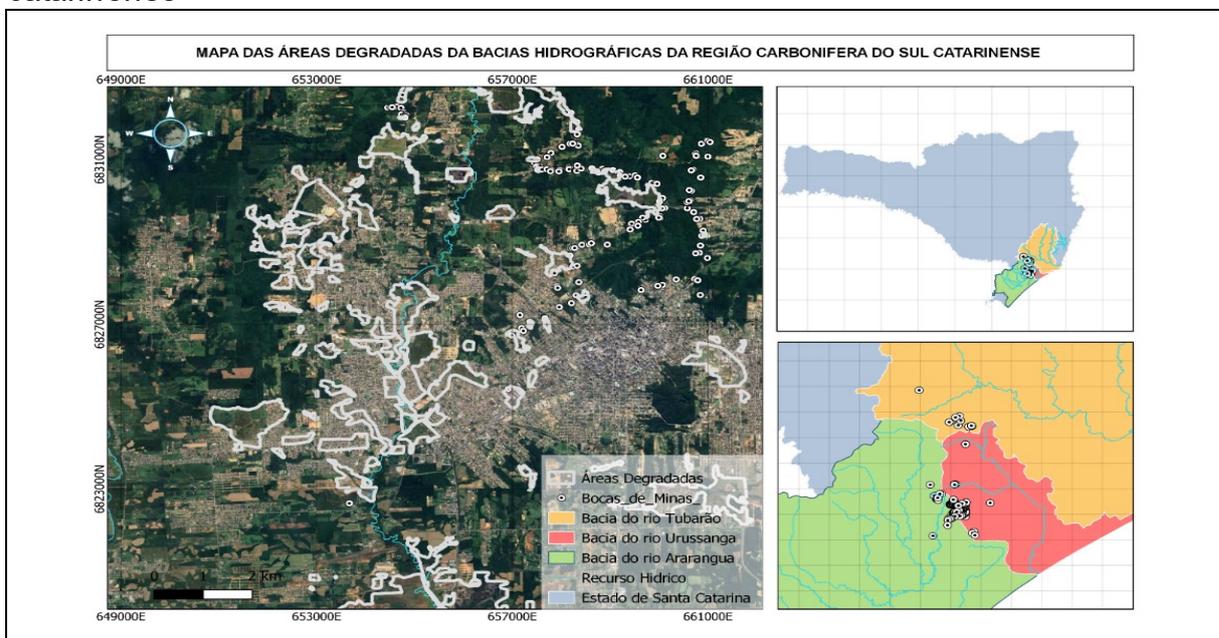
As áreas degradadas pela mineração de carvão (figura 4), são denominados passivos ambientais, que estão sujeitas a recuperação ambiental de acordo com os critérios homologados na ação, recuperando indiretamente a qualidade das águas superficiais das três bacias hidrográficas da região carbonífera do sul do estado de Santa Catarina (FURMANSKI et al., 2014). O quadro 3 apresenta as áreas degradadas pelas atividades da mineração de carvão.

Quadro 3 - Área degradada (ha) pela mineração de Carvão nas Bacias Hidrográficas do Sul de Santa Catarina

Bacia Hidrográfica	Área Degradada (ha)
Rio Tubarão	1.684,08
Rio Araranguá	3.402,91
Rio Urussanga	903,08
Área Total	5.990,07

Fonte: Carola, (2010). Modificado pelo autor

Figura 4 - Mapa das áreas degradadas pela mineração de carvão na região sul catarinense



Fonte: Do Autor, (2022).

Durante muitas décadas de mineração de carvão mineral na região carbonífera do sul de Santa Catarina, os impactos ambientais comprometeram significativamente uma boa parte dos recursos hídricos. A presença de falhas geológicas e o rompimento

de pilares que faziam a sustentação de minas no subsolo, ocasionaram um colapso e abatimento de minas subterrâneas, ocasionando assim fraturamento nas camadas subjacentes, permitindo a conexão dos aquíferos com os corpos hídricos superficiais, causando uma alteração no balanço hídrico (HOELZEL, 2018).

Segundo a Resolução CONAMA de 1986, impacto ambiental é toda qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

- I. A saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II. As atividades sociais e econômicas;
- III. A biota;
- IV. As condições estéticas e sanitária do meio ambiente;
- V. A qualidade dos recursos hídricos ambientais (CONAMA. 1986).

Por muitas décadas também, a exploração de minérios ocorreu de forma não legalizada, e os impactos ambientais só eram conhecidos quando começavam a ser visíveis através da degradação da paisagem nas áreas onde jazidas minerais eram exploradas (BOMFIM, 2017).

Com o surgimento das leis ambientais e órgãos fiscalizadores cada vez mais atuantes, as questões ambientais têm sido mais priorizadas resultando na impossibilidade de implantação de projetos ou discussão de planejamento em considerar, o impacto ao meio ambiente. Embora ação de fiscalização ainda são necessárias principalmente no setor da mineração onde exploração clandestinas ainda existem. O estudo dos impactos ambientais no setor de mineração é considerado de grande importância para a gestão ambiental, uma vez que tal prática se não é realizada de maneira correta pode acarretar sérios danos ambientais no solo, rios e lençóis freáticos. Daí a exploração deve ser bem planejada, os impactos potenciais dependem dos fatores como a natureza do minério, geologia, geotecnia, métodos de extração, resíduos gerados e vulnerabilidade do componente ambiental local (BOMFIM, 2017).

Segundo Prestes (2013), diz que os impactos ambientais da mineração de carvão ocorrem em dois momentos distintos:

1. Primeiro é decorrente do rompimento das relações do ecossistema provocado pela remoção das camadas de carvão, causando alterações nas

características topográficas, perda da estrutura original do solo e da microfauna.

2. O segundo decorre das operações de preenchimento de valas abertas, gerando alterações topográficas, aumento da densidade do solo, modificação da espessura das camadas, diminuição da vegetação e sustentabilidade ao efeito de impacto das gotas da chuva sobre o material (PRESTES, 2013).

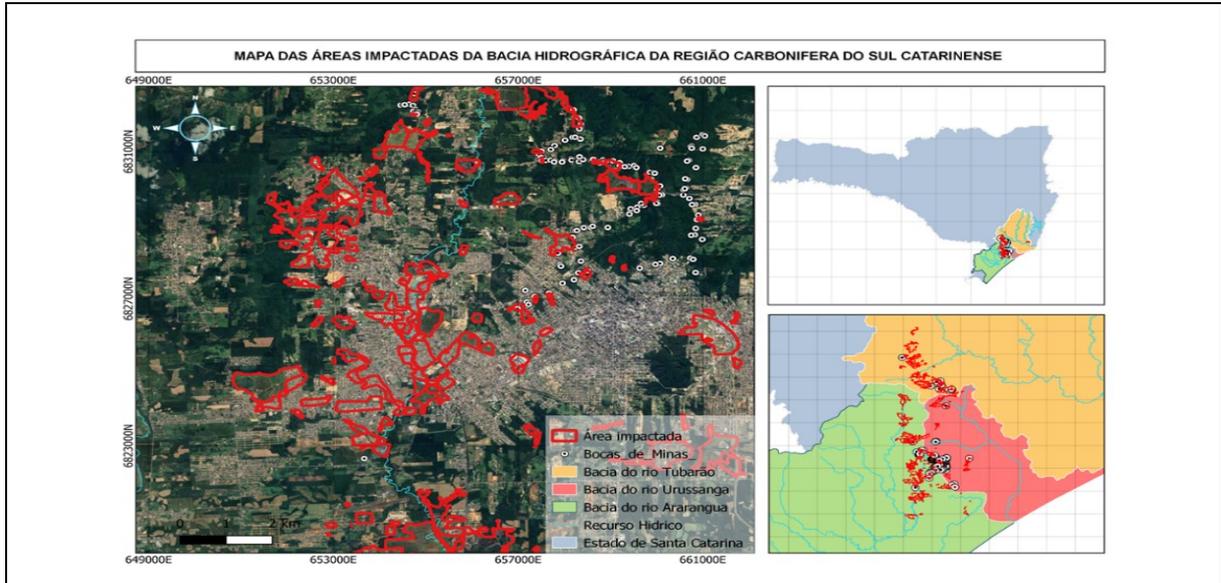
A queima do carvão mineral prejudica o meio ambiente assim afetando atmosfera através das matérias particuladas em suspensão e fumaças, capazes de gerar contaminantes assim como o dióxido de enxofre (SO₂), e os óxidos de nitrogênio (NO_x como NO, NO₂) que podem reagir com o vapor d'água presente na atmosfera, originando ácido sulfúrico (H₂SO₄) e nítrico (HNO₃), dando então origem, quando a sua precipitação atmosférica, a chuva ácida pode provocar danos a vegetação, como absorção adicional de enxofre ou nitrogênio, lixiviação do nutriente foliar mudanças na morfologia da superfície foliar e mudanças nas funções metabólica e nos processos produtivos (RONCHI, 2010).

A bacia carbonífera do estado de Santa Catarina a inadequada disposição de rejeitos sólidos e das águas afluentes da mineração e beneficiamento acarretou uma degradação ambiental tão severa que a região foi considerada pelo decreto nº 85.206/1980 a 14ª Área Crítica Nacional para efeito de controle da poluição e qualidade ambiental (VAZ; MENDES, 1997).

Conforme Carola (2011), em águas ácidas da mineração, impactos ambientais problematizam, a questão do abandono de uma mina de carvão, acarretando uma elevada implicação, como a agressão ao meio ambiente pelo impacto das águas superficiais e subterrâneas devido a formação de água ácidas.

Os impactos mais comuns na região são: alteração da morfologia do terreno por meio de grande movimentação da terra, remoção de recobrimento vegetal, disposição aleatória dos resíduos sólidos, aumento da erosão, instabilidade de taludes e aberturas de cavas subterrâneas, e lixiviação de depósito de rejeito situada na região baixas (ALBA, 2010). A figura 5 apresenta as áreas impactadas na região do sul de Santa Catarina.

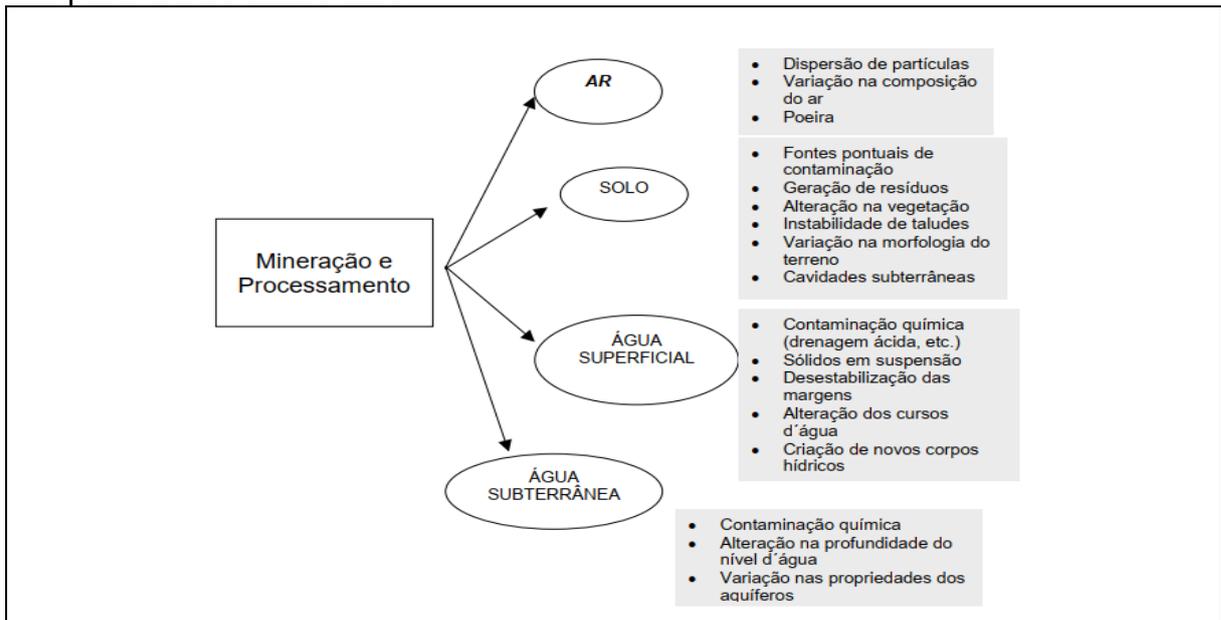
Figura 5 - Mapa de localização das áreas impactadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina



Fonte: do autor (2022).

A mineração, é todo empreendimento industrial, capaz de gerar certos impactos ambientais desde alterações de paisagens, faunas e flora, contaminação e poluição do solo, água e ar. A figura 6 ilustra alguns dos principais aspectos ambientais associada à atividade de mineração.

Figura 6 - Aspectos das atividades de mineração e processamento relativos aos vários compartimentos ambientais



Fonte: CETEM, (2002).

2.2 RECURSOS HÍDRICOS – ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS

Dos Anjos Garcia et al (2015), definem que as águas superficiais são aquelas que escoam ou são armazenados na superfície terrestre, com a contribuição de precipitação, recarga de aquífero ou escoamento de corpos de água superficial. É a fonte mais fácil de captação para abastecimento do ser humano, representando um importante reserva de água, porém em questão de distribuição mundial representa uma pequena parcela.

O maior problema ambiental Brasileiro é que a maioria dos rios que atravessam as cidades brasileiras estão deteriorados, boa parte sem vida. Essa poluição é causada pela mineração e pelo despejo dos efluentes dos esgotos in natural, sem tratamento nos rios. Mesmo existindo a rede de coleta, está não suporta a quantidade de volume devido as ligações clandestinas de esgotos no sistema pluvial (CUNHA, 2011).

As águas superficiais representam apenas 0,14% de toda água existente no planeta, havendo uma excessiva troca entre os diversos ambientes armazenadores de água superficial. No caso do Brasil por possuir cerca de 12% da disponibilidade hídrica superficial do planeta, heterogeneidade das águas superficiais também é maior. Quanto ao uso o Brasil caminha para uma situação similar aos países desenvolvidos em que o uso agrícola tem predominância sobre os demais: doméstico e industrial (TOLEDO, 2002).

A degradação da qualidade da água e sua escassez quantitativa e qualitativa estão atualmente entre os principais focos de atenção das políticas ambientais em nível global. O modelo de desenvolvimento na utilização irracional dos recursos naturais motivou reações a busca de soluções visando a compatibilização das explorações econômicas e utilização de estoque ambientais (MAGALHÃES JUNIOR, 2007

Ao contrário das águas superficiais, as águas subterrâneas não se revelam facilmente aos olhos, fato que compromete sua gestão: longe dos olhos, longe do coração. A natureza valada desse recurso acoberta sua importância social, ambiental e econômica, bem como dificulta o diagnóstico sobre situação e a consolidação de políticas públicas específicas. A percepção da sociedade sobre a existência desse recurso e de sua importância econômica e ambiental é deficiente mesmo nos municípios ou setores econômicos onde essas águas constituem a principal fonte

hídrica. No Brasil, as águas subterrâneas são extraídas por meios de poços tubulares, poços escavados e de nascentes (HIRATA et al., 2019).

As águas subterrâneas representam uma parte da hidrosfera que ocorre na subsuperfície terrestre. Elas são divididas em três origens principais, que são: meteórica, conata e juvenil (GIAMPÁ; GONÇALES, 2013, p. 18). “Os aspectos geológicos condicionam as formas de recarga, estocagem, circulação e descarga, e influenciam substancialmente a qualidade das águas subterrâneas” (GIAMPÁ; GONÇALES, 2013, p. 21).

Uma vez que as águas superficiais estejam ácidas, elas irão solubilizar a maior parte dos tóxicos, assim, as acidificações dos corpos das águas formarão uma etapa de impactos ambientais causados pelas atividades de mineração e beneficiamentos de carvão sobre os recursos hídricos e, portanto, um indicador do nível de poluição, tendo em vista que essas águas espalham na planície nos momentos de inundação (SANT’ANA, 2008).

As águas subterrâneas ocorrem abaixo dos rios no nível freático em formações geológicas. Esses reservatórios naturais de acordo com as características de armazenamento e transmissão de água podem ser denominados de aquíferos. Os aquíferos possuem maior importância hidrogeologia, pois são formados com capacidades de transmissão e armazenamento (MANOEL FILHO, 2008).

A água possui propriedades físicas e química que determinam a existência de vida de um corpo hídrico, e é um recurso imprescindível ao desenvolvimento de várias atividades socioeconômicas. O comportamento natural das águas quanto suas ocorrências, transformações e relações com a vida humana é bem caracterizado através do ciclo Hidrológico (GONÇALVES, 2012).

Segundo Heath (1983), diz que água subsuperficial ocorre de duas formas diferentes:

1. Ocorre sob a superfície terrestre, e na maioria das áreas em que ocorre a mesma, além da água também encontramos ar, que é chamado essas ocorrências de zona insaturada.
2. A segunda forma é nomeada como zona saturada, que é a única água subsuperficial que está disponível para poços e fontes e única que é denominada de água subterrâneas. A recarga da água saturada ocorre através da percolação da água através da zona insaturada (HEATH, 1983).

De fato, com o surgimento de várias atividades antrópica assim como o desmatamento lançamento de esgotos urbanos, atividades industriais aumento das

áreas de agricultura, surgiu vários motivos para degradação da água, porque os recursos hídricos têm sido tratados de forma negligente (KREBS, 2004).

Um aquífero é uma formação geológica capaz de armazenar e suprir com água poços e nascentes. Os aquíferos possuem duas características fundamentais: capacidade de armazenamento e capacidade de escoamento da água subterrânea (TUCCI; CABRAL, 2003).

Atrás das qualidades a água surge alguns regulamentos que deve se incorporar na resolução assim como o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que classifica a qualidade de águas doces, salinas e salobras, através da Resolução CONAMA 357/2005. Posteriormente a resolução CONAMA 430/2011 alterou e complementou resolução citada, fixando condições de padrão de emissão para o lançamento de efluentes em corpos receptores (CETESB, 2015, BRASIL, 2005).

Os valores permitidos para cada classe definida pela resolução CONAMA 357/05 são determinados por meio de estudos científicos que analisam os possíveis microrganismo e substâncias que podem ser encontrados nos cursos das águas, limitando assim a quantidade que cada contaminante pode ser ingerido sem que prejudiquem a vida aquática ou os seres humanos (STELLATO, 2017).

2.2.1 Recursos Hídricos Regionais: impactos Ambientais sobre águas superficiais e subterrâneas

A bacia carbonífera da região sul de Santa Catarina está inserida no sistema do aquífero do Rio Bonito, constituído principalmente por arenitos porosos e permeáveis do qual, sua recarga nas áreas é dada por infiltração direta, a partir das precipitações, através dos solos resíduas e transportados. O aquífero profundo do Rio Bonito é menos vulnerável quando é compactada pelo aquífero Leque Aluvial e Flévio Lagunar, com exceção de áreas onde afloram as rochas areníticas da formação do Rio Bonito, áreas onde o maciço rochoso está fraturado, falhas ou em áreas afetadas por fratura de subsidência, devido ao emprego do método de lavra com retração dos pilares nas minas subterrâneas, onde ocorre conexão vertical do aquífero profundo com freático (KREBS, 2004).

No gerenciamento ambiental onde engloba a qualidade da água subterrânea deve-se levar em consideração a inter-relação com cursos de águas superficiais. Os

contaminantes levados pelos cursos dos rios têm facilidade de comprometer a qualidade das águas subterrâneas, e quando contaminadas, as águas subterrâneas podem poluir facilmente as águas superficiais em áreas de descarga do aquífero. Dessa forma fica evidente a necessidade da proteção integrada das águas superficiais e subterrâneas (GONÇALVES, 2012).

A poluição hídrica causada pela drenagem ácida é provavelmente que compromete o elevado impacto ambiental significativo das operações de mineração e beneficiamento do carvão mineral. Essa poluição acontece a partir da infiltração da água da chuva sobre os rejeitos obtidos nas atividades de lavra e beneficiamento, que chega a alcançar os cursos das águas superficiais e subterrâneas, onde altera a qualidade da água adquirindo baixos valores de pH e aumenta os valores de ferro total e sulfato total além de vários outros metais pesados e outros elementos tóxicos, que impedem a sua utilização para qualquer uso, e comprometem e destroem a flora e comprometem a fauna aquática (ALEXANDRE; KREBS, 1995).

No gerenciamento de recursos hídricos superficiais e subterrâneas, a geração de drenagem ácida de mina é o principal aspecto ambiental a ser considerado, que é uma fonte difusa de poluição que compromete seriamente a qualidade dos recursos hídricos da região. E que é responsável pela degradação das bacias hidrográficas (GONÇALVES, 2012).

Conforme Belolli et al., (2002), dentro da bacia carbonífera do sul da região de Santa Catarina cerca de 490 km^2 estão diretamente impactadas pelas atividades de mineração de carvão vegetal. Cerca 1/5 da área total impactada está a bacia hidrográfica do rio Urussanga.

O impacto ambiental refere-se as águas ácidas mina que podem incorporar-se no sistema hidráulico subterrâneo contaminando aquífero, ao surgir como efluentes que vertem em cursos d'água superficial (CAROLA, 2011).

Conforme Camilo (2020), ressalta, dentre as Bacias Hidrográficas da região Carbonífera Sul Catarinense, a Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá é a que possui maior extensão de contaminação, cerca de 361 km de contaminação por drenagem ácida de mina. A Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, possui 264 km de áreas impactadas pela DAM e a Bacia do Rio Urussanga possui 161 km (CAMILO, 2020). No quadro 4 estão listados os principais rios destas bacias hidrográficas que estão contaminados devido à mineração de carvão.

Quadro 4 - Recursos hídricos superficiais contaminados pela mineração de carvão

Bacia Hidrográfica	Recursos hídricos comprometidos
Rio Tubarão	Rocinha; Bonito; Laranjeiras; Hipólito; Cafundó; Capivaras; Oratório; do Rastro; Salame; Lajeado; Molha; Palmeiras, dos Pregos; e Tubarão.
Rio Araranguá	Mãe Luzia; do Pio; Kuntz; Fiorita; Maina; Criciúma; Sangão; dos Porcos; e Araranguá.
Rio Urussanga	Carvão; América; Caeté; Ronco d'água; Linha Anta; e Urussanga.

Fonte: Camilo (2020), modificado pelo autor 2022.

Esses rios citados (quadro 4) apresentam segundo Camilo (2020), as características típicas de poluição por mineração de carvão, que é dada pela variação entre 2 e 4 do pH, elevada concentração de sulfatos e acidez e também uma alta concentração de metais dissolvidos em água, e que corresponde a um valor alto no parâmetro de condutividade elétrica.

É bem sabido que as águas da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga apresentam um elevado nível de acidez e elevada concentração de metais pesado, em virtude das atividades mineiras que vêm alterando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. A poluição dessas águas se dá pelo processo de oxidação de minerais sulfetados, principalmente a conhecida pirita (FeS_2), que quando está em contato de água oxida formando ácido sulfúrico (H_2SO_4), característico de efluente chamada por drenagem ácida minas, o responsável pela dissolução de minerais aluminossilicatados, elevar a concentração de metais como Alumínio (Al), ferro (Fe), Manganês (Mn), Níquel (Ni) e zinco (Zn), a níveis tóxicos, acelerando as perdas de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) (RONCHI, 2010).

Para o Furmanski et al., (2014), ressalta que um dos aspectos que mais se destaca com a relação à contaminação nas bacias dos rios Araranguá e Urussanga é a atividade de mineração de carvão, onde houve muitos rejeitos de piritas em locais inadequadas, sem execução de recuperação ambiental, que por consequências deu origem de geração de drenagem ácida de mina, que impactou significativamente as áreas da região contaminando as águas superficiais, freáticas, e localmente aquíferos, mas profundos.

Várias atividades podem ser consideradas potencialmente poluidoras de águas superficiais e subterrâneas. Na bacia do rio Urussanga além dos impactos das atividades miradoras, ocorrem também extensas atividades inadequadas, vazamentos de dutos e tanques, disposição inadequada de resíduos sólidos atividades de indústrias químicas, e o uso dos fertilizantes, herbicidas e pesticidas nas

atividades agrícolas, esses fatores também contribuem na contaminação dos cursos das águas superficiais e subterrâneas (TREIN, 2008).

2.2.2 Bacias Representativas

Segundo Villas Boas et al,(2017), o projeto dos estudos integrados em Bacias Representativas faz 15 anos que teve início no ano de 2007 na região serrana do Rio de Janeiro, que surgiu com enfoque de apoiar financeiramente o projeto EIBEX-I – Estudos Integrados de Bacias Experimentais - Parametrização Hidrológica na gestão de Recursos Hídricos da Bacia da região serrana do Rio de Janeiro, e foi aprovado no ano 2006, e financiado pelo MCT/FINEP/CT – HIDRO, com o termino do projeto financiado pela FINEP, em 2010, a CPRM deu a continuação da rede e prosseguiu com os estudos relacionadas às suas atividades.

Bacias Representativas São aquelas consideradas representativas de uma região hidrológica e são usadas para investigações intensiva de problemas específicos do ciclo hidrológico. Recomenda-se que o monitoramento seja de longo termo e, se possível, combinado com estudo das características climatológicas, pedagógicas, geológicas e hidrogeológicas. Elas representam realidade social, econômicas, física e ambiental, possibilitando, em princípio a extrapolação dessa realidade para uma região de maior abrangência. São sub - bacias instrumentas com aparelhos de observação e registro de fenômenos hidrológicos que representam bacias situadas em uma mesma região homogênea, cujo observação deve ser realizada por longo período e tempo, preferencialmente superiores a 30 anos (SERVIÇOS GEOLOGICO DO BRASIL, 2018).

O histórico tem havido esforços internacionais no sentido de estabelecimento de bacias representativas que possam caracterizar a disponibilidade dos corpos hídricos de bacias hidrográficas de diferentes tamanhos e caracterização de ocupação, assim como melhorar a compreensão das relações dos processos hidrológicos por meio de escala (VILLAS BOAS et al., 2017).

2.2.3 Vulnerabilidades dos Aquíferos

Segundo Gonçalves (2012), a vulnerabilidade do aquífero tem como o enfoque, a apresentar as características intrínsecas que determinam a sensibilidade de aquífero ser afetado adversamente por uma carga imposta de contaminantes.

Gonçalves (2012), relata que sendo a vulnerabilidade do aquífero é considerada como uma função primária e lógica de:

- I. Inacessibilidade hidráulica da zona não saturada à penetração de contaminantes;
 - II. A capacidade de atenuação dos estratos acima da zona não saturada, como resultado da sua retenção física, e reações químicas com o contaminante.
- Estes dois componentes da vulnerabilidade de aquífero interagem com os seguintes componentes de carga contaminante no subsolo correspondente: o modo de dissipação do contaminante no subsolo; a classe do contaminante em termos de mobilidade e persistência (GONÇALVES, 2012).

Quando se trata de uma área onde os corpos de águas superficiais estão seriamente comprometidos pelas diferentes fontes de poluição e os cursos de águas subterrâneas são abundantes e ainda pouco explorados, a determinação da vulnerabilidade natural as cargas contaminantes, e o conceito do risco de contaminação dos diferentes sistemas aquíferos, é ferramenta necessária ao planejamento das ações governamentais de controle e proteção desses recursos hídricos subterrâneas, assim como a futura implementação de um sistema de gestão de recursos hídricos (TREIN, 2008).

A avaliação da vulnerabilidade tem sido reconhecida por sua capacidade de delinear áreas mais prováveis de se tornarem contaminadas, como resultado das atividades antrópicas na superfície do solo (GONÇALVES, 2012).

Segundo Batista et al., (2016), avança que a vulnerabilidade se compreende como suscetibilidade dos aquíferos serem afetados por cargas contaminantes que surgem das atividades antrópicas. Dá-se basicamente em função da facilidade de os contaminantes transpor a zona não saturada do solo, cuja as características físicas e químicas, associadas das características dos contaminante, que resultará na capacidade de atenuar, reter ou eliminar os contaminantes antes de atingir os aquíferos.

De acordo com Trein (2008), é importante que se entenda as diferenças entre riscos e vulnerabilidades à contaminação. Onde se ressalta que o risco é muito comumente confundido com a vulnerabilidade natural do sistema aquífero. Porém, cabe chamar atenção de que o primeiro envolve a existência de uma fonte potencial contaminante, enquanto o segundo, como dito, depende apenas características físicas.

Segundo Gonçalves (2012), conceitua que os métodos existentes para avaliar e mapear a vulnerabilidade da água subterrânea normalmente são destinados a fornecer uma avaliação comparativa das áreas relacionadas ao potencial de poluição da água subterrânea. Para Gonçalves (2012), estes métodos podem ser apresentados em três categorias que são:

1. Métodos de índice e sobreposição: são métodos que resultam da interseção de mapas em uma base regional e a interpretação qualitativas de dados pela indexação de parâmetros e atribuindo pesos apropriados. Os métodos mais conhecidos são o DRASTIC.
2. Métodos baseados em processos que aplicam modelos determinísticos baseado em processos físicos: utiliza modelos matemáticos para simular fenômenos complexos de fluxos e transporte de contaminante no subsolo. Este método requer um banco de dados com uma boa cobertura de dados hidrogeológicas, e geoquímicos.
3. Métodos estáticos: dependem de um extenso banco de dados e foram criadas para identificar poluentes prioritários para serem utilizados no monitoramento de projetos de remediação dos solos e de águas subterrâneas (GONÇALVES, 2012).

DRASTIC foi desenvolvida pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos da América (US-EPA), para ser um sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade de aquíferos frente a eventos de poluição (GUIGUER, KOHNKE, 2002). A metodologia DRASTIC tem como o principal objetivo, auxiliar na alocação de recursos e na priorização das diversas atividades relacionadas as águas subterrâneas. Utilizando mapas de vulnerabilidade, pode-se dar exemplo, indicar quais áreas deverão ser monitoradas de maneira mais intensiva num estado de monitoramento (GUIGUER, KOHNKE, 2002).

DRASTIC permite que o potencial de poluição de água subterrâneas de qualquer cenário hidrogeológicos seja avaliada sistematicamente em qualquer lugar. Cada fator DRASTIC foi avaliado para determinar sua importância relativa no sistema (GONÇALVES, 2012).

Uma vez poluídas ou contaminadas, os cursos de águas subterrâneas demandam um elevado dispêndio de recursos financeiros e humanos para remediação, o que de modo geral é atingido ao final de vários anos. Desta forma devem ser tomadas medidas preventivas para sua proteção associadas ao controle de poluição como um todo, definindo critério de qualidade iniciando-se pelo estabelecimento de valores orientadores (CETESB, 2019).

A contaminação pode ocorrer no interior da mina, pois todos os processos são executados a úmidos com utilização de água nas atividades de perfuração e abatimento de poeiras geradas pelas operações de perfuração de frente e de leto no subsolo (GONÇALVES, 2012).

3 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO MINERAL

A mineração de carvão no passado como nos dias de hoje é caracterizada pela ausência de preocupação quanto a recuperação das áreas degradadas nos empreendimentos mineiros. Ao encerrarem as atividades de minas essas empresas responsáveis pela degradação, deslocaram-se para novos sítios de exploração, deixando para trás um passivo ambiental a ser suportado pela sociedade. Essas áreas abandonadas apresentam impactos ambientais significativos (INVENIZZI et al., 2009).

Recuperação de área degradada por mineração é uma atividade multidisciplinar, em franca expansão no Brasil (SIMPOSIO, 1994), registrada pela constituição federal de 1988 (BRASIL, 1988, Art.225): aquele que explora recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com soluções técnicas exigidas pelo órgão público competente, na forma da lei (ALBA, 2010).

Invenizzi et al (2009), destacam que o projeto de recuperação ambiental da Bacia Carbonífera de Santa Catarina surgiu de uma determinação do Ministério da de Minas e Energia, em conjunto com o Ministério do planejamento, Orçamento e Gestão, a Campanha de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, para dar cumprimento à realização de sentença judicial. O DNPM, em 2008 executou relatório com a identificação preliminar de 23 áreas impactadas, localizadas dentro dos limites das concessões da CBCA, perfazendo um total de 201,72 ha, ocupadas por plantas de beneficiamento de carvão, depósito de rejeitos, beneficiamento de antigos depósitos de rejeitos, bacias de decantação edificações residências e industriais. A área pertencente a Treviso S/A apresenta um somatório de 954,43 ha de superfície impactada pela exploração do carvão de céu aberto com o emprego de escavadeira do tipo dragline. O passivo ambiental alcança aproximadamente 1300 ha de superfície impactadas, centenas de bocas de minas abandonadas e várias sub-bacia e bacias de drenagem superficiais com água ácida (INVENIZZI et al., 2009).

O Instituto do Meio Ambiente (IMA), que era antiga FATMA em 1981, contratou empresa Engenheiros, consultores e projetistas do Rio de Janeiro, para elaboração e execução de projetos visando à recuperação ambiental da região carbonífera, entre eles, o projeto M-Recuperação Piloto de Mineradas a céu Aberto. O projeto foi implementado no início de 1982, na localidade de Alto Rio Fiorita, no município de

Siderópolis-SC, em uma área de 11,384 ha, selecionada por ser primeiro contato do rio Fiorita, com mineração de carvão (ZANETTE, 1999).

A recuperação de uma área minerada, como aqui concebida, implica a mitigação dos impactos ambientais das atividades que ali se desenvolvem, com o objetivo de restaurar o local ao seu estado original ou o mais próximo possível deste. Isso requer aplicações de um modelo de solução de problema que tem início com a coleta sistemática de informações para a caracterização da área, seguida de análise de dados e de diagnóstico sobre a situação atual (CETEM, 2001).

A recuperação de áreas degradadas tornou-se obrigação no Brasil após a edição da Lei n° 6.938/81 e a promulgação da constituição federal de 1988, que acarretou um processo de discussão entre a sociedade técnica-científica e no setor produtivo de natureza multidisciplinar. Neste contexto, em 1992 foi realizado o primeiro simpósio Nacional sobre a recuperação de áreas degradadas para debate. Acerca do tema, desde então, outras edições desse evento vêm sendo realizadas. Nesse simpósio, das áreas degradadas são consideradas, em respectiva abrangente, como consequência da agricultura, atividade industriais, erosão, mineração, remoção ou exploração intensa da cobertura vegetal ou sobre pastejo (ALBA, 2018).

De acordo com a Longo et al, (2019), a recuperação de áreas degradadas é uma das atividades frequentemente consideradas em avaliação de impacto ambiental de projetos de mineração, sendo contemplada em estudos realizados desde a fase de planejamento. Em atividades de mineração, as medidas de RAD nem sempre são empregadas para atuar a significância dos impactos causados e gerar um ganho ambiental representativo para a área e adjacência. Isso tende a ser possível pela aplicação combinada de técnicas de RAD, escolhidas para gerar serviços ambientais específico.

O termo recuperação nos diz que é um estágio intermediário em que a área está entre as condições original e a degradação, com isso acredita-se que a natureza consiga dar continuidade ao processo (ALBA, 2018).

Os termos recuperação, reabilitação e restauração vêm sendo utilizados de maneira geral, que se referem o inverso da degradação onde o Rodrigues et al., (1998), define:

A recuperação é o processo de reparação dos recursos em áreas, suficiente para restabelecimento das espécies naturais da região em composição e frequência.

A reabilitação é o retorno de uma área degradada a um estado biológico apropriado, mesmo que não resulte na utilização da área para produção ao longo prazo, visando a recriação estética e ecológica

A restauração é um processo de retorno em estado original da área antes da degradação em termo de fauna, vegetação, topografia, solo, hidrologia, o que representa um objetivo praticamente inatingível. A restauração de ecossistema degradados depende de conhecimento em diversas áreas especialmente na reconstituição de sua estrutura e das dinâmicas das comunidades que estão presente no mesmo (RODRIGUES et al., 1998),

A obrigação legal de recuperação de áreas degradada conforme o art. 2º da lei 6.938/81 e dos §§ 2º e 3º do art. 225 da constituição federal de 1988 (BRASIL, 1988) aborda que:

A política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo e preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia a vida, visando assegurar condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade da vida humana, atendidos aos seguintes princípios:

[...]

VI – Incentivos ao estudo e a pesquisa de tecnologias orientadas para uso racional e a proteção dos recursos ambientais;

VII – acompanhamento do estado da qualidade ambiental;

VIII – recuperação de áreas degradadas;

IX – Proteção de áreas ameaçadas de degradação;

[...] (BRASIL, 1988, art. 2º).

Segundo Alba (2010), um programa de RAD pode ser entendida como um projeto a ser implementado de modo eficaz isto quer dizer que deve atingir os seus objetivos. No caso de uma mina em funcionamento, trata-se de um projeto de longo prazo, que começa a ser planejada antes de abertura da mina e prossegue até depois de seu fechamento. Dessa forma a RAD pode ser conduzida de acordo com o ciclo de gestão PDCA (*plan – do – check – act*). O planejamento da RAD pressupõe que toda mina constitui uma forma temporária de uso do solo e que ao término da mineração as áreas danificadas devem estar aprovadas para alguma forma de uso sustentável, podem se admitir restrições de uso futuro. Os objetivos e os projetos de recuperação devem ser planejados antes de qualquer intervenção, e o plano pode requer aprovação governamental e consulta pública.

Para o um plano de recuperação de área degradada (PRAD), deve ser cuidadosamente preparado e ter uma viabilidade analisada antes da realização. Uma vez aprovado para execução, sua implementação deve ser igualmente cuidadosa e os resultados, periodicamente avaliados. O uso dos indicadores e a comparação entre o esperado e alcançado são alguns instrumentos de avaliação dos resultados da RAD. É necessário o estabelecimento prévio de indicadores ambientais, ou seja, os

parâmetros representativos de processos ambientais, ou seja, de condições do meio ambiente e indicadores de desempenho (SÁNCHEZ, 2010).

Na verdade, terrenos que nunca foram minerados também têm capacidade e restrição para diversas formas de uso havendo para cada classe de terreno, usos adequados as suas características naturais. Para estas situações é geralmente aceita para áreas mineradas, segundo Alba (2010), para o planejamento inclui as seguintes:

- I. A preparação de um plano de recuperação de áreas degradadas (requisito legal no Brasil), preparação de um plano de fechamento de mina (exigência que vem se configurando como um novo requisito legal do Brasil, situações já consolidadas em vários países;
- II. A estimativa de custo de recuperação e fechamento e a eventual apresentação de garantia financeira (ainda não é requisito legal no Brasil) (ALBA, 2010).

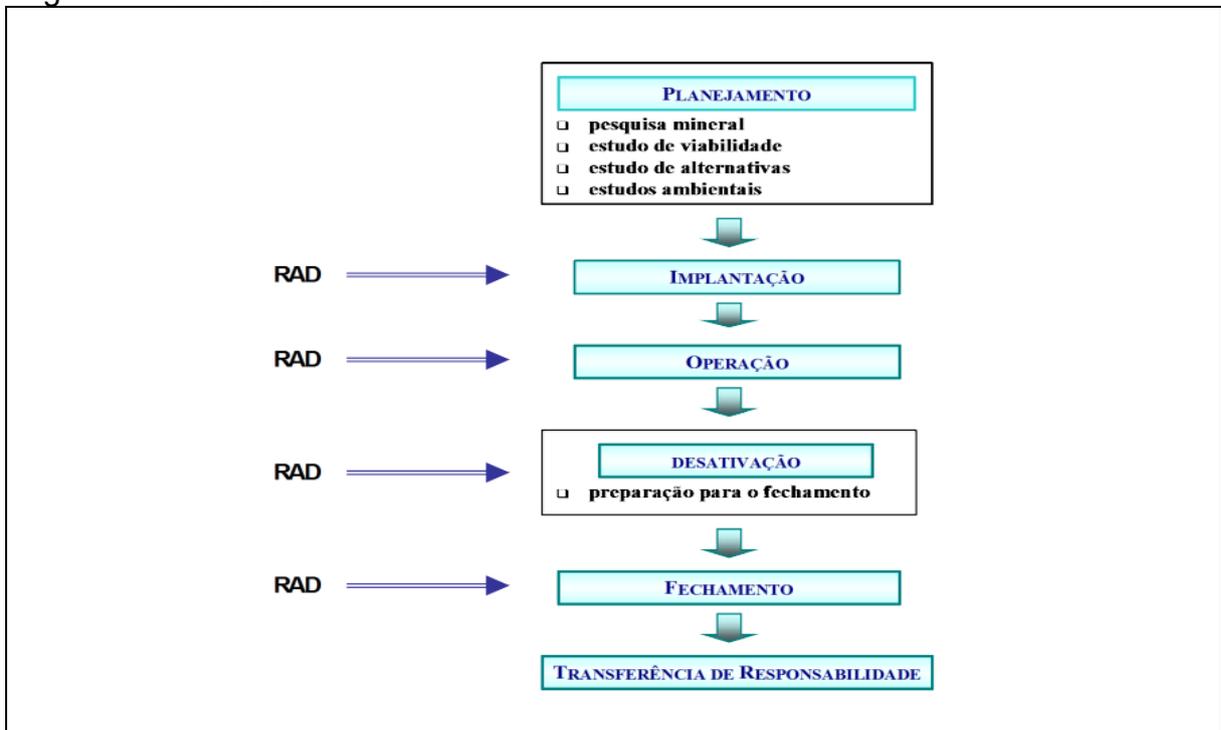
Muitas ações de recuperação ambiental são realizadas durante o funcionamento da mina, com a intenção de minimizar o custo incorridos no futuro e minimizar a necessidade de provisionamento voluntário, de recursos financeiros para garantir a recuperação e o adequado fechamento de mina. Os objetivos do planejamento do fechamento de minas garantem as seguintes etapas: saúde e a segurança pública não serão comprometidas, os recursos ambientais não estarão sujeitos a deterioração física e química, o uso futuro da área benéfico e sustentável ao longo prazo, os impactos socioeconômicos serão minimizados (SÁNCHEZ, 2010). A figura 7 apresenta as principais etapas do ciclo de vida de uma mina e a participação de recuperação de áreas degradadas em cada uma dela.

Alba (2018) nos afirma que as principais legislações ambientais incidentes sobre a mineração que estão vigentes são as seguintes:

- Nova lei florestal (lei nº12.651/12) que estabelece restrições a atividades econômicas ou não em áreas definidas (art. 4º, 6º e 12).
- Lei nº4.504/64 que dispõe sobre o estatuto da terra.
- Lei nº6.225/75, que dispõe sobre a discriminação de região para a execução obrigatória de plano de proteção ao solo e de combate a erosão.
- Lei 6.938/81, dispõe sobre a Política do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e das outras providências.
- Estatuto do Índio (lei nº6.001/73), que regula a situação jurídica dos índios, com o propósito de preservar a sua cultura e integrá-lo progressivas e harmoniosamente, a comunhão nacional.
- Lei nº 7.347/85, que disciplina a ação civil público e responsabilidade por danos ao meio ambiente, ao consumidor, a bem e direto de valores artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico.

- Decreto nº 97.632/89, que dispõe sobre regulamentação do art. 2º, inciso VIII, da lei 6.938/81 (apresentação de recuperação de área degradada -PRAD).
- Lei nº 9.433/97, que institui o Plano Nacional de Recursos Hídricos e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- Lei nº 9.605/98, que dispõe sobre sanções penais administrativas, e civis derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.
- Lei nº 9.985/00, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), e estabelece critérios e normas para sua criação, implementação e gestão, regulamento, Decreto nº 4.340/02.
- Decreto nº 6.514/08, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração dessas infrações e dá outras providências (ALBA, 2018).

Figura 7 - Ciclo esquemático de uma mina e o papel da recuperação de áreas degradadas – RAD



Fonte: Sánchez (2010).

Essas legislações, minerais e ambientais, definem a melhor maneira de gerir um empreendimento mineral, harmonizando esses dois interesses fundamentais para o mundo moderno (ALBA, 2018).

Hoelzel (2018), descreve que a recuperação ambiental vem sendo realizado nas áreas mineradas em superfície incluindo os seguintes critérios:

- I.A reconstituição da topografia natural ou nova conformação estável e remoção total dos rejeitos.

- II. Implementação de sistema de drenagem construído de modo a garantir a estabilidade e minimizar o processo erosivos;
- III. Construção de uma camada de solo argiloso para sustentar espécies vegetais e insolar os rejeitos do ponto de vista hídrico, garantindo que as águas pluviais não entre em contato com os sulfetos presentes nos rejeitos.

Para a recuperação de áreas mineradas em subsolos é necessário que se restrinja a redução da vazão da drenagem ácida, através do tamponamento das bocas de minas abandonadas, preservação das drenagens naturais não contaminadas, através dos desvios das drenagens das minas, e a redução da entrada de ar para o interior das minas (HOELZEL, 2018).

Alguma área da região têm as suas obras concluídas de recuperação ambiental assim como no município de Treviso – SC (figura 9A), outras estão em andamento de processo de recuperação assim no Itanema I em Urussanga (figura 9B) e outras ainda não estão em processo de recuperação (FURMANSKI et al., 2014).

Figura 8 - Área concluída de recuperação ambiental (A), e área em processo de obra de recuperação ambiental (B)



Fonte: do autor, (2022).

Segundo Hoelzer e Cardoso (2020), a recuperação de áreas degradadas que vem sendo aplicadas nas áreas mineradas de carvão incluem a conformação topográfica conforme mostra a figura 8B. É feita com cobertura de argila sobre os rejeitos sulfetados, e a remoção total dos rejeitos em áreas de preservação permanentes, e implementação de sistema de drenagem construído de modo a garantir a estabilidade e minimizar riscos de erosão construída de uma camada de solo argiloso para sustentar espécies vegetais assim como mostra a figura 8A e insolar os rejeitos do ponto de vista hídrico, garantindo que as águas pluviais não entrem em

contato com os sulfetos presente nos rejeitos. Na figura 9, apresenta uma área de preservação permanente do rio Pio em recuperação.

Figura 9 - Rio Pio em estágio de recuperação ambiental



Fonte: do autor 2022.

O processo de reabilitação de uma determinada área degradada envolve não só a implementação de medidas que venham melhorando as condições do local debilitado, mas também o acompanhamento deverá comprovar se as medidas projetadas foram implantadas conforme o planejamento inicial e apresentação as eficiências desejadas.

A recuperação ambiental segundo alguns autores deve se criar um ecossistema que permite não só o desenvolvimento das espécies arbóreas estabelecidas, como também os seus organismos associados, tanto vegetais como animais, além de microrganismos. A recuperação ambiental adequada seria aquela que possibilitam que os novos ecossistemas fossem importantes para reconstituição de habitats, bem como a conservação genética (IPAT, 2015).

Citadini e Zanette (1999), ressaltam que para a recuperação de áreas degradadas é necessário o conhecimento dos padrões sucessionais em que os diferentes grupos ecológicos de espécies ficarão inseridos. Atualmente utiliza-se modelos com base na sucessão ecológica secundarias e interações bióticas para coberturas iniciais do solo, que promovera aparecimento de diferentes espécies, dentro do processo de sucessão, com conseqüente aumento da diversidade biológica.

É recomendado a implementação de poleiros artificiais (figura 10), para descanso e abrigo de muitas aves e morcegos dispersores de sementes como técnica de nucleação para a recuperação de grandes áreas abertas. A implementação de poleiros artificias oferece ponto de pouso para aves que, ao permanecerem neste local

defecam trazendo produtividade assim como sementes de fragmentos próximos (IPAT, 2015)

Figura 10 - Área em Recuperação, com implementação de poleiros artificiais área III, Treviso-SC



Fonte: do autor, (2022).

4 METODOLOGIA

O estudo teve como objetivo analisar a qualidade da água superficial e subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga. A metodologia deste estudo trata de uma pesquisa tipo aplicada, gerando conhecimentos novos úteis para o avanço da ciência com aplicação prática dirigidos a solução de problemas específicos. Envolve verdade e interesse universal (PRODANOV; FREITAS, 2013).

A finalidade da pesquisa científica não é apenas um relatório ou descrição de fatos levantados empiricamente, mas o desenvolvimento de um caráter interpretativo no que se refere aos dados obtidos. Para tal é imprescindível correlacionar a pesquisa com o universo teórico, optando-se por modelo teórico que serve de embasamento a interpretação dos significados dos dados e fatos levantados (MARCONI; LAKATOS, 2010).

A pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação sua finalidade é descobrir respostas para questões mediante a aplicação de método científico. A pesquisa sempre parte de um problema, de uma interrogação, uma situação para qual o repertório é conhecimento (PRODANOV; FREITAS, 2013, p.22).

A pesquisa científica requer a utilização de metodologia que compreendem as atividades desenvolvidas sistematicamente, e que permitem obter resultados com maior eficiência e economia, além de facilitar a detecção de erros e novas estratégias possíveis (MARCONI; LAKATOS, 2010).

Quanto abordagem metodológica para este trabalho baseia-se como pesquisa quantitativa tendo a partir de uma fonte traduzir em números opiniões e informação para classificá-las e analisá-las. No desenvolvimento da pesquisa de natureza deve-se formular hipóteses e classificar a relação entre variáveis para garantir a precisão dos resultados evitando contradições no processo de análise e interpretação. Essa forma de abordagem é empregada em vários tipos de pesquisas inclusive descritivas. Entretanto dos fundamentos da metodologia científica, para coleta de dados será necessário fazer visita de campo, e uso de certos equipamentos para anotação dos dados (PRODANOV; FREITAS, 2013).

No que tange os objetivos dessa pesquisa é classificado como pesquisa descritiva. De acordo com Prodanov e Freitas (2013), os fatos são observados,

registrados, analisados, interpretados, sem que haja interferência pelo pesquisador. Ou seja, os fenômenos que têm a ver com o meio físico são estudados, mais não manipulados pelo pesquisador. E como estudo de caso trata-se de uma pesquisa científica quanto a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, em uma região do sul de Santa Catarina afetada pela mineração de carvão mineral.

Quando se diz em monitoramento de qualidade de água, ele consiste em determinar periodicamente certas características de um determinado curso de água ou efluente, a fim de inferir sua qualidade frente aos distintos usos e identificar as causas de eventuais degradações (GTA, 2019).

Os monitoramentos ambientais integram o projeto de recuperação de áreas degradadas das bacias carboníferas do sul Catarinense que é realizada pela união federal e demais empresas envolvidas na sentença (GTA, 2019).

Para monitoramento de indicadores ambientais na região em estudo o Serviço Geológico do Brasil - CPRM é o responsável pelas coletas de amostras e dos dados qualitativos e quantitativos de monitoramento dos corpos hídricos superficiais e subterrâneas.

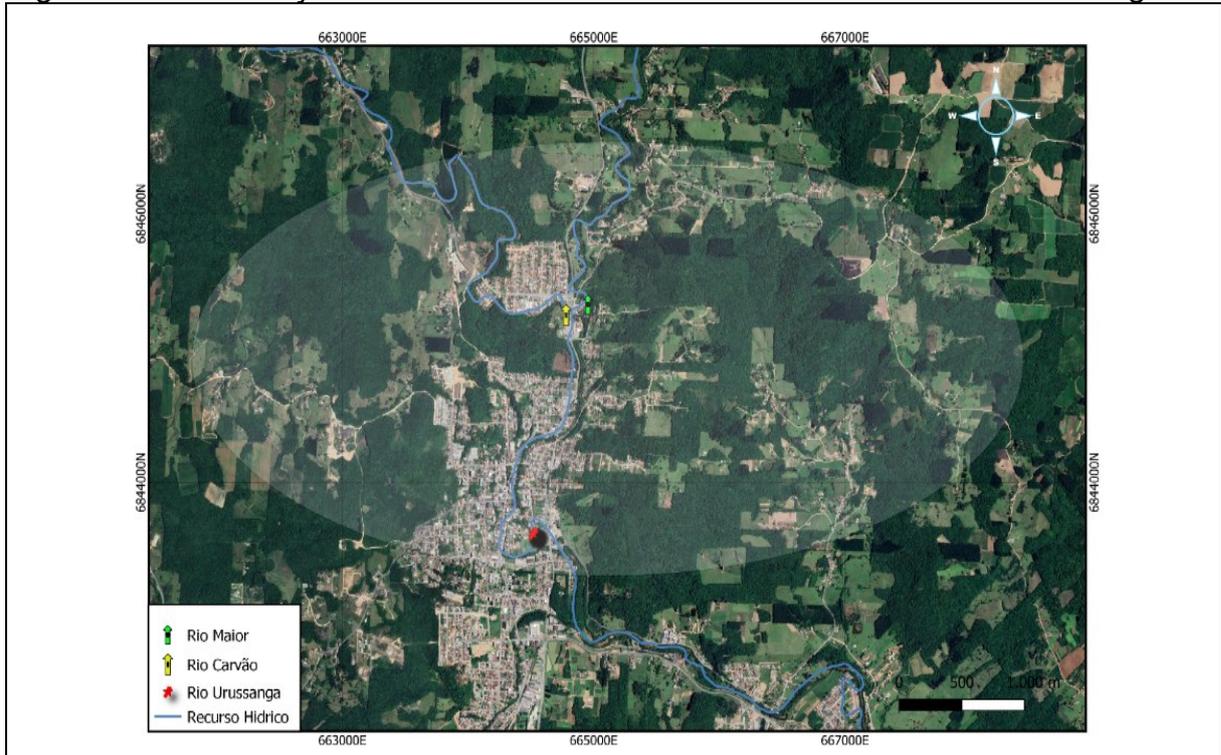
4.1 LEVANTAMENTO DE DADOS BIBLIOGRÁFICOS E DOCUMENTAL

Para elaboração deste trabalho foi utilizado certos meios de coleta de dados informativos para alcançar o objetivo da pesquisa de forma clara assim como a revisão bibliográfica que foi realizado com a base de livros, Artigos, dissertação, Revistas, disponível na biblioteca da Universidade do Extremo Sul Catarinense-UNESC, e no mesmo foram utilizadas algumas fontes de pesquisas assim como sites de pesquisa científicos como: Scielo.br, Google Acadêmico, Teses.usp.br, Portal oficial do Serviço Geológico do Brasil – CPRM, por meio de uma análise documental (relatórios e laudos de análises da GTA).

4.2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi feito na bacia hidrográfica do rio Urussanga que se localiza entre as latitudes 28°26'S e 28°49'S e longitude 49°25' W e 49°06' W. Está inserida na bacia carbonífera do sul do estado de Santa Catarina, e situa-se entre as bacias dos rios

Figura 12 - Localização das áreas de estudo: rios Carvão Maior e rio Urussanga



Fonte: do autor, (2022).

Segundo a Unisul (2019), no que tange os corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Urussanga contém 1158 Km de cursos de água.

4.2.1 Geologia e Geomorfologia

De acordo com o Trein (2008), a região em estudo apresenta diferentes tipos de unidades geológicas, afloram rochas sedimentares e ígneas que fazem parte da sequencias gonduânica da borda leste da bacia do rio Paraná e extensos depósitos de leques aluviais. Os sedimentos quaternários são abundantes junto ao curso de água. Ao lado costeiro ocorre depósitos de areia, silte e argila relacionado ao processo marinho continentais. Segundo Trein (2008), quanto aos tipos de elementos estratégicos da bacia são a formação e a descrição litológica que apresentam os seguintes embasamentos:

1. Granitoides tardi a pós – tectônicos: Granitos e granitoides de cor cinza-avermelhado, granulação média à grossa, textura porfirítica ou porfiróide, constituídos principalmente por quartzo, plagioclásio, feldspato potássico e biotita. Como acessório, ocorre titanita, apatita, zircão e opacos. São aparentemente isótopos e recortados por veios aplíticos ou pegmatíticos.
2. Depósitos Praiais, Marinhas e Eólicos e Retrabalhamento Eólico: Areais quartzosas médias, finas a muito finas, cinza amarelado até avermelhado. Nas fácies praias são comuns estruturas tipo estratificação

plano-paralela, cruzada acanalada. Nas fácies eólicas é frequente a presença de matriz rica em óxido de ferro, que confere ao sedimento tons avermelhados.

3. Depósitos Aluvionares Atuais: Sedimentos argilosos, argilo-arenosos, arenosos e conglomeráticos depositados junto às calhas ou planícies dos rios.

4. Serra Geral: Derrames basálticos, soleiras e diques de diabásio de cor escura, com fraturas conchoidais. O litotipo preferencial é equigranular fino e afanítico, eventualmente porfírico. Notáveis feições de disjunção colunar estão presentes.

5. Rio do Rastro: Arenitos finos bem selecionados, geometria lenticular, cor bordô, com estratificação cruzada acanalada. Siltitos e argilitos cor bordô, com laminação plano-paralela.

6. Formação Irati: Folhelhos e siltitos pretos, folhelhos pirobetuminosos e margas calcáreas.

7. Formação Palermo: Siltitos cinza-escuro, siltitos arenosos cinza-claro, interlaminaados, bioturbados, com lentes de arenito fino na base.

8. Formação Rio Bonito: Arenitos cinza-claro, finos a médios, quartzosos, com intercalações de siltitos carbonosos e camadas de carvão Siltitos cinza-escuro, com laminação ondulada, intercalado com arenitos finos. Arenitos cinza-claro, quartzosos ou feldspáticos, sigmoidais. Intercala siltitos.

9. Formação Rio do Sul: Folhelhos e siltitos várvidos com seixos pingados, arenitos quartzosos e arenitos arcoseanos, diamictitos e conglomerados. A nível de afloramento, constitui espessa sequência rítmica (TREIN, 2008).

Quanto a geomorfologia na área em estudo caracteriza-se por ser umas importantes bacias fluviais do litoral sul catarinense e abrange toda a bacia carbonífera da região sul do estado. Suas cabeceiras drenam um amplo anfiteatro da escapa da Serra Geral e o trecho planalto Meridional atravessando uma extensa baixada litorânea até desaguar no Oceano Atlântico. O desenvolvimento geomorfológico da bacia em estudo remete-nos à origem da fechada atlântica do litoral catarinense e a partir da fragmentação do supercontinente Gondwana, e abertura do atlântico Sul durante o cretáceo (TREIN, 2008).

4.2.2 Hidrogeologia

A área em estudo condiciona dois aquíferos principais, os granitos da unidade geomorfológica Serras do Leste Catarinense que constituem o aquífero de meio fraturado, a exemplo que acontece também popular Montanhão. Nos domínios gonduânicos, merecem destaque os aquíferos porosos constituídos, principalmente, de arenito da formação do Rio Bonito. A elevada quantidade de diáclases e falhas, assim como os lineamentos dos contatos litológicos, ou seja, patamares litológicos

facilitam a infiltração de águas superficiais para a diferente formação de aquíferos. (SANT'ANA, 2008).

A área em estudo o aquíferos Leques não há ponto branco para o monitoramento das águas subterrâneas, pois o sistema aquífero associado a esses depósitos não é diretamente afetado pelas áreas impactadas pela mineração de carvão (TREIN, 2008).

A caracterização hidroquímica das águas do Sistema Aquífero Profundo, está relacionado a formação Rio Bonito, que indica águas subterrâneas de composição bicarbonatadas sódica a magnésiana sulfatada. As águas do Sistema Aquífero Rio Bonito possuem grande variação na concentração de acidez, que está relacionada ao perfil geológico da Formação Rio Bonito que possui minerais sulfetados na sua composição (GTA, 2019).

Sant'ana (2008), afirma que a zona de descarga direta ou afloramento dos aquíferos é considerada área muito frágil que é facilmente a contaminação, onde o risco de impacto ambiental a água subterrânea é iminente. Nestas zonas de recargas a água se infiltra facilmente, podendo levar cargas poluentes, devido à falta de barreiras, como solo de baixa permeabilidade ou rochas consolidadas sem fraturas. O quadro 5 apresenta sistemática a relação quanto a presença de aquífero na região de estudo.

Quadro 5 - Presença de aquífero na região da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga

Tipo Aquífero	Área (km²)	Frequência Relativa
Aquíferos fraturados de menor potencialidade	180,773	26,66%
Aquíferos sedimentares de maior potencialidade	261,255	38,53%
Aquíferos sedimentares de menor potencialidade	222,192	32,77%
Áreas praticamente sem aquíferos	13,866	2,04%

Fonte: UNISUL, 2019, modificada pelo autor 2022.

O aquífero profundo é menos vulnerável quando comparado ao aquífero Leques Aluviais, com exceção das áreas onde encontramos as rochas areníticas da Formação Rio Bonito, onde o maciço rochoso está fraturado ou com algumas fraturas de subsidência, gerado através do método de lavra com a retirada dos pilares nas minas subterrâneas, onde ocorre a ligação entre o freático com o aquífero profundo (KREBS, 2004).

4.2.3 Caracterização Climática

Segundo Trein (2008), a região em estudo de acordo com sistema de classificação climática de Koeppen, se insere no clima do grupo tipo C – mesotérmico, uma vez que as temperaturas médias do mês mais frio se encontram abaixo dos 18°C e acima de - 3°C, e no mesmo grupo, ao grupo tipo f sem estação seca distinta (Cf), porque não há índice pluviométrico mensais inferiores a 60 mm. A área em estudo, o clima se distingue por subtipo de verão (a), e nos meses mais quente com temperaturas superiores de 22°C.

Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga elaborado pela UNISUL/SC (2019), a região em estudo a sua precipitação varia entre 1100 a 1700 mm. No alto vale da bacia a terrenos que abrangem partes dos municípios de Urussanga, Cocal do Sul e Pedras Grandes a precipitação média anual é alta e varia entre 1500 a 1700 mm. No médio vale a precipitação média baixa um pouco, em Pedras Grandes, Criciúma, Içara e Morro da Fumaça, variar de 1300 a 1500 mm. No baixo vale da região da bacia em estudo algumas partes dos municípios de Içara Jaguaruna e Sangão a sua precipitação média anual é denominada baixa varia de 1100 a 1300 mm comparada ao restante da bacia.

Segundo Santana (2008), a região sul do Estado de Santa Catarina está sujeita a geada do final do mês de maio e no princípio do mês de agosto, cuja frequência que pode variar de 3 geadas a cada 10 anos na zona costeira da região, a 1,1 por ano interior da área. A classificação do clima da região é influenciada pela atuação da massa tropical atlântica, e massa polar atlântica, com origens diferentes centro de ação, e por fatores dinâmicos como corrente perturbadas. Os ventos são predominantes do Nordeste, e aquelas de rajadas fortes, provem de sul. E a velocidades média do vento é mais intensa nos meses de primavera, que atingem velocidades acima de 72km/h, variando de sudoeste, na passagem de frente frias, e ao nordeste na passagem de linhas de instabilidade.

4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO E PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS E AMOSTRAGENS DE ÁGUA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA

Foram realizadas atividades de campo com objetivo de coletar informações sobre as áreas das bacias representativas em estudo, também através de relatórios anteriores de campo e material cartográfico. Feito isso, foram coletadas as informações das amostras que são submetidas a análises, sendo realizado também registros fotográficos dos diversos aspectos estudados. Na sequência serão descritos de forma mais detalhada os procedimentos relativos à amostragem de águas superficiais e subterrâneas.

Para o desenvolvimento deste estudo usou-se os dados das campanhas de monitoramento dos indicadores ambientais fornecido pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM Núcleo de Criciúma. As coletas de amostragens foram realizadas pela mesma empresa. Porém devido a da pandemia COVID 19 que impactou algumas campanhas, os pontos de amostragem foram reduzidos, para estas últimas campanhas. Foram analisadas parâmetros químicos e físico-química, para acompanhar a evolução dos recursos hídricos em relação aos anos anteriores.

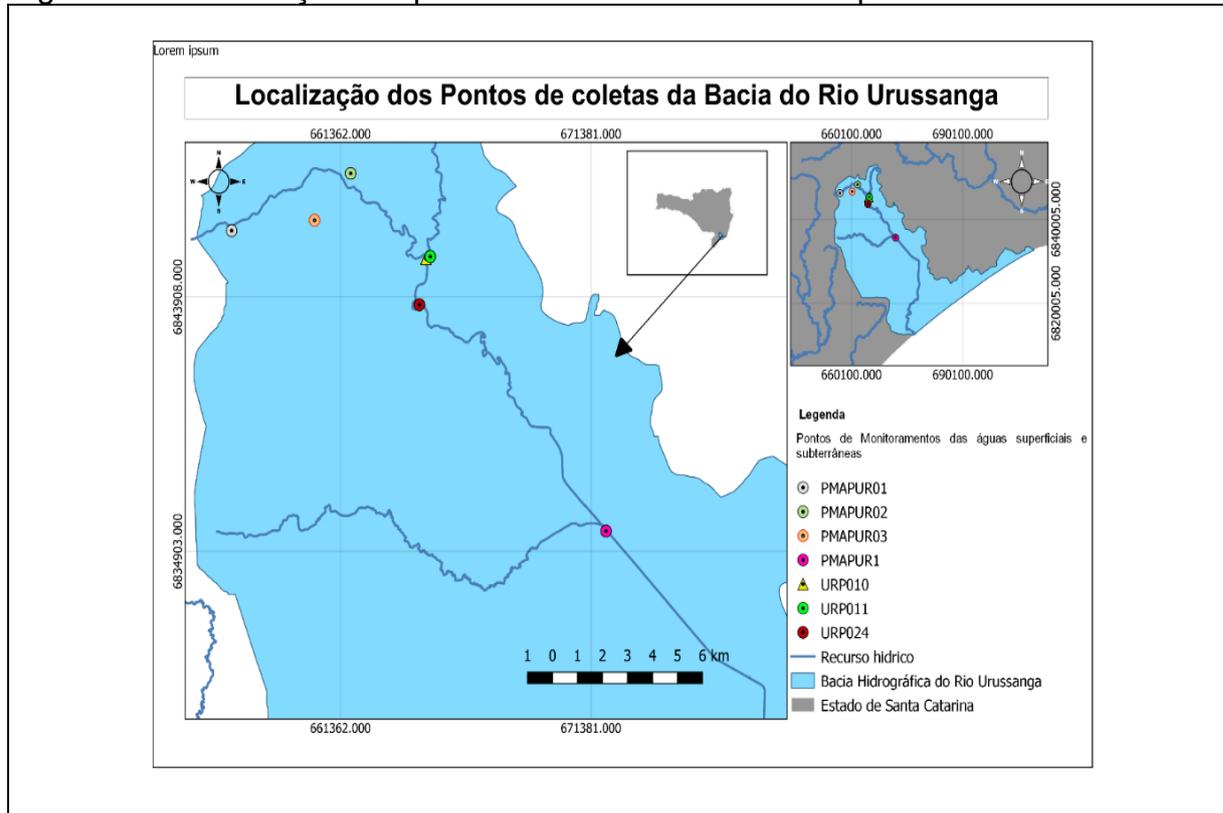
Para este estudo foi utilizado o Software QGIS para elaboração de mapas das áreas de passivos ambientais tal como a localização dos pontos de coletas das amostragens das águas superficiais e subterrâneas. Foi utilizado o Software Excel para elaboração dos gráficos para análise quantitativa dos parâmetros selecionados para este estudo. A figura 13 apresenta os pontos de monitoramento das águas superficiais e subterrâneas na área em estudo.

Os poços de monitoramento utilizados para a amostragem foram instalados entre os anos de 2009 a 2016 pelo Projeto de Monitoramento dos Recursos Hídricos da Bacia Carbonífera de Santa Catarina, realizado pelo convênio entre o Serviço Geológico do Brasil -CPRM, SIECESC e MMA, os poços foram construídos dentro das normas técnicas da NBR 15.495-1/07, cujo objetivo é interceptar um ou mais níveis em subsuperfície para realizar a coleta de amostras de água subterrâneas ainda está a previsto mais 9 poços a serem instalados (GTA, 2019).

O programa de monitoramento feito pelo Serviço Geológico do Brasil CPRM, segundo plano elaborado pela GTA (2019), avaliam a influência dos impactos ambientais causados pelas atividades de mineração de carvão mineral sobre os

recursos hídricos subterrâneos nos sistemas aquíferos Rio Bento, Leques Aluviais. Para o monitoramento na Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga a rede de poços é constituída de 7 poços instalados para monitorar águas subterrâneas.

Figura 13 - Localização dos pontos de coleta selecionadas para este estudo



Fonte: do autor, (2022).

Para este estudo foram selecionados 4 poços de monitoramentos que são PMAPUR-01, PMAPUR-02, PMAPUR-03, PMAPUR-01 (Leque Aluviais). O monitoramento de águas Superficiais é constituído de 35 pontos de monitoramentos, para este estudo foram apenas selecionados 3 pontos de monitoramentos que são URP010, URP011, URP24, conforme é ilustrada na figura 13.

4.3.1 Procedimentos para amostragem de águas superficiais

Para águas superficiais as coletas de amostras foram realizadas em três pontos de monitoramento. Estas amostras foram coletadas nos rios Carvão no ponto de monitoramento URP010, rio Maior no ponto de monitoramento URP011 e no rio Urussanga no Ponto URP024. Para cada ponto foram coletados dois frascos de amostras, um frasco sem preservação para análise físico-químico e outra com preservação com HCL a 2% (ácido clorídrico), para análise de metais. A coleta foi colocada em um frasco polietileno. As amostras foram armazenadas em uma temperatura ambiente em uma caixa de isopor e foram encaminhadas para análise ao laboratório do Serviço Geológico do Brasil, localizado na Superintendência Regional de São Paulo (CPRM – SUREG/SP).

Para cada amostra coletada em cada ponto dos recursos hídricos superficiais foram analisados os seguintes parâmetros químico e físico-químico pH, condutividade, alcalinidade, acidez, sulfato e cloreto (Cl), Ferro (Fe), Alumínio totais (Al), Manganês (Mn), Chumbo (Pb), Zinco (Zn), Magnésio (Mg), Arsênio (As), Cobre (Cu), Sódio (Na). Os parâmetros pH, condutividade elétrica foram medidos em campo com um aparelho denominado sonda Multiparamétrica da marca Aquaread (figura 14). Segundo Cardoso et al., (2022), para cada ponto de monitoramento seguiu-se o mesmo procedimento, sendo como referência os parâmetros mais importantes nos fenômenos da drenagem ácida de mina.

Figura 14 - Sonda Multiparamétrica Aquaread medindo os parâmetros de águas superficial em campo. (pH, condutividade elétrica)



Fonte: Serviço Geológico do Brasil (2022).

4.3.2 Procedimentos para amostragem de águas subterrâneas

Para águas subterrâneas as coletas de amostras foram realizadas em quatro poços de monitoramentos. A coleta foi colocada em um frasco polietileno com capacidade de 1 litro para cada um. Para cada poço foram coletados dois frascos de amostras para análise. Um frasco sem preservação e outra com preservação com 2% de HCl (ácido clorídrico). Os pontos de coletas são denominados como PMAPUR-01, PMAPUR-02, PMAPUR-03, e PMAPUR-01 (Leque Aluviais). Para o encaminhamento laboratorial seguiu-se os mesmos procedimentos das águas superficiais.

A amostragem de água subterrânea foi executada segundo a Norma NBR 15.847 (ABNT, 2010), com métodos de purga a baixa vazão (*low flow*) realizada com equipamento *Solinst* 410 com bombeamento peristáltico.

O desenvolvimento do poço é realizado de forma controlada sob regime de fluxo e vazões de bombeamento de forma a promover o mínimo de rebaixamento do nível dinâmico. Durante o bombeamento, os parâmetros pH, condutividade elétrica, são monitorados com o medidor Multiparamétrica Aquaread, até estabilizar, e então é realizada a coleta da amostra, garantindo a representatividade da água que circula no aquífero de interesse. A figura 15 apresenta como são medidos em campo os parâmetros das águas subterrâneas com a sonda Multiparamétrica Aquaread.

Figura 15 - Sonda Multiparamétrica Aquaread medindo os parâmetros de água subterrâneas em campo (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura)



Fonte: Serviço Geológico do Brasil -CPRM, (2020).

4.4. ESTUDO COMPARATIVO DE *BACKGROUND* REGIONAL

O *Background* é uma medida que utilizamos para definir a concentração natural de algum elemento na natureza, com isso podemos observar a ação antrópica e seus restivos impactos e alterações no meio ambiente que venha a causar (RODRIGUES; NALINI Jr., 2009).

Para esta pesquisa foram feitos um estudo comparativo a partir dos valores estabelecidos do *Background* regional, estudado por Cardoso et al (2022) para águas superficiais da Bacia Carbonífera da região sul catarinense. E *Background* estudado por Simão et al (2019), que estabeleceu valores do *Background* natural, sendo definido valores geoquímicos de água subterrânea para os parâmetros pH, Ferro, Manganês e Sulfato. Para água superficial sendo definidos valores geoquímicos para os parâmetros pH, Acidez Ferro, Sulfato, Manganês, Alumínio (CARDOSO et al 2022). Sendo esses parâmetros os principais indicadores de contaminação por extração de carvão.

Para este estudo também será feita comparação com a legislação vigente Resolução CONAMA n° 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o enquadramento. Assim como ressalta o Cardoso et al (2022), considerando que o processo de enquadramento da Bacia em estudo ainda não é efetivado, de forma serão comparados com os rios da classe 2. Para águas subterrâneas será feito também o estudo comparativo com a Resolução CONAMA n°396/2008, que dispõe sobre aquíferos que sofrem alterações devido as atividades antrópicas a qual não cabe nenhum tipo de tratamento dependendo do uso futuro da água, serão comparados com a classe 3 (BRASIL, 2008). O quadro 6 apresenta os valores dos parâmetros de *Background* estabelecidos nos estudos regionais e os valores dos parâmetros da legislação CONAMA 369/08 e CONAMA 375/05.

Conforme Cardoso et al (2022) citam que é de extrema importância ter conhecimento de *Background* dos recursos hídricos superficiais e subterrâneas, saber qual é a concentração natural de elementos presente no contexto do local avaliado. Apesar das atividades de mineração poder afetar a qualidade das águas de uma determinada região, o intemperismo de rocha mineralizada pode ser naturalmente uma fonte de contaminação dos corpos hídricos por metais e acidez.

Quadro 6 - Valores de *Background* e do CONAMA 396/08 e do CONAMA 357/05

Background (SIMÃO, et al 2019) Água Subterrânea		CONAMA N° 396/2008
Parâmetro	Valores geoquímicos	Valores estabelecidos
pH	5,50 a 7,90	-
Fe total (mg/L)	0 a 2,58	0,3
Sulfato (mg/L)	2 a 20	250
Mn total (mg/L)	0 a 03	0,1
Al total (mg/L)	-	0,2
Background (Cardoso et al, 2022) Água superficial		CONAMA N° 357/2005
Parâmetro	Valores geoquímicos	Valores estabelecidos
pH	5,4 a 8,1	6 a 9
Acidez (mg. CaCO ₃ .L-1)	<0,5 a 13,	-
Fe total (mg/L)	<0,01 a 1,01	0,3
Sulfato (mg/L)	<0,5 a 29,4	250
Mn total (mg/L)	<0,002 a 0,06	0,1
Al total (mg/L)	<0,01 a 0,01	0,1

Fonte: Cardoso et al (2022); Simão et al (2019); modificado pelo autor, (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho tem com estudo plano de monitoramento ambiental de água superficiais e subterrâneas que foi estabelecido pelo Grupo Técnico de Assessoramento – GTA, e executada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, parâmetro que identifica a classificação das águas superficiais e subterrâneas, e a contaminação de drenagem ácida de mina, que é o grande problema na região em estudo. A tabela 8 apresenta os pontos de monitoramento dos rios e os poços selecionados para este estudo, que irá ser discutida nesta pesquisa. Foram realizadas várias análises laboratoriais das amostras, para este estudo foram selecionadas apenas os parâmetros pH, Ferro total, Sulfato, Manganês. Esses parâmetros serão comparados com as Resoluções CONAMA 357/05 e CONAMA 396/08, e com a *Background* regional, conforme como foi abordado no item acima. Os gráficos abaixo apresentam apenas os parâmetros selecionados para esta pesquisa.

Nos anexos encontram-se as tabelas com todos os parâmetros e os as datas das campanhas durante o início da execução do monitoramento dos indicadores ambientais.

Quadro 7 - pontos de monitoramento das águas superficiais e poços de monitoramento e as coordenadas.

Água Superficial		
Pontos	E	N
URP010	664779	6845256,63
URP011	664954	6845323,96
URP024	664519	6843631,47
Poços	Água Subterrânea	
PMAPUR01	657010	6846251,37
PMAPUR02	661769	6848267,09
PMAPUR03	660324	6846617,12
PMAPUR01	671982	6835612,45

Fonte: do autor, (2022).

5.1 ANÁLISE DE DADOS DAS AMOSTRAS DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

Conforme apresenta a tabela 8 para este estudo foram analisados os resultados obtidos nos pontos de monitoramento dos rios Carvão (URP010), Maior (URP011), Urussanga (URP024). Para acompanhar a evolução do recurso hídrico.

- Ponto inserido no rio Carvão (URP010).

O rio carvão corresponde aquela mais impactada pelas atividades antrópicas assim como atividades industriais executadas pela indústria carboníferas e os corpos das águas encontram-se com um alto nível de contaminação, é monitorado por ponto U010 que está a montante do Rio Urussanga. A figura 16 apresenta o local do ponto de monitoramento URP010, do rio Carvão.

Figura 16 - Ponto de monitoramento URP010 rio Carvão

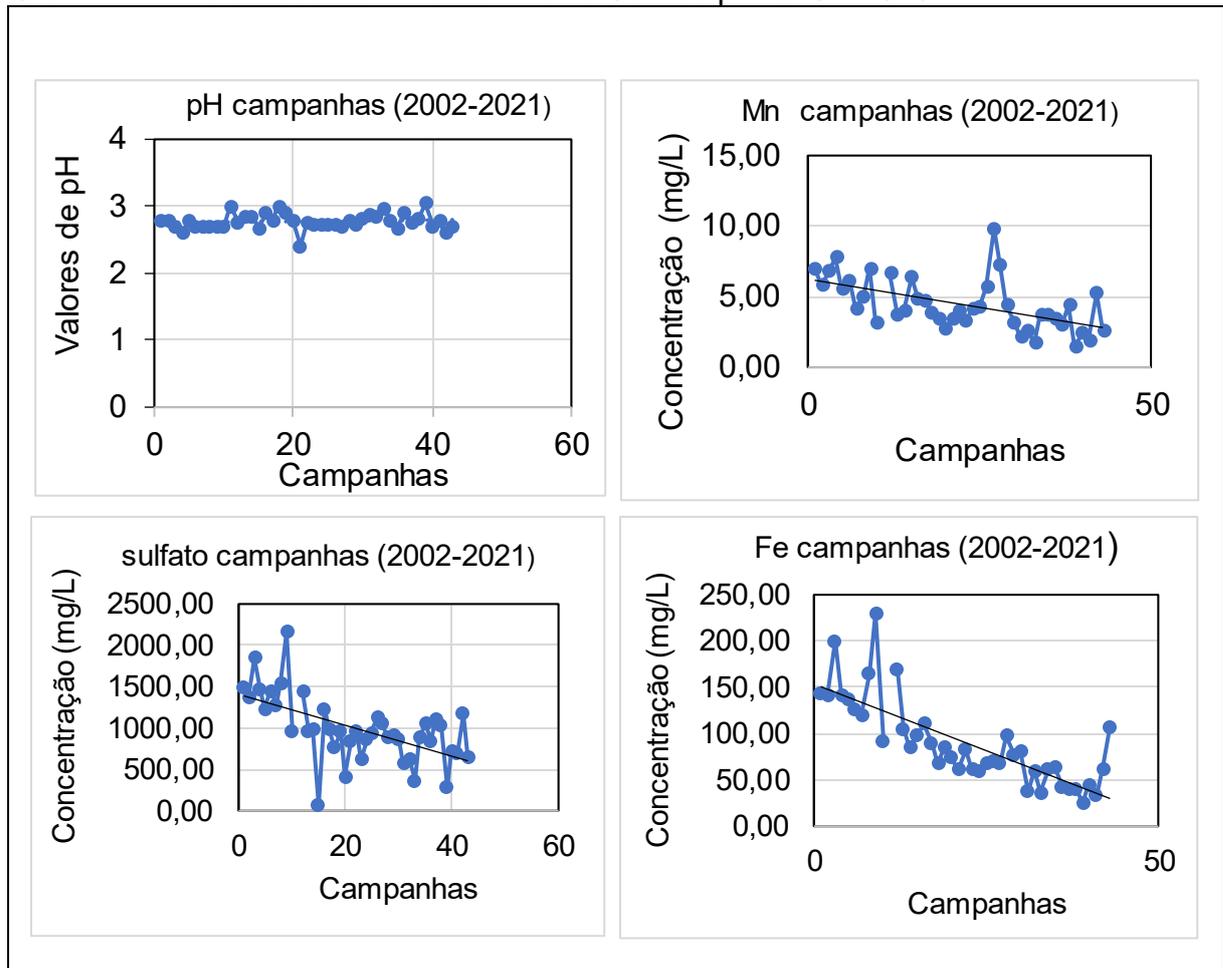


Fonte Serviços geológico do Brasil - CPRM, (2022).

Os resultados obtidos nas análises das campanhas no ponto URP010 do rio Carvão, no qual podemos notar o baixo valores do pH que não vão de acordo com a Resolução CONAMA 357/05 para classe 2. Comparando ao *Background* regional o pH encontra-se baixo em todas as campanhas não é compatível. Os parâmetros Ferro e Sulfato e o Manganês para todas as campanhas apresentam valores elevados, acima dos limites da Resolução CONAMA 357/05 para rio classe 2. Comparando ao

Background os parâmetros Ferro, Sulfato Manganês apresentam valores superiores. O mesmo ocorre com outros parâmetros. Para mais detalhes os seus respectivos valores encontram-se no anexo A à tabela com dados históricos do rio Carvão URP010. Com estes resultados nos mostra que o rio Carvão ainda é afetada pela drenagem ácida de mina. Com esses valores elevado estes metais podem danificar a saúde humana atacando o sistema nervoso.

Gráfico 1 - Parâmetros analisados no rio Carvão ponto URP010



Fonte: Serviços Geológico do Brasil - CPRM, 2021 adaptado pelo autor, (2022).

- Ponto inserido no rio Maior (URP011)

O rio Maior também sofre com certas atividades antrópicas, o ponto monitorado UR011, encontra-se antes da confluência com o rio Carvão e a montante com o rio Urussanga. A figura 17 apresenta o local do ponto de monitoramento URP011 no rio Maior.

Figura 17 - Ponto de monitoramento URP011 rio Maior

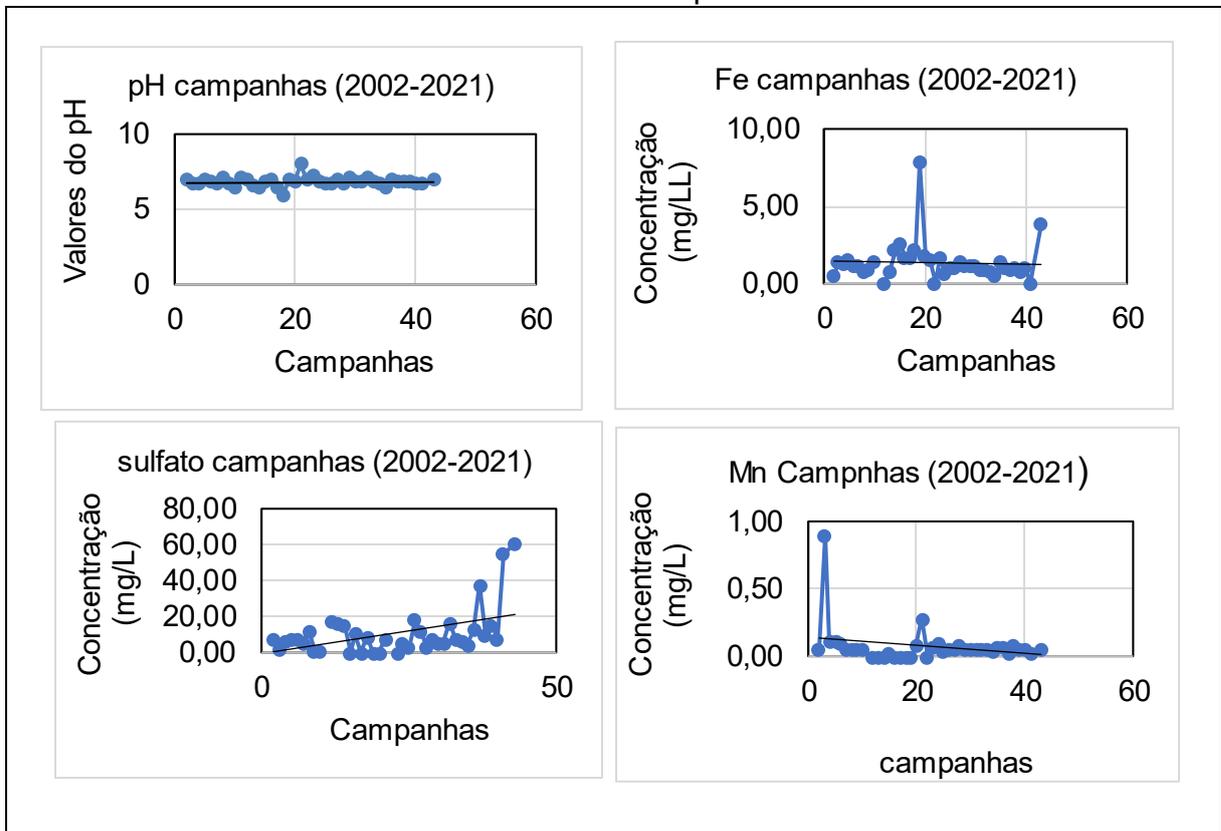


Fonte: Serviço Geológico do Brasil, 2022.

No rio Maior monitorado no ponto URP011 podemos notar conforme os dados apresentados nos gráficos abaixo, verifica-se que a água do rio é praticamente neutra. A maioria das campanhas o pH apresenta valores estáveis que vão de acordo com a legislação vigente da Resolução CONAMA 357/05 para a classe 2. Verifica-se que uma campanha o pH apresentou abaixo de 6 com um valor de 5,9 que não vai de acordo com a Resolução CONAMA 357/05. Comparando ao *Background* o pH é compatível. As demais campanhas os valores do parâmetro Ferro é incompatível estão a acima da legislação vigente da Resolução CONAMA 357/05, apenas em uma campanha o Ferro apresenta concentração inferior de 0,03 mg/L, que é aceitável pela Resolução CONAMA 357/05, verifica-se que Sulfato em todas as campanhas apresentam concentrações inferiores dentro dos limites da Resolução CONAMA 357. O Manganês apresenta valores inferiores que vão de acordo com a legislação vigente para classe 2 da Resolução CONAMA 357/05, apenas em uma campanha apresenta acima do limite estabelecido, com uma concentração de 0,9mg/L. Quanto ao *Background* da região o Ferro apresenta-se superior em uma campanha com concentração de 7,8mg/L, nas demais campanhas apresenta-se compatíveis, o Manganês e Sulfato apresentam valores inferiores. Em duas campanhas o Manganês e Sulfato apresentam valores superiores acima do *Background*. Os demais parâmetros apresentam-se estável os seus valores dentro dos limites, para mais

detalhe os seus respectivos valores encontram-se no anexo A à tabela com dados históricos do rio Maior URP011.

Gráfico 2 - Parâmetros analisados no rio Maior ponto URP011



Fonte: Serviços Geológico do Brasil -CPRM (2021), adaptado pelo autor (2021).

- Ponto inserido no Rio Urussanga (URP024).

O rio Urussanga formado pelos dois rios carvão e Maior, é totalmente comprometida, em grande parte da sua extensão, após a sua confluência o rio recebe os afluentes na sua margem direita os rios América, caeté, Cocal, Ronco, Linha Anta entre outros, e na margem esquerda os rios Barro Vermelho, Ribeirão da Areia e Vargedo. O ponto monitorado UR024 encontra-se próximo do rio América. A figura 18 apresentantes o local do ponto de monitoramento URP024 do rio Urussanga.

Os resultados obtidos nas análises das amostras do rio Urussanga monitorado no ponto URP024, observa-se que, o pH apresenta baixo valores que são incompatíveis com a classe 2 que não vão de acordo com a Resolução CONAMA 357/05. Comparando com o *Background* da região o pH apresenta-se baixo para todas as campanhas. Os parâmetros Ferro, Sulfatos e Manganês apresentam

concentrações superiores, acima dos limites da legislação vigente da Resolução CONAMA 357/05, para classe 2. O sulfato e o Manganês apresentam-se superiores ao *Background* regional. Podemos observar que o Ferro em uma das campanhas se apresenta compatível com o *Background* e as demais campanhas apresenta-se concentrações superiores. Assim como os demais parâmetros apresentam valores elevados acima dos limites da Resolução CONAMA 357/05. Os dados completos com relação aos seus respectivos valores encontram-se no anexo A, à tabela com dados históricos rio Urussanga URP024.

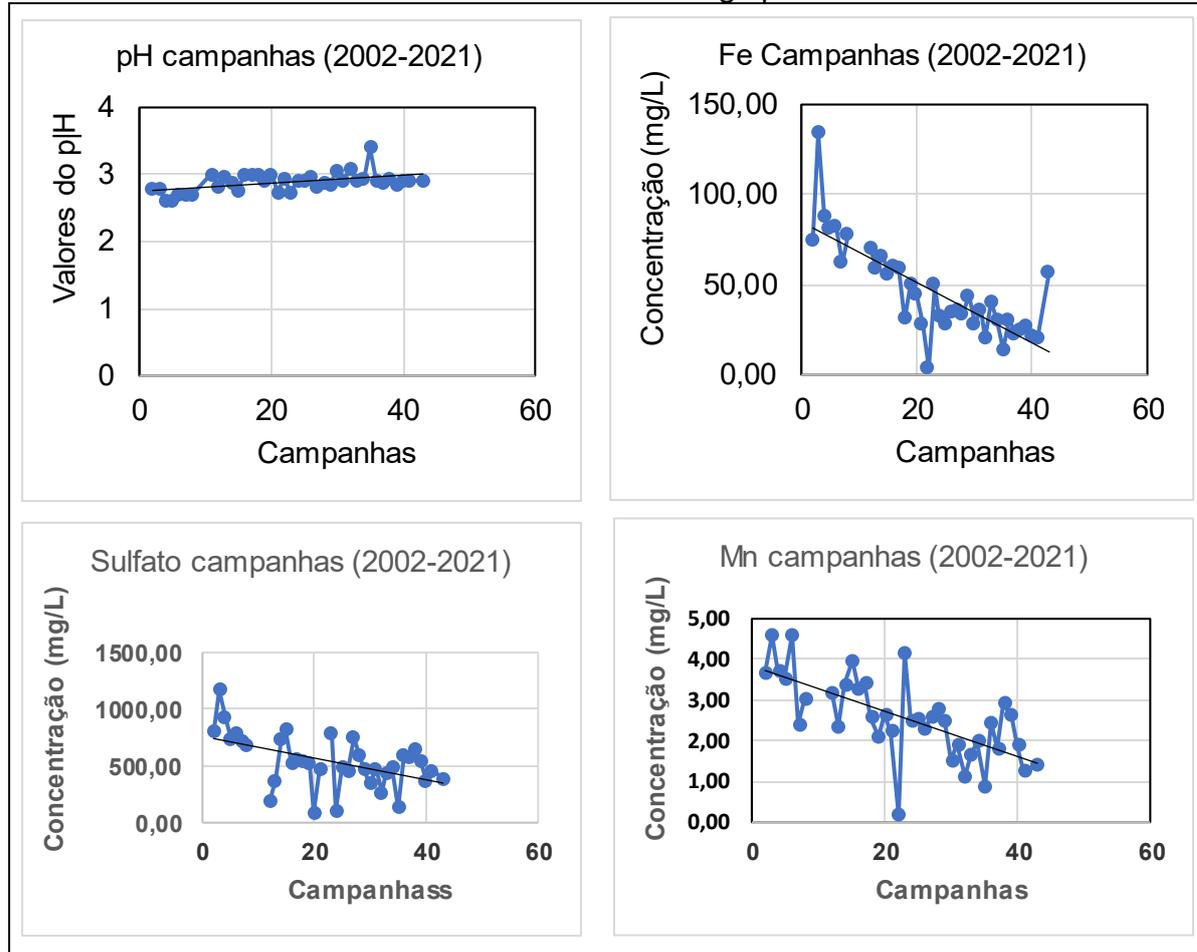
Figura 18 - Ponto de monitoramento URP024



Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (2022).

Com esses resultados apresentados verifica-se que o rio Urussanga se encontra muito impactado, existindo ainda uma grande quantidade passivos ambientais ao longo de vários dos seus afluentes, que continuam a receber drenagem ácida de mina das áreas degradadas que ainda não foram recuperadas.

Gráfico 3 - Parâmetros analisados no rio Urussanga ponto UR024



Fonte: Serviços Geológico do Brasil - CPRM, (2021) adaptado pelo autor, 2022

5. 2 ANÁLISE DE DADOS DAS AMOSTRAS DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.

Para águas subterrâneas os pontos fazem parte do sistema de aquífero do Rio Bonito pertencendo aquífero profundo. O estudo será feito nos poços de monitoramento PMAPUR01, PMAPUR02 e PMAPUR03, PMAPUR01 (Leque Aluviais). Para acompanhar a evolução do recurso hídrico.

- Poço de monitoramento PMAPUR01

O poço PMAPUR01 fica próximo da cobertura da Bacia do Rio Urussanga, estas áreas possuem maior concentração de áreas degradadas. É um poço de ponto branco, que monitora a qualidade do aquífero profundo o poço possui uma profundidade de 30 metros e é surgente. Ele está instalado no município de Urussanga. A figura 19 apresenta o poço de monitoramento PMAPUR01.

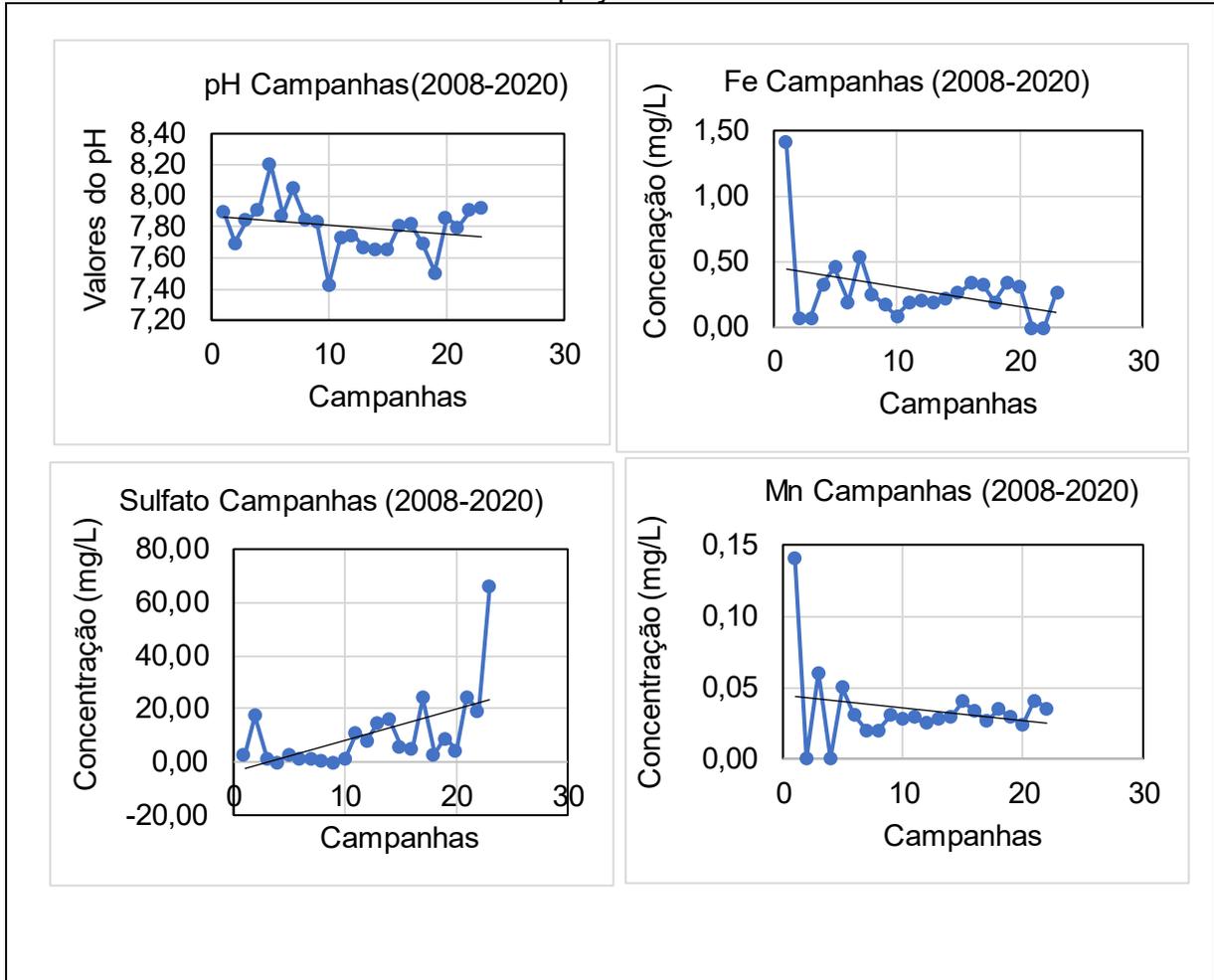
Figura 19 - Poço PMAPUR01



Fonte: Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021.

Conforme o gráfico mostra observa-se que em todas as campanhas neste poço os valores dos parâmetros, Manganês e o Sulfato estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08. O parâmetro Ferro em três campanhas apresenta concentrações superiores acima do que é estabelecido pela Resolução CONAMA 398/08, nas demais campanhas o parâmetro Ferro apresenta-se estável. O pH corresponde ao *Background* regional para águas subterrâneas. Os Parâmetros Ferro e Manganês apresentam concentrações inferiores que vão de acordo ao background regional, o Sulfato acima do estabelecido no *Background* da região. Os demais parâmetros apresentaram-se estáveis os seus valores dentro dos limites que é aceitável pela resolução CONAMA. Para mais detalhe os seus respectivos valores encontram-se no anexo B, à tabela com dados históricos PMAPUR01. Vale ressaltar por ser um ponto branco ele não apresenta poluição. O mesmo encontra-se a mais de 300 metros à jusante de áreas degradadas pelas atividades de mineração de carvão.

Gráfico 4 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR01



Fonte: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2021 adaptado pelo autor (2022)

- Poço de monitoramento PMAPUR02

O poço PMAPUR02 encontra-se à jusante e à montante de áreas degradadas pelas atividades de mineração de carvão mineral, tem uma profundidade de 42 metros. Esta, instalado no município de Urussanga. A figura 20 apresenta o poço de monitoramento PMAPUR02.

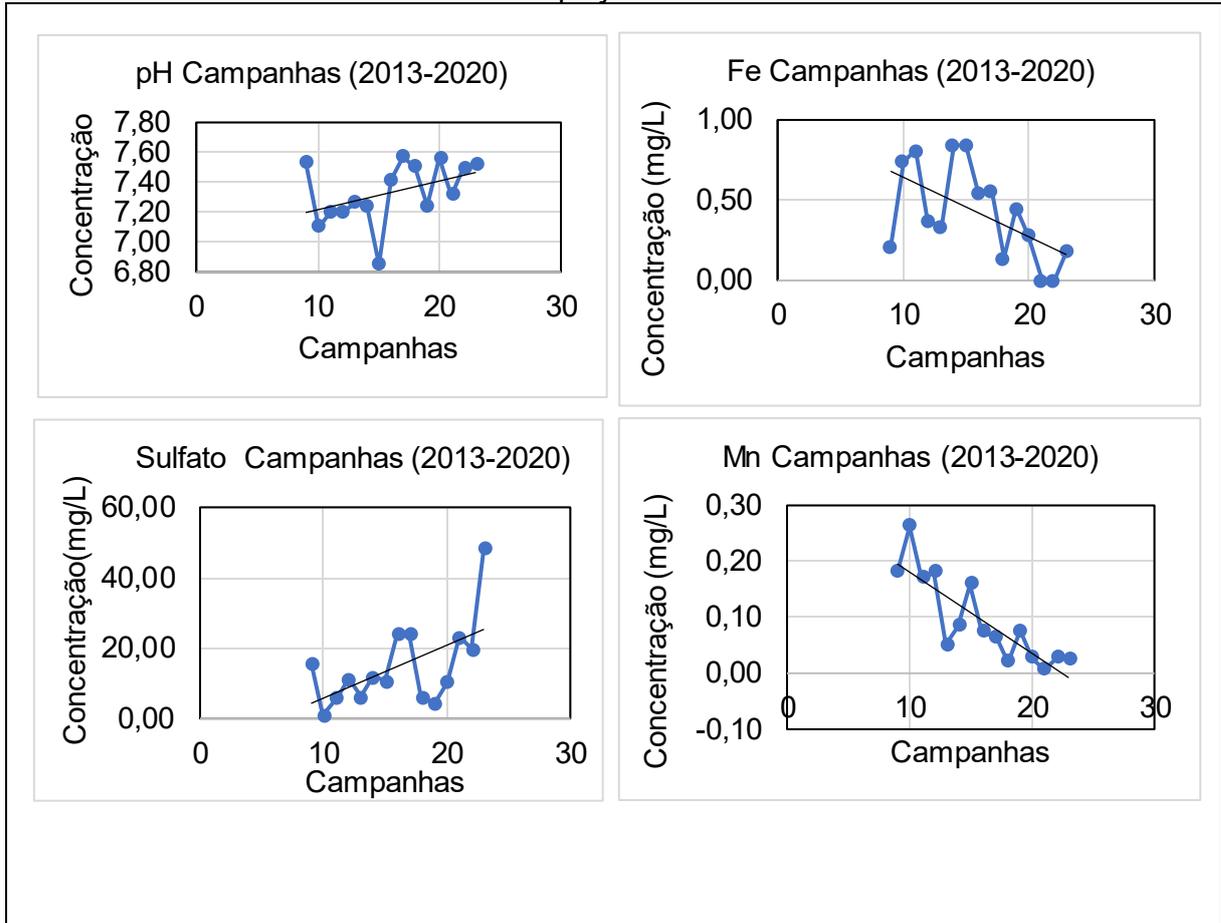
Figura 20 - Poço PMAPUR02



Fonte: Serviços Geológico do Brasil - CPRM, (2021).

No poço PMPUR02 pode-se observar que os parâmetros, Sulfatos e Manganês para todas as campanhas apresentam concentrações dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08. Observa-se que o Ferro nas demais campanhas apresenta concentrações superiores acima da Resolução CONAMA 396/08, apenas em três campanhas vão de acordo com a Resolução. Comparando ao *Background* os parâmetros Ferro e Manganês em todas as campanhas os seus valores apresentaram-se inferiores. Nas demais campanhas o parâmetro Sulfato apresenta-se inferior ao *Background*, já na última campanha apresenta um valor superior com concentração de 48,57 mg/L. Em todas as campanhas o pH apresenta superior que 6 e vai de acordo ao *Background* regional. Os demais parâmetros apresentam-se estáveis os seus valores dentro dos limites que é aceitável pela Resolução CONAMA 357/05. Para mais detalhe os seus respectivos valores encontram-se no anexo B à tabela com dados históricos PMAPUR01. Podemos notar que este poço não apresenta contaminação por drenagem ácida de mina.

Gráfico 5 - Parâmetros analisados do poço de monitoramento PMAPUR02



Fonte: Adaptado de Serviços Geológico do Brasil - CPRM, 2021, (2022).

- Poço de monitoramento PMAPUR03

O poço PMAPUR03 encontra-se próximo ao aterro sanitário do município de Urussanga e a 193 metros a sua jusante encontra-se áreas degradadas pela mineração de carvão mineral. O poço monitorado possui uma profundidade de 26 metros é um aquífero profundo e confinado. A figura 21 apresenta o poço de monitoramento PMAPUR03.

Figura 21 - Poço PMAPUR03

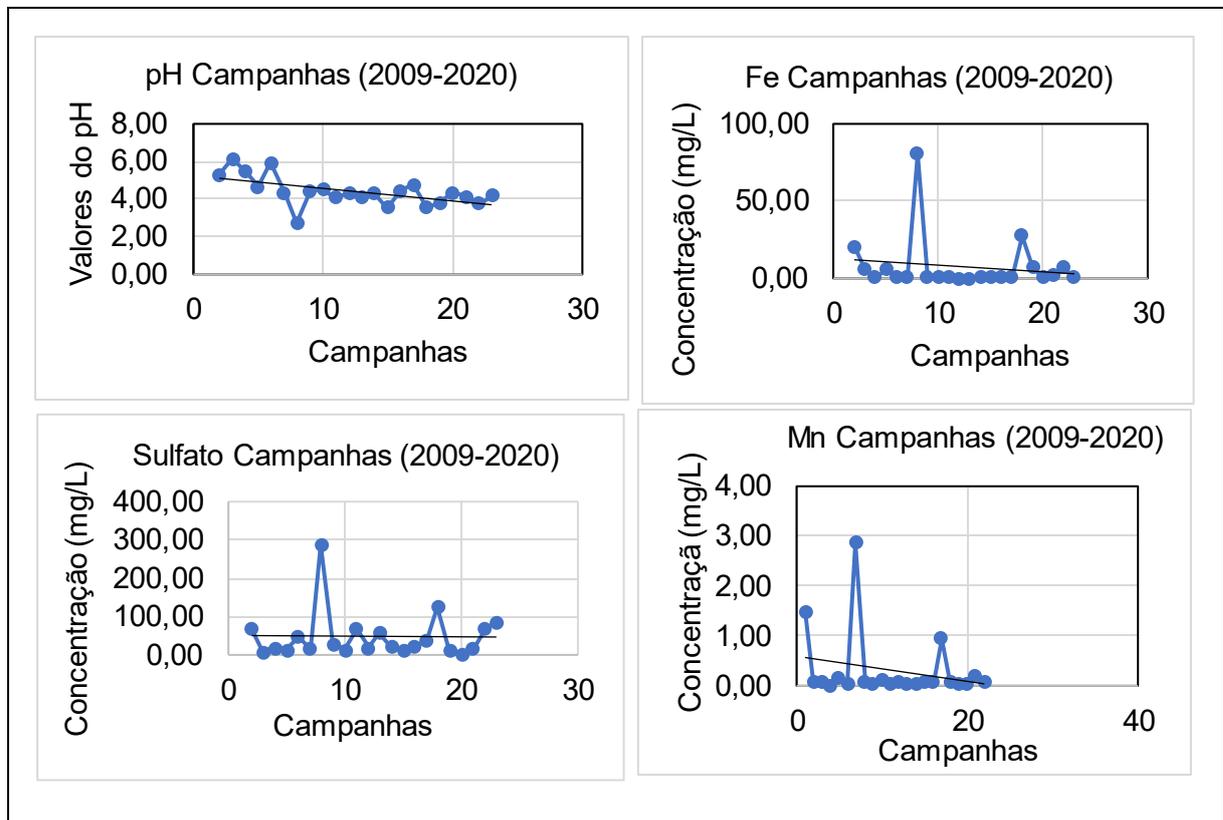


Fonte: Adaptado de Serviços Geológico do Brasil - CPRM, (2021).

Os resultados obtidos neste poço PMAPUR03, conforme podemos observar no gráfico abaixo o parâmetro Ferro podemos verificar um ponto próximo de 80 mg/L, que não corresponde com a legislação vigente, apesar de não estar de acordo com a Resolução CONAMA 396/08 podemos observar que na última campanha deu uma melhora com uma concentração de 0,75 mg/L e vai de acordo com o *Background* regional. O Manganês em três campanhas apresenta concentrações superiores acima dos limites estabelecidos, na última campanha apresenta uma baixa concentração de 0,06 mg/L, dentro do limite estabelecido pelo CONAMA 396/08. O parâmetro Sulfato em uma campanha apresenta uma concentração superior dos limites estabelecido com uma concentração de 287,8 mg/L, na última campanha apresenta-se inferior dentro dos limites estabelecido pela Resolução CONAMA 396/08. Em relação ao *Background* o Sulfato apresentou-se estável, nas demais campanhas apresenta concentrações superiores. o Manganês apresenta superiores acima do que foi estabelecido ao *Background* regional, nas demais campanhas apresenta concentrações inferiores. O pH na sua maioria das campanhas apresenta baixo valores, apenas em uma campanha apresenta-se estável ao *Background*. Novamente esses parâmetros apresentam picos em algumas campanhas. Para mais detalhamento seus respectivos valores encontram-se no anexo B à tabela com dados

históricos PMAPUR03. Com estes resultados podemos notar que a uma possível contaminação neste local.

Gráfico 6 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR03



Fonte: Serviços Geológico do Brasil - CPRM, 2021 adaptado pelo autor

- Poço de monitoramento PMAPUR01 (Leque Aluvial)

Este poço de monitoramento está inserido no aquífero leque aluvial da bacia em estudo. O poço localiza-se no município do Cocal do Sul, o mesmo encontra-se próxima ao rio Urussanga, é um piezômetro com profundidade de 11,68 metros. A figura 22 apresenta o poço piezômetro PMAPUR01.

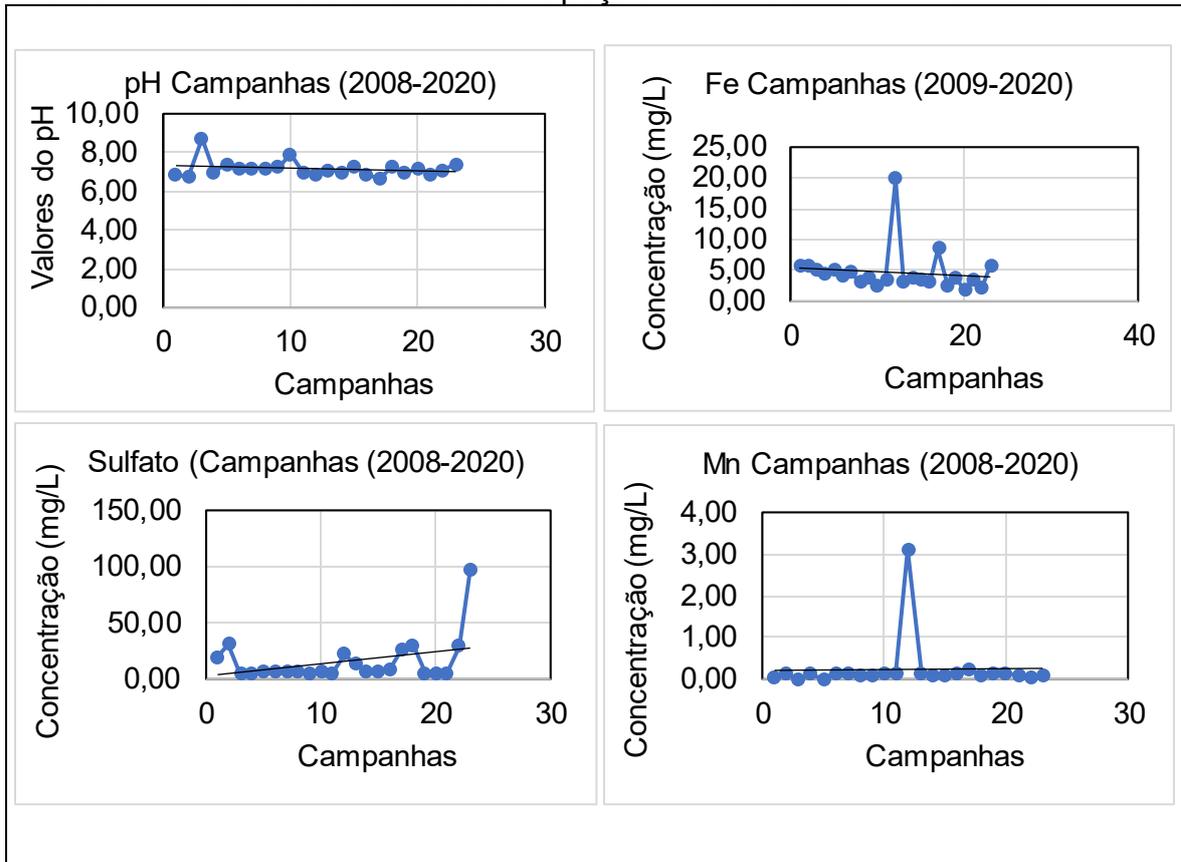
Figura 22 - Poço PMAPUR01 (leque aluvial)



Fonte: Adaptado de Serviço Geológico do Brasil - CPRM, (2021).

Os resultados obtidos neste poço, em todas as campanhas os parâmetros Ferro, Manganês apresentam concentrações superiores acima dos limites estabelecido pela Resolução CONAMA 396/08. Em relação ao *Background* regional, o Ferro apresenta valores superiores nas maiorias das campanhas, apenas em uma campanha apresenta concentração inferior de 1, 9 mg/L. O sulfato em todas as campanhas apresenta valores inferiores que é permitido pelo CONAMA 396/28, e apresenta concentrações superiores que não vai de acordo ao *Background* regional, as demais campanhas o sulfato apresenta concentrações inferiores de acordo ao Background. o pH apresenta valores estáveis. Alguns parâmetros apresentam concentrações acima da legislação CONAMA 396/08 e outros abaixo, ressalta-se por este poço estar próximo a superfície, é provavelmente que este poço está contaminado.

Gráfico 7 - Parâmetros analisados no poço de monitoramento PMAPUR01



Fonte Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2021, adaptada pelo autor 2022

Com os resultados obtidos das campanhas das águas superficiais podemos observar que o rio Carvão e o rio Urussanga ainda apresentam vários problemas ambientais, tais como baixo pH, o Ferro e Manganês e o Sulfato e outros metais tóxicos com elevadas concentrações, e as águas ainda continuam ácidas devido à drenagem ácida de mina. Isso nota-se que os passivos ambientais ainda continuam a gerar drenagens ácidas. Como podemos observar no gráfico 1 o rio Carvão é mais impactado com as condições mais ácidas, assim conforme ressalta o Schnack et al (2018) é considerado como rio morto a sua água apresenta alta solubilidade dos metais pesados que agravam os problemas de contaminação.

Segundo Citadin (2014), Essas elevadas cargas de poluição lançadas pelos afluentes contribuem para que a Bacia Hidrográfica do Rio Urussanga esteja comprometida em quase toda sua extensão. O rio Urussanga apresenta altas concentrações de metais pesados que contaminam o seu curso de água. Além das atividades de mineração, este rio também sofre com outros tipos de atividades antropicas que agravam mais a situação tornando toxica, assim como lançamentos

de esgotos, agricultura, essas todas cargas de poluentes é drenada para sua foz, conseqüentemente lançada ao oceano. Segundo Schnack et al (2018), os elevados níveis de concentrações desses metais acima da legislação ambiental, expõem a grave contaminação na qual o ambiente está submetido a perda de biodiversidade.

O rio Maior apesar do seu encontro com o rio Carvão, onde formam o rio Urussanga, têm também uma carga de poluição. Conforme o gráfico 2 mostra podemos notar que o rio Maior não está tão degradado ao ponto de alterar o pH que apresenta de acordo ao limite estabelecido pela legislação ambiental para classe 2. A sua acidez é inferior, apesar do ferro apresentar alta concentração isto pode se dizer que por rio receber alguns impactos causado pelas atividades antrópicas, isso pode interferir na alta concentração do Ferro. O rio encontra-se protegido, e as suas matas ciliares apresentam preservadas em toda sua extensão, o manancial apresenta uma qualidade aceitável de acordo a legislação da Resolução CONAMA 357/05.

Para águas subterrâneas o poço PMAPUR01 é um ponto branco os parâmetros encontram-se de acordo aos limites da legislação CONAMA 396/08, por não possuírem influência de recarga de área impactadas pela mineração de carvão. O poço PMAPUR02 apresenta-se estável conforme é permitido pela Resolução CONAMA 396/08, por estar a jusante e a montante de áreas degradadas mais não interfere na contaminação o seu pH apresentou valores superior a 6, nota-se por se tratar de um aquífero profundo não há contribuição da DAM, nesta área em monitoramento. O Poço PMAPUR03 verifica-se que o ferro para todas as campanhas se apresenta superior acima do estabelecido ao CONAMA 396/08, outros parâmetros apresentaram estáveis dentro dos limites, por estar perto de um aterro sanitário e à jusante de uma área degradada percebe-se que pode estar a acontecer contaminação nesta área, ele apresenta valores superiores em relação aos outros aquíferos profundos analisados. O poço PMAPUR01 que é denominada aquífero leque aluvial apresenta altas concentrações de ferro e manganês superior tornam o aquífero contaminados. Por estar próximo ao rio Urussanga, que apresenta um nível de contaminação, isso influencia na contaminação do aquífero, por ser um poço próximo à superfície que está degradada pelas atividades de mineração pode acontecer uma ocorrência de descarga de drenagem ácida de mina que infiltra no freático. Esses aquíferos Leques aluviais apresentam maior vulnerabilidade de contaminação, por estar próximo a superfície.

Vale ressaltar para estas últimas campanhas de monitoramento, embora os indicadores ambientais ainda apresentem condições ruins de qualidade nos recursos hídricos podemos observar que houve uma pequena melhora em relação as campanhas anteriores, porém ainda não se pode afirmar que esta é uma tendência geral para toda a área de estudo.

Torna-se necessário a continuidade no monitoramento e a realização de estudos complementares, tais como estudos geoquímicos sobre o comportamento dos sedimentos, entre outros estudos.

Podemos entender que o monitoramento ambiental dos recursos hídricos tem uma grande importância no que tange acompanhar a evolução da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, frente as obras das atividades de recuperação ambiental. Estas atividades envolvem a coleta, a preservação, o transporte e análise de amostras de águas superficiais e subterrâneas, coletadas em pontos estratégicos localizadas nas bacias afetadas pela mineração e nas imediações das áreas recuperadas. E identificar o local de eventuais problemas de contaminação de drenagem ácida de mina (HOELZEL; CARDOSO, 2020).

Deve-se se fazer mais campanhas de monitoramento nestas áreas para acompanhamento da evolução destes recursos isso faz importante para gestão do seu uso, e para mitigação da contaminação, bem como preservação de novas áreas passivos ambientais de atividades de mineração.

6 CONCLUSÃO CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o desenvolvimento deste trabalho de conclusão do curso com enfoque de avaliar e analisar as características ambientais dos recursos hídricos na bacia do rio Urussanga pode-se concluir que a exploração de mineração de carvão mineral na região, provocou severamente degradação no solo e nos recursos hídricos e na biota que acarretou impactos ambientais assim como a contaminação da drenagem ácida de mina. Ficou evidente que a situação das águas superficiais e subterrâneas ainda estão significativamente comprometidos sem ação de recuperação nestas áreas em estudos. A DAM é um dos principais causadores pela degradação destes mananciais por baixo pH e alta concentração de elementos tóxicos que metem em riscos as águas superficiais.

Apesar de uma pequena evolução nestas últimas campanhas, a Bacia Hidrográfica do rio Urussanga ainda apresenta altas concentrações dos metais pesados, tais como ferro, e manganês alumínio, entre outros poluentes que podem prejudicar a saúde humana. Os rios carvão e o rio Urussanga encontram-se em desacordo com a resolução CONAMA 357/05. O rio Maior para este estudo é o único que se destaca com uma boa qualidade de água para classe 2 da resolução CONAMA 357. Se verificou que os valores estão dentro dos valores de *background* estabelecido no estudo regionais.

Os aquíferos profundos apresentam menor vulnerabilidade a contaminação de drenagem ácida de mina por serem um aquífero confinado. Isto contribui para uma melhor proteção das descargas das drenagens ácida de minas e de outras fontes de contaminação. Já o leque aluvial como podemos observar nos resultados, esses aquíferos são facilmente entrar em contato com a contaminação de drenagem ácida de mina ou com outras fontes que possam comprometê-lo. Conclui-se que os poços PMAPUR01 e o PMAPUR02 esses aquíferos ainda estão em condições, a sua qualidade da água para abastecimento, apesar do poço PMAPUR02 apresentar uma alta concentração de ferro isso pode se destacar como uma concentração natural relacionado ao perfil geológico da formação Rio Bonito assim como correlaciona aos estudos de background realizada pelo Simão et al (2019).

Para que esses mananciais não continuem com impactos significativos, sugere-se a intensificação dos projetos de recuperação ambiental nesta região, bem como o

aperfeiçoamento dos indicadores ambientais de monitoramento, proporcionado a adoção de medidas ambientalmente adequadas de modo a garantir a conservação dos recursos hídricos para as atuais e futuras gerações.

Deve se realizar uma ampla campanha de sensibilização e educação ambiental em todos os níveis, empresários, poder público e comunidades para que se possa reverter o atual estado de degradação que resultaram no atual passivo ambiental provocado pela mineração de carvão, permitindo o retorno dos recursos hídricos a uma condição saudável para o bem-estar da população.

Sugere-se que este trabalho possa servir como um material de apoio acadêmico. E posteriormente poderão dar sequência neste trabalho e aprofundar mais as análises das amostras de outras campanhas que serão realizadas nestas áreas.

REFERÊNCIAS

ALBA, José Maria Filippini; EMBRAPA. **Recuperação de áreas mineradas**. 2. ed. rev. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2010. 326 p.

ALBA, José Maria Filippini. **Recuperação de áreas mineradas**. DF: EMBRAPA, 3. ed. rev. Brasília. Informação Tecnológica, 2018. 456p.

ALEXANDRE, N. Z.; KREBS, A. S. J. **Qualidade Das Águas Superficiais Do Município De Criciúma, Sc**. Porto Alegre: CPRM, PROGESC - Série Recursos Hídricos, v.6, n.1 1995.

AMARAL FILHO, J. R. D., Schneider, I. A. H., de Brum, I. A., Sampaio, C. H., Miltzarek, G., e Schneider. Caracterização de um depósito de rejeitos para o gerenciamento integrado dos resíduos de mineração na região carbonífera de Santa Catarina, Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 66, p. 347-353, 2013.

AMARAL, José Eduardo do; KREBS, Antônio Sílvia Jornada. **Drenagem ácida da mineração de carvão e sua interrelação com metais pesados e recarga de aquíferos na bacia carbonífera do estado de Santa Catarina**. 2011.

BATISTA, Carla Sales Polon et al. Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em bacia hidrográfica. **Águas Subterrâneas**, 2016. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28686>. Acessado em: 12 de setembro de 2022.

BELLETTINI, Angela da Silva; VIERO, Antônio Pedro; NETO, Artur Cesar Bastos. Hydrochemical and contamination evolution of Rio Bonito aquifer in the Carboniferous region, Paraná Basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 78, n. 22, p. 1-15, 2019.

BELLOLLI, Mário; QUADROS, Joice; GUIDI, Ayser. **História do Carvão de Santa Catarina: 1790-1950**. Criciúma, SC: IOESC, 2002. v.1

BOMFIM, Marcela Rebouças. **Avaliação de impactos ambientais da atividade Mineraria**. Cruz das Almas, BA: UFRB, 2017, 46p.

BRANDELERO, S. M., Miquelluti, D. J., CAMPOS, M. L., DORS, P., RODRIGUES, M. D. S., MOREIRA, R. **A atividade carbonífera e a contaminação de água superficial por elementos-traço**. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE, 2013. Disponível em: http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/66/SBRH2013__PAP012655.pdf. Acesso em: 7 agosto de 2022

BRASIL. **O meio ambiente na Constituição Federal de 1988**. 1988. Disponível em: <https://advambiental.com.br/artigo/leis-de-direito-ambiental/>. Acessado em: 15 de agosto de 2022.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n°357. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 17 mar. 2005, p. 58-63.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução CONAMA n°396. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, n. 66, 7 abr. 2008, Seção 1, p.64-68.

CAMILO, Priscila. **Avaliação temporal da contaminação das águas subterrâneas em áreas degradadas devido as atividades de mineração de carvão na região carbonífera sul catarinense**, 2020. Trabalho de conclusão do curso – Universidade do Extremo sul catarinense. Programa de graduação Engenharia Ambiental 2020.

CAMPOS, Mari Lucia et al. Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 9, n. 2, p. 198-205, 2010.

CARDOSO, Albert Teixeira; FAN, Fernando Mainardi. **A first evaluation of water resource conditions after an environmental reclamation effort at a former degraded coal mining area in Southern Brazil**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09393-4>. Acesso em: 5 de agosto de 2022.

CARDOSO, Albert Teixeira et al. **Recursos hídricos superficiais da região sul de Santa Catarina—Background geoquímico da região afetada pela mineração de carvão**. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.4597>. Acessado aos 20 de setembro de 2022

CAROLA, Carlos Renato. **Memória e cultura do carvão em Santa Catarina: impactos sociais e ambientais**. Santa Cruz do Sul, RS: EDUNISC, 2011. 326 p.

CASTILHOS, Z. C., BIDONE, E. D., CESAR, R. G., EGLER, S. G., ALEXANDRE, N. Z., BIANCHINI, M., NASCIMENTO, T. **Metodologia para o monitoramento da qualidade das águas da Bacia Carbonífera Sul Catarinense: Ferramenta para gestão em poluição ambiental**. 2010. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/294>. Acessado em 16 de agosto de 2022.

CETESB, Companhia ambiental do estado de São Paulo, Brasil. **Água Superficiais no estado de São Paulo**, 2015. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasSuperficiais2014_Partel_vers%C3%A3o2015_Web.pdf. Acessado em: 25 de agosto de 2022.

CETESB, Companhia ambiental do estado de São Paulo, Brasil. **Águas subterrâneas**. São Paulo 2019. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>. Acesso em: 14 de setembro de 2022.

CETEM. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense, Volume I.** 2001. Disponível em https://www.siecesc.com.br/pdf/conceitual_volume_i.pdf. Acesso em 6 de agosto de 2022

CETEM. **Projeto conceitual para recuperação ambiental da bacia carbonífera sul catarinense, Volume III.** 2001. Disponível em: https://www.siecesc.com.br/pdf/conceitual_volume_iii.pdf. Acesso em 6 de agosto de 2022.

CITADIN, Paulo Roberto. **Bacia hidrográfica do Rio Urussanga, sul de Santa Catarina: realidade socioambiental e evolução histórica na formação do arcabouço jurídico hídrico brasileiro.** 2014. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Criciúma, 2014.

CONAMA, Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução Conama nº 1, de 23 de janeiro de 1986.** 17 de fevereiro de 1986, Seção 1, p. 2548-2549. Disponível em: <http://www.ima.al.gov.br/wizard/docs/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20N%C2%BA001.1986.pdf>. Acesso em 8 de agosto de 2022

CUNHA, Ananda Helena et al. O reuso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, 2011. Disponível em <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2011b/ciencias%20ambientais/o%20reuso.pdf>: acesso em 6 de agosto de 2022.

FARIAS, Carlos Eugênio Gomes. Mineração e meio ambiente no Brasil. **Relatório do CGEE/PNUD**, v. 76, p. 2, 2002. Disponível em: https://www.cgее.org.br/documents/10195/734063/mineracao_e_meio_ambiente_no_brasil_1022.pdf/e86e431e-1a03-48d0-9a6e-98655ea257b6?version=1.0. Acesso em: 10 de agosto de 2022.

FERREIRA, Gabriel Luis Bonora Vidrih; FERREIRA, Natalia Bonora Vidrih. Meio ambiente e mineração na Constituição Federal. **Cadernos de Direito**, v. 11, n. 20, p. 111-124, 2012.

FURMANSKI, L. M. BENDO, R.; SILVA, T. L. C. da; ZOMER, S. L. da C. **Recuperação de áreas degradadas por mineração e beneficiamento de carvão mineral no Sul Catarinense: a atuação da assessoria técnica do ministério público federal.** 2014. Disponível em: [file:///C:/Users/numa/Downloads/ArtigoMPF-SINRAD2014-Furmanskietal%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/numa/Downloads/ArtigoMPF-SINRAD2014-Furmanskietal%20(1).pdf). Acessado em 1 de setembro de 2022

GALHARDI, Juliana Aparecida; SOLDERA, Bruna Camargo. **Efeitos da drenagem ácida de mina sobre a qualidade das águas subterrâneas: preceitos legais e técnicos**, 2018. Disponível em: <https://www.ceanesp.org.br/holos/article/view/12247/8214>. Acesso em 10 de agosto de 2022.

GARCIA, Érica Natasha dos Anjos; MORENO, Diego Aparecido Alves Costa; FERNANDES, André Luís Valverde. **A importância da preservação e**

conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil.

Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 11, n. 6, 2015. Disponível em:

https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1259/1279. Acesso em 6 de agosto de 2022.

GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALES, Valter Galdiano (Org.). **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 496 p.

GONÇALVES, L.R. **Vulnerabilidade Natural e Avaliação de Riscos de Contaminação dos sistemas de aquíferos nas Áreas Degradadas Pela extração de Carvão Na Bacia Hidrográfica do Rio Mãe Luzia**, 2012. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

GTA, Grupo Técnico de Assessoramento. Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais (Internal technical reports referent the years 2006-2019), vol 1. Ação Civil Pública nº 93.8000.533-4. Processo de cumprimento de sentença nº 2000.72.04.002543-9. Criciúma, Brasil. 2019.

GUIGUER, Nilson; KOHNKE, Michael Wolfgang. Métodos para determinação da vulnerabilidade de aquíferos. **Águas Subterrâneas**, 2002. Disponível em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22314>. Acessado em 12 de setembro de 2022.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S.S.; VILLAR, P.C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. 2019. Disponível em:

https://igc.usp.br/igc_downloads/Hirata%20et%20al%202019%20Agua%20subterranea%20e%20sua%20importancia.pdf. Acesso em 9 de agosto de 2022.

HEATH, Ralph C. **Hidrologia básica de água subterrânea**. Washington: U.S. Geological Survey, 1983. 84 p.

HOELZEL, Marlon. **Interconectividade de Aquíferos e os Efeitos da Drenagem Ácida de Mina na Qualidade das Águas da Bacia Carbonífera de Santa Catarina (SC)**. 2018. 74 f. Tese (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul.

HOELZEL, Marlon; CARDOSO, Albert Teixeira. Relatório executivo 2020: ação 125 F. Implementação da recuperação ambiental da bacia carbonífera de Santa Catarina. 2020.

INVERNIZZI, A. L.; SOUZA, A.G.; APPI, C.J.; CAPELETTI, I.; MOTA, C.E.M. **Projeto recuperação ambiental da bacia carbonífera de Santa Catarina**. 2009. Disponível em https://www.ufrgs.br/rede-carvao/Sess%C3%B5es_A4_A5_A6/A4_ARTIGO_02.pdf. Disponível dia 5 de agosto de 2022.

IPAT, Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológica. **Plano de recuperação de Áreas degradadas – Áreas Ex Treviso.2015.** PRAD executivo – bloco 2 – Área V.2-Santa Luzia, 2015.

KLEIN, Alecsandro Scharodosim. **Áreas degradadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina: vegetação versus substrato.** 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade do Extremo Sul Catarinense, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2006.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores.** Porto Alegre: Editora da Universidade. 2000.

KREBS, Antônio Silvío Jornada. **Contribuição ao conhecimento dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC.** 2004. 375 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

LONGO M. H. C., SOUZA, C. A., SOLERA, M. L., IKEMATSU, P., CAMPOS, S. J. A. M., BITAR, O. Y. **Recuperação de áreas degradadas por mineração: associação de técnicas de bioengenharia de solos com geração e manutenção de serviços ecossistêmicos.** 2019. Disponível em: <http://revista.ipt.br/index.php/revistaIPT/article/view/98/104>. Acesso em 7 de agosto de 2022.

MAGALHÃES JÚNIOR, Antônio Pereira. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 686 p.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. *In*: **FEITOSA, Fernando A. C. et al. (Org.) Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008, 3ª ed. p. 53-75

MARCONI, Mariana, de Andrade; LAKATOS, Eva, Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 297p.

MEDEIROS, Waneska Maria Vasconcelos; SILVA, Carlos Ernando da; LINS, Ruceline Paiva Melo. **Avaliação sazonal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Longá, Piauí, Brasil.** *Revista Ambiente & Água*, v. 13, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/GpChQBSf7GTmPfCznC7PCrC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em 6 de agosto de 2022.

MELLO, Jaime WV; DUARTE, Helio A.; LADEIRA, Ana Cláudia Q. Origem e Controle do Fenômeno Drenagem Ácida de Mina. **Cadernos Temáticos de Química nova na escola**, v. 8, p. 24-29, 2014. Disponível em: <http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/08/06-CTN4.pdf>. Acesso em 5 de agosto de 2022.

MENEZES, C. T. B.; CENI, G.; MARTINS, M. C.; VIRTUOSO, J. C. Percepção de impactos socioambientais e a gestão costeira: estudo de caso em uma comunidade de pescadores no litoral sul de Santa Catarina, Brasil. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental.**, v.8, p.457-481 - 481, 2019.

POMPÊO M. L. M., MOSCHINI-CARLOS, V., ALEXANDRE, N. Z., & SANTO, E. **Qualidade da água em região alterada pela mineração de carvão na microbacia do rio Fiorita.** Siderópolis, Estado de Santa Catarina, Brasil. Maringá, v. 26, no. 2, p. 125-136, 2004 disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/247915385_Qualidade_da_agua_em_regiao_alterada_pela_mineracao_de_carvao_na_microbacia_do_rio_Fiorita_Sideropolis_Estado_de_Santa_Catarina_Brasil_DOI_104025actascibiolsxiv26i21610/fulltext/559f5b4908aeb40ee93c3d3c/Qualidade-da-agua-em-regiao-alterada-pela-mineracao-de-carvao-na-microbacia-do-rio-Fiorita-Sideropolis-Estado-de-Santa-Catarina-Brasil-DOI-104025-actascibiolsxiv26i21610.pdf

PRESTES, Ariane Suares. **Avaliação de diferentes métodos de recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão: um estudo de caso na mina de Candiota – RS trabalho de conclusão de curso.** São Gabriel, RS, Brasil 2013. Disponível em:
<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riui/2723/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20de%20diferentes%20m%C3%A9todos%20de%20recupera%C3%A7%C3%A3o%20de%20%C3%A1reas%20degradadas%20pela%20minera%C3%A7%C3%A3o%20de%20carv%C3%A3o%20um%20estudo%20de%20caso%20na%20mina%20de%20Candiota%20-%20RS.pdf>. Acesso em 6 de agosto de 2022.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e Técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico.** Novo Hamburgo: FEEVALE, 2 ed., 277 p., 2013.

RAVAZZOLI, Cláudia. A problemática ambiental do carvão em Santa Catarina: sua evolução até os termos de ajustamento de conduta vigente entre os anos de 2005 e 2010. **Geografia em questão**, v. 6, n. 1, 2013. Disponível em:
<https://saber.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/6516>. << acessado em 17 de agosto de 2022.

RODRIGUES, W.N.; MARTINS, L. D., PEREIRA, D. P., & TOMAZ, M. A. **Recuperação de áreas degradadas.** p. 21-35, 1998. Disponível em:
<https://portalidea.com.br/cursos/introduo--recuperao-de-rea-degradada-apostila03.pdf>. Acessado em 12 de agosto de 2022.

RONCHI, Helen Nuernberg. **Avaliação da eficiência do uso de rejeito de mineração de carvão para o tratamento de águas da bacia hidrográfica do rio Urussanga (SC), utilizando Allium cepa L. como organismo bioindicador.** TCC (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 36 f., 2010.

SÁNCHEZ, Luís Enrique. **Mineração e meio ambiente.** 2007. Disponível em
<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1290/1/Tend%C3%A2nciasParte2.6.pdf>
 f. Acessado em 9 de agosto de 2022.

SÁNCHEZ, Luís Enrique. **Planejamento e gestão do processo de recuperação de Áreas degradadas. Recuperação de áreas mineradas**, v. 2, p. 103-121, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Sanchez-73/publication/308701573_Planejamento_e_gestao_do_processo_de_recuperacao_De_areas_degradadas/links/57ec0e5508ae92a5dbd05c24/Planejamento-e-gestao-do-processo-de-recuperacao-de-areas-degradadas.pdf. Acessado em 17 de agosto de 2022.

SÁNCHEZ, Luís Enrique. **Mineração e meio ambiente**. 2017. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/1290/1/Tend%C3%AAnciasParte2.6.pdf>. Acessado em 10 de agosto de 2022.

SANTANA, William de Oliveira. **Qualidade dos recursos hídricos subterrâneos na bacia do rio Urussanga, SC**. 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/91329>. Acessado em 22 de agosto de 2022.

SCHNACK, C. E.; MENEZES, C. T. B.; CENI, G.; MUNARI, A. B. **Qualidade da água no estuário do rio Urussanga (SC, Brasil): um ambiente afetado pela drenagem ácida de mina**. Revista Brasileira de Biociências. v.16, p.98 - 106, 2018.

SERVIÇOS GEOLOGICO DO BRASIL-CPRM Estudos Integrados em Bacias Representativas e Experimentais 2018. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Pesquisa-e-Inovacao/Estudos-Integrados-em-Bacias-Representativas-e-Experimentais-6640.html>. Acessado em 22 de setembro de 2022.

SILVA, J. C. de A. da; PORTO, M. F. do A. **Requalificação de rios urbanos no âmbito da renaturalização, da revitalização e da recuperação**. Labor e Engenho, Campinas, SP, v. 14, p.1-19, 2020.

SIMÃO, G; PEREIRA, J. L; ALEXANDRE, N. Z; GALATTO, S. L; VIERO, A. P. **Estabelecimento de valores de background geoquímico de parâmetros relacionados a contaminação por carvão**. Águas Subterrâneas, v.33, n.2, p.109-118, 2019.

SOARES, Paulo Sergio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. 2008. Disponível em: http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/2039/1/carvao_brasileiro_tecnologia_e_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 17 de agosto de 2022.

SOUSA, Rafaela. Impactos ambientais causados pela mineração; **Brasil Escola**. 2020. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/os-problemas-gerados-pela-mineracao.htm>. Acesso em: 05 de agosto de 2022.

STELLATO, T. B. **Avaliação da Qualidade da Água Suprificial e Subterrânea da área de Instalação do Futuro Reator Multipropósito Brasileiro – RMB, como uma ferramenta para obtenção da Licença de Instalação**, 2017. 210. P. Desertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em áreas de Tecnologia Nuclear – Materias, Autarquia Associada á universidade de São Paulo, 2017.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-16032018-164003/publico/2017StellatoAvaliacao.pdf>. Acesso em 25 de agosto de 2022.

TOLEDO, L. G. Monitoramento dos impactos ambientais das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais. **Simpósio Nacional sobre o uso da água na agricultura**, 2002. Disponível em: http://cbhpf.upf.br/phocadownload/simposio/dr_luis_gonzaga_toledo.pdf. Acesso em 7 de agosto de 2022.

TREIN, H. A. **A implicação antrópica na qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da bacia hidrográfica do rio Urussanga – SC**. 149 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Curso de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente. UNESP, Rio Claro, 2008

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira. Prospecção Tecnológica Recursos Hídricos: Qualidade da Água Subterrânea. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos Ciência, Tecnologia e Inovação**, 2003. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b_doc_final_agua_subterr_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0 >. Acessado em 25 de agosto de 2022

UNISUL, Universidade do Sul de Santa Catarina. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Urussanga Produto Parcial 03: Etapa C Diagnóstico Dos Recursos Hídricos**. Tubarão (SC), novembro de 2019.

VAZ, Paulo Afonso Brum; MENDES, Murilo. Meio ambiente e mineração. **Revista de direito ambiental**, v. 7, 1997.

VILLAS-BOAS, Mariana Dias; SANTOS, Filipe Jesus dos; SILVA, Janaina Gomes Pires da; OLIVERA, Francisco. **Os 10 anos do projeto institucional da CPRM: estudos integrados em bacias experimentais e representativas, região serrana/RJ, conquistas e desafios futuros**. 2017.

VIRTUOSO, J. C; MENEZES C.T.B; ASSUNÇÃO; V.K. **As dinâmicas de poder na apropriação dos recursos hídricos: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Urussanga, SC**. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/gaia/article/view/55058/32645>. Acesso em: 11 de agosto de 2022.

VOLPATO, Samira Becker. **Recuperação ambiental de ecossistemas aquáticos em regiões estuarinas: estudos aplicados para o tratamento e disposição de sedimentos contaminados pela drenagem ácida de mina na bacia hidrográfica do Rio Urussanga/SC**. 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2057/1/Samira%20Becker%20Volpato.pdf>. Acessado em 11 de setembro de 2022.

ZANETTE, Vanilde Citadini. Diagnostico Ambiental da Região Carbonífera no Sul de Santa Catarina: Recuperação de áreas Degradadas Pela Mineração de Carvão. **Rev. Tecnol. Ambiental, Criciúma**, v.5, n 2.p. 51-61, jul.1999.

ANEXO (S)

**ANEXO A – TABELAS COM OS PARÂMETROS DAS ÁGUAS
SUPERFICIAIS, QUE FORAM UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DESTA
PESQUISA**

PONTO UR010 RIO CARVÃO								
Data	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
05/06/2002	1	2,8	1987	1212,00	1500,00	142,50	7,00	105,00
10/07/2002	2	2,8	2280	1221,00	1365,00	141,00	5,80	104,00
21/10/2002	3	2,7	1900	1531,00	1852,00	200,00	6,80	140,00
28/01/2003	4	2,6	2130	1211,00	1460,00	142,00	7,80	126,00
25/02/2003	5	2,8	2240	1073,00	1238,00	138,00	5,60	160,00
26/03/2003	6	2,7	1877	1046,00	1450,00	126,00	6,20	100,00
06/05/2003	7	2,7	1915	978,00	1285,00	120,00	4,20	104,00
17/06/2003	8	2,7	2225	1246,00	1542,00	164,00	5,00	120,00
26/08/2003	9	2,7		1625,00	2158,00	230,00	7,00	156,00
30/09/2003	10	2,7		796,00	952,00	92,00	3,23	84,00
02/09/2004	11	3	1946	1647,00				
31/03/2005	12	2,77	2588	1325,00	1434,00	169,26	6,70	151,87
20/10/2005	13	2,85	1975,4	960,00	963,40	105,54	3,69	106,67
12/04/2006	14	2,85	1774,7	820,00	993,10	84,68	4,00	94,36
10/10/2006	15	2,68	2147	1142,50	63,60	98,70	6,38	101,78
27/03/2007	16	2,9	1900	965,60	1226,80	111,10	4,93	123,68
05/11/2007	17	2,8	1863	907,80	994,80	90,48	4,79	52,64
23/04/2008	18	3	1478	720,20	766,90	67,91	3,93	47,21
19/11/2008	19	2,9	1625	790,50	964,30	84,89	3,47	5,26
27/03/2009	20	2,8	1551	714,00	407,10	74,30	2,78	62,24
23/10/2009	21	2,41	184	165	840	61,25	3,45	66,22
08/06/2010	22	2,75	1598	777,2	950,84	83	4,1	77,2
25/10/2010	23	2,74	1550	450,00	617,81	60,70	3,28	47,60
12/05/2011	24	2,72	1648	585,44	856,54	58,7	4,12	68,15
28/10/2011	25	2,73	1765	667,84	938,86	68	4,33	87,4
13/06/2012	26	2,72	2023	725,19	1118,50	70,80	5,69	19,20
16/10/2012	27	2,7	1973	693,87	1055,8	67,9	9,85	57,3
28/05/2013	28	2,8	1824,7	701,68	880,29	98,1	7,25	27,4
08/10/2013	29	2,74	1976	854,08	918,55	77,30	4,44	107,00
29/05/2014	30	2,82	1651,4	694,92	857,36	81,6	3,22	19,4
15/10/2014	31	2,87	1268,9	427,62	574,18	37	2,13	41,5
14/05/2015	32	2,85	1359,4	477,89	628,92	60	2,57	57
22/10/2015	33	2,97	879,6	265,97	361,8	36	1,75	37,9
03/06/2016	34	2,79	1715,5	693,85	887,70	61,20	3,78	72,00
31/10/2016	35	2,67	1908,8	640,13	1052,95	64,10	3,73	83,60
19/04/2017	36	2,91	1564,9	559,74	844,19	43	3,43	66,2
21/09/2017	37	2,76	2004,8	721,89	1104,73	39,90	3,10	73,60
09/04/2018	38	2,83	1694,8	795,20	1022,00	41,20	4,41	106,00
05/09/2018	39	3,04	745,7	197,94	280,30	24,20	1,47	22,60
16/04/2019	40	2,71	1398,7	527,93	723,18	44,60	2,42	70,40
18/09/2019	41	2,78	1442,1	490,74	687,37	33,40	1,94	57,40
27/10/2020	42	2,6	1854,8	761,44	1167,30	62,09	5,30	78,60
05/10/2021	43	2,71	1455,6	424,44	637,16	107,297	2,6	56,6

PONTO UR011 RIO MAIOR								
Data	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/l)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
10/07/2002	2	6,9	73	5,00	7,00	0,55	0,05	0,30
21/10/2002	3	6,6	92	6,00	2,00	1,40	0,90	0,10
28/01/2003	4	6,6	110	5,00	6,00	1,30	0,11	0,10
25/02/2003	5	6,9	61	6,00	7,00	1,49	0,11	0,20
26/03/2003	6	6,8	112	5,00	7,00	1,08	0,10	0,10
06/05/2003	7	6,6	109	3,00	5,00	1,20	0,05	0,50
17/06/2003	8	7	68	7,00	12,00	0,81	0,05	0,10
26/08/2003	9	6,7		7,00	1,00	0,94	0,06	0,10
30/09/2003	10	6,4		5,00	1,00	1,38	0,05	1,00
08/09/2004	11	7	58,1	5,08				
31/03/2005	12	6,97	53,28	3,50	17,60	<LQ	<LQ	0,55
26/10/2005	13	6,56	50,7	5,10	16,50	0,80	<LQ	0,76
12/04/2006	14	6,38	60,53	4,12	14,80	2,13	<LQ	<LQ
10/10/2006	15	6,86	58,62	11,20	<LQ	2,60	0,03	1,45
27/03/2007	16	6,9	58	9,20	10,50	1,71	<LQ	<LQ
05/11/2007	17	6,4	60,6	15,80	<LQ	1,64	<LQ	<LQ
24/04/2008	18	5,9	53	5,30	8,70	2,22	<LQ	0,41
25/11/2008	19	6,9	50	11,20	<LQ	7,84	0,00	<LQ
13/04/2009	20	6,8	53	5,70	<LQ	1,73	0,08	0,09
16/11/2009	21	7,97	47,1	9	8	1,53	0,28	2,45
31/05/2010	22	6,95	50	0,3		0,0336	<LQ	<LQ
17/11/2010	23	7,2	64	4,20	<LQ	1,70	0,07	<LQ
24/05/2011	24	6,77	51	3,97	5,03	0,57	0,09	0,28
18/11/2011	25	6,69	55	8,08	2,5	1	0,04	<LQ
25/06/2012	26	6,6	65	7,12	18,33	0,96	0,06	0,14
29/10/2012	27	6,88	60	5,73	11,77	1,35	0,06	0,02
01/07/2013	28	6,67	63	4,3	2,8	1,12	0,08	0,09
28/10/2013	29	7,01	53,8	3,48	7,92	1,15	0,05	0,10
23/05/2014	30	6,76	52,8	8,5	5,35	1,18	0,06	0,183
02/10/2014	31	6,78	53,3	1,98	5,76	0,911	0,053	0,08
27/04/2015	32	7,02	49,3	2,48	16,46	0,843	0,049	<LQ
09/11/2015	33	6,86	45,5	3,46	7,82	0,719	0,046	0,064
08/06/2016	34	6,68	60,3	8,68	6,10	0,53	0,03	0,06
20/10/2016	35	6,34	77,1	9,32	4,44	1,42	0,07	0,41
12/04/2017	36	6,93	75,6	2,31	12,76	1,04	0,072	0,019
18/09/2017	37	6,82	61	7,03	37,46	0,93	0,03	<LQ
09/04/2018	38	6,79	55,4	29,70	9,88	0,95	0,09	0,08
29/08/2018	39	6,77	56,3	6,14	15,23	0,78	0,05	0,04
16/04/2019	40	6,71	46,8	8,57	7,82	1,00	0,05	0,11
11/09/2019	41	6,64	56,2	7,96	55,15	<LQ	0,03	0,10
05/10/2021	43	6,9	53,3	5,25	60,92	3,844	0,05	0,107

PONTO UR024 RIO URUSSANGA								
Data	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
11/07/2002	2	2,8	1898	651,00	803,00	0,55	0,05	0,30
21/10/2002	3	2,8	2030	980,00	1166,00	1,40	0,90	0,10
29/01/2003	4	2,6	1886	720,00	930,00	1,30	0,11	0,10
25/02/2003	5	2,6	2900	664,00	730,00	1,49	0,11	0,20
26/03/2003	6	2,7	1631	665,00	790,00	1,08	0,10	0,10
06/05/2003	7	2,7	1141	552,00	718,00	1,20	0,05	0,50
17/06/2003	8	2,7	1665	699,00	690,00	0,81	0,05	0,10
08/09/2004	11	3	1570	884,00		0,94	0,06	0,10
04/04/2005	12	2,81	1554,6	460,00	186,60	1,38	0,05	1,00
26/10/2005	13	2,97	1485,8	500,00	371,40			
24/04/2006	14	2,87	1619,4	629,85	740,80	<LQ	<LQ	0,55
10/10/2006	15	2,76	1570	692,50	815,00	0,80	<LQ	0,76
27/03/2007	16	3	1300	533,10	522,40	2,13	<LQ	<LQ
12/11/2007	17	3	1507	665,60	558,80	2,60	0,03	1,45
23/04/2008	18	3	1265	566,80	537,50	1,71	<LQ	<LQ
26/11/2008	19	2,9	1380	591,60	518,70	1,64	<LQ	<LQ
13/04/2009	20	3	1178	438,60	90,90	2,22	<LQ	0,41
13/11/2009	21	2,73	1247	380	473	7,84	0,00	<LQ
31/05/2010	22	2,93	1097	337,38		1,73	0,08	0,09
17/11/2010	23	2,73	1687	504,00	785,27	1,53	0,28	2,45
23/05/2011	24	2,91	1108	320,2	106,87	0,0336	<LQ	<LQ
16/11/2011	25	2,92	1122	325,36	487,75	1,7	0,07	<LQ
25/06/2012	26	2,97	1170	417,65	460,02	0,57	0,09	0,28
25/10/2012	27	2,83	1565	493,86	746,16	1	0,04	<LQ
18/06/2013	28	2,88	1368	325,36	587,43	0,96	0,06	0,14
22/10/2013	29	2,85	1379,5	453,7	466,49	1,35	0,06	0,02
23/05/2014	30	3,06	893,9	320,98	339,57	1,12	0,08	0,09
02/10/2014	31	2,9	1201,9	352,09	479,92	1,15	0,051	0,1
23/04/2015	32	3,1	719	228,99	260,95	1,18	0,06	0,18
09/11/2015	33	2,92	1045,5	333,35	437,94	0,911	0,053	0,08
08/06/2016	34	2,93	1215	422,87	484,75	0,843	0,049	<LQ
20/10/2016	35	3,4	419,3	124,68	132,39	0,719	0,046	0,064
13/04/2017	36	2,91	1279,4	382,98	598,05	0,534	0,0338	0,0645
18/09/2017	37	2,89	1355,4	408,19	571,71	1,42	0,07	0,41
09/04/2018	38	2,93	1223,6	530,27	651,97	1,04	0,07	0,02
29/08/2018	39	2,85	1217,9	374,99	542,49	0,925	0,029	<LQ
03/05/2019	40	2,92	1024,5	297,19	368,79	0,95	0,09	0,08
11/09/2019	41	2,9	1082,3	284,41	457,69	0,78	0,05	0,04
05/10/2021	43	2,92	924,5	225,43	383,61	1,00	0,05	0,11

**ANEXO B – TABELAS COM OS PARÂMETROS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS,
QUE FORAM UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DESTA PESQUISA**

PMAPUR01								
Data	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/l)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
26/06/2008	1	7,9	270	7,4	2,6	1,42	<LQ	0,23
02/06/2009	2	7,7	283	8,2	17,5	0,07	0,14	<LQ
18/03/2010	3	7,84	319	43,18	1,53	0,07	<LQ	0,05
06/10/2010	4	7,91	234	17,19	<LQ	0,33	0,06	0,11
14/04/2011	5	8,2	331,4	1,13	2,86	0,46	<LQ	0,69
03/10/2011	6	7,88	326	4,23	1,22	0,19	0,05	0,26
19/03/2012	7	8,05	341	1,57	1,21	0,54	0,03	0,07
18/09/2012	8	7,85	337	5,59	0,86	0,25	0,02	<LQ
17/04/2013	9	7,83	328,9	5,68	<LQ	0,17	0,02	<LQ
14/11/2013	10	7,43	251	7,15	1,15	0,09	0,03	<LQ
14/07/2014	11	7,74	337,5	4,64	11,11	0,18	0,03	<LQ
07/11/2014	12	7,75	388,8	5,21	8,23	0,2	0,03	<LQ
19/06/2015	13	7,67	332	4,72	14,82	0,2	0,03	<LQ
02/12/2015	14	7,66	334,1	5,31	16,46	0,22	0,03	<LQ
06/07/2016	15	7,66	319,4	3,61	5,9	0,26	0,03	0,06
18/11/2016	16	7,81	351,1	4,42	5,03	0,34	0,04	0,14
06/06/2017	17	7,82	324,5	3,12	24,28	0,33	0,03	<LQ
06/11/2017	18	7,69	806,6	6,23	2,88	0,19	0,03	<LQ
29/05/2018	19	7,51	312,3	3,13	9,06	0,34	0,03	<LQ
22/10/2018	20	7,86	288,2	3,66	4,53	0,3	0,03	<LQ
13/06/2019	21	7,8	345	3,87	24,69	<LQ	0,02	<LQ
24/10/2019	22	7,91	339,4	3,48	18,93	<LQ	0,04	<LQ
03/12/2020	23	7,92	335,7	3,76	65,86	0,27	0,04	<LQ

PMAPUR02								
DATA	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
25/04/2013	9	7,53	282,2	9,55	15,85	0,21	0,18	0,32
08/11/2013	10	7,1	260	23,97	0,96	0,74	0,26	<LQ
14/07/2014	11	7,2	254,1	14,83	5,76	0,81	0,17	<LQ
07/11/2014	12	7,2	254,5	14,87	11,11	0,37	0,18	<LQ
19/06/2015	13	7,26	252,1	12,64	6,17	0,34	0,05	<LQ
20/11/2015	14	7,24	251,8	10,53	11,94	0,84	0,08	<LQ
21/06/2016	15	6,85	233,6	7,33	10,66	0,84	0,16	0,24
22/11/2016	16	7,41	256,9	8,84	24,06	0,55	0,07	0,17
06/06/2017	17	7,57	235,4	8,01	23,87	0,56	0,07	0,15
13/11/2017	18	7,5	230,8	9,73	5,76	0,14	0,02	<LQ
28/05/2018	19	7,24	223,2	6,99	4,53	0,45	0,08	0,23
22/10/2018	20	7,56	215,9	6,45	10,29	0,28	0,03	0,14
13/06/2019	21	7,31	258,1	6,53	23,05	<LQ	0,01	<LQ
23/10/2019	22	7,49	247,7	7,24	19,76	<LQ	0,03	<LQ
03/12/2020	23	7,51	251,1	5,73	48,57	0,18	0,03	<LQ

PMAPUR03								
DATA	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/l)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
23/06/2009	2	5,3	163	156,6	70	20,47	1,49	<LQ
18/03/2010	3	6,16	141,1	105,55	9,06	5,58	0,08	<LQ
06/10/2010	4	5,46	204	9,02	18,14	0,6	0,09	2,87
25/04/2011	5	4,65	64,8	11,7	13,95	5,57	<LQ	6,08
04/10/2011	6	5,95	144	26,19	48,33	0,98	0,16	8,95
19/03/2012	7	4,33	70	46,48	17,09	0,94	0,04	2,46
25/09/2012	8	2,73	1247	235,49	287,8	80,4	2,86	3,03
17/04/2013	9	4,46	95,1	87,31	30,69	0,28	0,07	3,5
14/11/2013	10	4,51	69	49,96	13,33	0,38	0,04	1,79
16/07/2014	11	4,06	187,4	123,46	67,91	0,94	0,11	10,4
07/11/2014	12	4,32	84,7	81,39	19,76	0,25	0,04	2,66
19/06/2015	13	4,14	161,1	72,77	57,21	0,25	0,09	8,96
02/12/2015	14	4,28	82,8	67,59	23,05	0,33	0,04	3,22
24/06/2016	15	3,57	57,7	34,58	14,66	0,73	0,06	1,4
29/11/2016	16	4,47	67,6	50,37	22,28	1,31	0,08	1,29
08/06/2017	17	4,74	72,1	67,06	41,16	0,81	0,06	3,12
13/11/2017	18	3,57	264,7	111,84	126,36	27,8	0,95	4,33
24/05/2018	19	3,83	75,8	66,05	10,7	7,56	0,09	1,21
22/10/2018	20	4,32	57,1	46,28	4,53	0,53	0,04	2,5
08/07/2019	21	4,11	86,3	70,71	17,7	2,1	0,03	2,22
24/10/2019	22	3,77	136,9	37,16	68,33	7,1	0,19	1,61
03/12/2020	23	4,19	163	85,64	87,26	0,75	0,06	10,8

PMAPUR01 LEQUE ALUVIAL								
DATA	Campanhas	pH	Condutividade elétrica (µs/cm)	Acidez Total (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
25/06/2008	1	6,9	195	35,7	19,6	5,78	0,06	0,58
02/06/2009	2	6,7	209	51	31,1	5,7	0,12	0,06
22/03/2010	3	8,73	174,3	33,58	4,75	4,87	<LQ	<LQ
04/10/2010	4	6,99	383	<LQ	5,24	4,48	0,12	<LQ
12/04/2011	5	7,4	249	7,19	6,17	4,84	<LQ	0,78
03/10/2011	6	7,2	246	10,41	7	4,05	0,15	<LQ
15/03/2012	7	7,19	259	11,65	6,97	4,63	0,12	1,38
17/09/2012	8	7,18	253	13,53	6,93	3,09	0,1	0,03
05/04/2013	9	7,22	245,3	17,02	5,79	3,64	0,08	0,19
05/11/2013	10	7,93	334	3,8	6,97	2,47	0,12	<LQ
07/07/2014	11	6,96	267,7	25,9	5,64	3,39	0,12	<LQ
12/11/2014	12	6,89	272,1	106,82	22,34	19,76	3,11	0,11
18/06/2015	13	7,06	252,9	12,89	13,58	3,07	0,11	<LQ
17/11/2015	14	6,96	260,8	17,91	7,41	3,55	0,11	<LQ
06/07/2016	15	7,24	285	8,05	7,71	3,41	0,11	<LQ
18/11/2016	16	6,89	298	18,46	7,95	2,91	0,13	0,31
02/06/2017	17	6,62	216,1	52,42	25,52	8,44	0,23	<LQ
25/10/2017	18	7,31	518	12,94	30,46	2,52	0,09	<LQ
28/05/2018	19	6,95	248,4	13,24	5,35	3,72	0,13	<LQ
29/10/2018	20	7,19	220,1	10,41	4,53	1,9	0,15	<LQ
19/06/2019	21	6,89	269,8	13,83	5,76	3,4	0,08	<LQ
07/11/2019	22	7,08	258	11,39	29,64	2,2	0,06	<L
02/12/2020	23	7,37	258,9	6,57	97,14	5,77	0,11	<LQ