

## **Volume II – CONCLUSÕES RESUMIDAS**

PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE BIOINDICADORES AMBIENTAIS  
AQUÁTICOS E TERRESTRES, ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS NA  
REGIÃO DE INFLUÊNCIA DA USINA TERMELÉTRICA DE CANDIOTA, CANDIOTA,  
RIO GRANDE DO SUL

RELATÓRIO FINAL – ANO 2023/2024

ÂMBAR ENERGIA

CONTRATO N° 4500048992 e seus Termos Aditivos até a presente data.

Janeiro - 2025

## SUMÁRIO

<b>1. Volume II – CONCLUSÕES RESUMIDAS.....</b>	<b>03</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>03</b>
<b>1.2 AMBIENTE AQUÁTICO.....</b>	<b>05</b>
<b>1.3 AMBIENTE TERRESTRE.....</b>	<b>07</b>
<b>CONCLUSÕES – AMBIENTE AQUÁTICO.....</b>	<b>09</b>
<b>2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO AMBIENTE AQUÁTICO.....</b>	<b>09</b>
<b>2.3 MONITORAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL.....</b>	<b>09</b>
<b>2.4 MONITORAMNETO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5 MONITORAMENTO SEDIMENTOS.....</b>	<b>16</b>
<b>2.6 BIOINDICADORES AMBIENTAIS AQUÁTICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6.1 Fitoplâncton.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6.2 Perifiton.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6.3 Zooplâncton.....</b>	<b>15</b>
<b>2.6.4 Macroinvertebrados Bentônicos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.7 MONITORAMENTO DE ICTIOFAUNA.....</b>	<b>22</b>
<b>CONCLUSÕES – AMBIENTE TERRESTRE.....</b>	<b>24</b>
<b>3. PROGRAMA DE MONITORAMENTO PARA O AMBIENTE TERRESTRE.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>3.3 MONITORAMENTO DA AVIFAUNA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 MONITORAMENTO DA HERPETOFAUNA.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO AR- FLORA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.7 MONITORAMENTO DA ATIVIDADE PECUÁRIA.....</b>	<b>30</b>

## **1. Volume II – CONCLUSÕES RESUMIDAS**

### **1.1. INTRODUÇÃO**

Apresenta-se neste volume as conclusões de cada compartimento ambiental estudado no Monitoramento Ambiental do Arroio Candiota, tendo como centro geográfico dos levantamentos a Usina Termelétrica Candiota, geração a carvão mineral e situada na Bacia Hidrográfica do Arroio Candiota, Candiota RS.

A Bacia Hidrográfica do Arroio Candiota é um ecossistema de relevância estratégica, tanto para a preservação ambiental quanto para as atividades econômicas que nela se desenvolvem. Caracterizada pela multifuncionalidade de seus usos, esta bacia é impactada por diversas atividades humanas que operam de forma integrada e interdependente, como a mineração de carvão mineral, mineração de mármore, a presença de duas plantas industriais de fabricação de cimento, além de pecuária intensiva, agricultura (incluindo lavouras de arroz, soja e fruticultura), florestamento, ir e vir de produtos e insumos, transporte de pessoas, e urbanização. Essas atividades, ao lado da operação da usina termelétrica, conferem à região uma dinâmica complexa, na qual as interações entre os diferentes usos do solo tornam a avaliação de impactos ambientais um desafio significativo.

O monitoramento ambiental, realizado ao longo de um ano amostral que abrange as estações sazonais de primavera de 2023, verão de 2024, outono de 2024 e inverno de 2024, visa fornecer uma análise abrangente e detalhada dos efeitos dessas atividades sobre o ambiente, considerando os impactos nos recursos hídricos, na vegetação, no solo e na fauna local.

O presente estudo abrange diversas áreas do conhecimento contemplando tanto os ambientes terrestres quanto o aquático. No ambiente terrestre destaque para a vegetação campestre do bioma Pampa, a avifauna e a herpetofauna (répteis e anfíbios), além da análise da pecuária, que é uma das atividades predominantes na região. Foram monitorados também os ecossistemas aquáticos, incluindo as águas subterrâneas na área de influência da termelétrica, as águas superficiais da Bacia do Arroio Candiota, a ecologia do zooplâncton, fitoplâncton, perifíton, sedimentos e a fauna aquática. Além disso, foram realizados ensaios de toxicidade para avaliar os sedimentos, as águas superficiais da Bacia do Arroio Candiota e as águas subterrâneas da área da termelétrica, com o objetivo de complementar as análises químicas realizadas e verificar os efeitos conjuntos dos compostos provenientes das diversas atividades

industriais e agrícolas que caracterizam a região. Os efeitos de emissões atmosféricas também são avaliados através do biomonitoramento vegetal.

A complexidade dos estudos realizados reflete a natureza multifuncional da bacia hidrográfica do arroio Candiota e as dificuldades em estabelecer causalidades diretas entre os diversos fatores de impacto. Cada uma dessas atividades – da mineração à pecuária, da agricultura ao transporte – interage de forma a gerar uma série de pressões sobre o meio.

Esse cenário de múltiplos usos torna difícil estabelecer relações causais diretas entre os impactos ambientais e as diversas atividades humanas, exigindo uma análise integrada e detalhada dos dados coletados ao longo do ano. As interações entre as diversas atividades de uso do solo, como a operação da usina termelétrica, as indústrias de cimento, a mineração e a agricultura, representam desafios adicionais para a gestão sustentável da bacia.

O monitoramento ambiental levou em consideração os impactos tanto no ambiente terrestre quanto no aquático, bem como a qualidade das águas subterrâneas, com o objetivo de mapear os efeitos dessas atividades sobre o ecossistema local. A análise sazonal dos dados permite entender as variações nas condições ambientais ao longo do ano e os efeitos diretos e acumulados das atividades econômicas sobre o meio, incluindo a qualidade do solo, da vegetação e da fauna local.

A multifuncionalidade desta bacia exige uma abordagem holística e multidisciplinar, capaz de integrar os efeitos das diversas atividades humanas e os impactos que elas geram sobre os diferentes componentes ambientais. A presença de diversas indústrias e atividades econômicas, como a mineração, a agricultura e a pecuária, traz desafios tanto para a avaliação da qualidade ambiental quanto para a implementação de políticas eficazes de gestão, sejam elas públicas ou privadas.

A partir desta introdução, serão apresentadas as conclusões obtidas ao longo de um extenso processo de monitoramento, que abrangeu estudos nas áreas terrestre e aquática da bacia hidrográfica do arroio Candiota.

Esse processo de monitoramento tem como objetivo fornecer, a partir de uma base científica sólida, informações para a gestão e mitigação de potenciais impactos ambientais, promovendo o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental, além de garantir a saúde a longo prazo dos recursos naturais desta bacia.

No **volume 1** estão descritos os métodos e materiais utilizados para obter as conclusões apresentadas.

As conclusões que seguem apresentadas são resultado de um monitoramento intensivo e de uma análise detalhada dos dados coletados ao longo das quatro estações do ano, abrangendo o período da primavera de 2023 até o verão, outono e inverno de 2024.

As subdivisões para cada ambiente estudado, AQUÁTICO e TERRESTRE, foram:

## 1.2. AMBIENTE AQUÁTICO

*Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Candiota:* A qualidade das águas superficiais do arroio Candiota, que serve de recurso hídrico para a região, é fundamental para a saúde do ecossistema aquático. A avaliação da qualidade das águas superficiais é complementada pela análise dos potenciais efeitos tóxicos que essas águas, nos ambientes monitorados, podem causar sobre organismos de diferentes níveis tróficos, como algas, microcrustáceos e peixes. Embora os ensaios de ecotoxicidade não identifiquem as causas dos efeitos observados, a aplicação do Índice de Toxicidade permite caracterizar as estações amostrais em relação a frequência e intensidade dos efeitos tóxicos aos organismos aquáticos, além de acompanhar as variações de toxicidade ao longo do tempo, fornecendo uma visão integrada da qualidade ambiental de cada estação amostral.

*Qualidade das Águas Subterrâneas em Poços Tubulares Rasos:* O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, e análises de ecotoxicidade, realizado em dezesseis poços tubulares rasos no entorno da usina, é crucial para avaliar os impactos da contaminação/poluição sobre o lençol freático. A presença de substâncias contaminantes, como metais pesados e produtos químicos provenientes da atividade da usina, é monitorada para garantir a qualidade da água subterrânea, que é uma fonte importante de abastecimento para as comunidades locais. Os ensaios de ecotoxicidade realizados complementam a caracterização química das águas subterrâneas, considerando os efeitos conjuntos de todos os compostos presentes sobre os organismos do ambiente aquático. Embora os ensaios de ecotoxicidade não identifiquem as causas dos efeitos observados, a aplicação do Índice de Toxicidade permite caracterizar águas subterrâneas em relação a frequência e intensidade dos efeitos tóxicos aos organismos aquáticos, permitindo acompanhar as variações de toxicidade ao longo do tempo e fornecendo uma visão integrada da qualidade ambiental deste ambiente.

*Ecologia do Fitoplâncton e Indicadores de Qualidade Ambiental:* O fitoplâncton pode ser definido como um conjunto de organismos microscópicos fotossintetizantes, que tem parte ou totalidade do seu ciclo de vida em suspensão. Sua presença e abundância são diretamente influenciadas por fatores como nutrientes e poluentes presentes na água. Apresentam respostas rápidas às alterações ambientais, funcionando como sensores biológicos. A análise do fitoplâncton fornece informações sobre a saúde das águas do arroio Candiota, sendo uma ferramenta vital para detectar possíveis efeitos da poluição e da eutrofização.

*Perifiton* (Biofilme no Fundo da Calha Fluvial): O perifíton, biofilme presente em fragmentos de rochas e seixos no fundo da calha fluvial, é um indicativo da saúde do ecossistema aquático. O monitoramento do perifíton serve para avaliar a qualidade da água e a presença de contaminantes, já que esses organismos são altamente sensíveis a mudanças nas condições ambientais. Eles são fundamentais na avaliação dos impactos da poluição sobre os ecossistemas aquáticos e a biodiversidade local.

*Ecologia do Zooplâncton e Indicadores de Qualidade Ambiental:* O zooplâncton, importante base da cadeia alimentar aquática, é altamente sensível às mudanças nas condições da água, como a poluição. O estudo da ecologia do zooplâncton busca monitorar a composição e a abundância dessas populações, utilizando-os como indicadores da qualidade da água e dos impactos da poluição da Usina Termelétrica Candiota.

*Qualidade dos Sedimentos Superficiais de Fundo e Ensaio de Ecotoxicidade:* A análise da química e da física dos sedimentos superficiais de fundo da calha fluvial da Bacia do arroio Candiota, juntamente com ensaios de ecotoxicidade, permite avaliar os impactos dos poluentes nos sedimentos. Os ensaios de ecotoxicidade avaliam os potenciais efeitos que o conjunto de substâncias presentes nos sedimentos poderiam causar nos organismos bentônicos.

*Macroinvertebrados Bentônicos e Indicadores de Qualidade Ambiental:* Os macroinvertebrados bentônicos, organismos que vivem no fundo dos corpos d'água, são essenciais para a reciclagem de nutrientes e a decomposição da matéria orgânica. A avaliação das populações de macroinvertebrados no fundo da calha fluvial permite monitorar os efeitos da poluição nos sedimentos e nas águas do arroio Candiota, sendo esses organismos também importantes bioindicadores da qualidade ambiental.

*Ecologia de Populações de Peixes e Bioacumulação de Metais:* A ecologia das populações de peixes no arroio Candiota é analisada para entender os efeitos da poluição, especialmente a bioacumulação de metais nos músculos dos peixes, que pode indicar níveis elevados de contaminação nas águas. A análise da saúde das populações de peixes também permite avaliar o impacto da usina na biodiversidade aquática e nos organismos que dependem do arroio como habitat.

### **1.3. AMBIENTE TERRESTRE**

*Monitoramento da Vegetação Campestre:* A vegetação campestre do bioma Pampa no entorno da usina é um importante componente do ecossistema, refletindo a saúde ambiental da região. O monitoramento da vegetação visa examinar a composição florística e a estrutura das comunidades, mediante o emprego de parâmetros fitossociológicos; identificar a presença de espécies em extinção, de espécies exóticas e de espécies exóticas invasoras. O estudo também avalia como mudanças na vegetação podem ser afetadas pelo microclima local, pelos diferentes usos do solo, por espécies invasoras e por atividades relacionadas à Usina Termelétrica de Candiota.

*Estudo da Avifauna:* A avifauna local, que inclui diversas espécies de aves, é particularmente sensível à poluição atmosférica, como a emissão de partículas e gases da chaminé da usina. O estudo da avifauna no entorno da usina busca monitorar a diversidade e abundância das espécies, assim como identificar sinais de “stress” ambiental, como mudanças nos padrões migratórios ou na saúde das aves, indicativos da qualidade do ar e do ambiente.

*Estudo da Herpetofauna* (Répteis e Anfíbios): Os répteis e anfíbios, como espécies bioindicadoras, são extremamente sensíveis às mudanças no ambiente, principalmente devido à contaminação/poluição do solo e da água. O estudo da herpetofauna avalia as populações locais de répteis e anfíbios, buscando evidências de impactos causados pela emissão de contaminantes/poluentes, como flúor, metais pesados ou particulados, que podem afetar tanto o habitat quanto a saúde desses animais.

*Biomonitoramento da Qualidade do Ar -Flora (Monitoramento Passivo e Ativo):* As emissões atmosféricas produzidas pelas diversas atividades antrópicas na região de Candiota incluindo a

termelétrica são fonte de elementos inorgânicos metálicos e metaloides (enxofre) para a atmosfera. Em geral o corpo receptor primário é a vegetação, campestre ou florestal (biomonitoramento passivo), assim como espécies previamente expostas no local com a finalidade de avaliar a acumulação desses elementos (biomonitoramento ativo). Porém os elementos inorgânicos podem se depositar sobre o solo ou percolar esse até atingir águas subterrâneas ou corpos hídricos superficiais. A contaminação ambiental pode persistir por longo período, a via de entrada nas plantas pode ser tanto pela absorção pelas raízes de poluentes acumulados no solo ou por sua ressuspensão e subsequente deposição sobre a superfície foliar. A avaliação dos teores acumulados pelas plantas é essencial para identificar a presença de contaminantes no ar e no solo e monitorar o impacto de contaminantes/poluentes atmosféricos, como os metais, sobre a vegetação local e aquela exposta.

*Avaliação da Pecuária e Impactos dos Contaminantes/Poluentes:* A pecuária, um dos principais usos do solo na região, pode ser afetada pelas emissões de contaminantes/poluentes, como flúor e particulados. A avaliação da saúde dos animais, com destaque para a análise das alterações dentárias, visa identificar possíveis danos causados pela ingestão de substâncias tóxicas provenientes da usina. Além disso, o estudo da qualidade do solo e da vegetação pastoril na região procura determinar a presença de contaminantes, como o flúor, que possam vir a afetar a saúde dos animais e a produtividade agropecuária.

## CONCLUSÕES – AMBIENTE AQUÁTICO

### 2. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DO AMBIENTE AQUÁTICO

#### 2.3. MONITORAMENTO DA ÁGUA SUPERFICIAL

Responsabilidade técnica: Nelson Augusto Flores Machado - CREA N° 48595

#### Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Candiota e Ensaios de Ecotoxicidade:

A área monitorada neste programa, e que está relatada neste documento, compreende oito estações amostrais distribuídas de uma forma a investigar o estado de qualidade ambiental e da água da bacia hidrográfica do arroio Candiota, pelo período de um ano. Na descrição das estações amostrais escolhidas é relacionado cada um dos usos do solo que podem influenciar esta qualidade final. Estes usos estão relacionados principalmente à lavoura de soja, pecuária, cultivo de eucalipto, mineração de carvão, fábrica de cimento, esgoto doméstico, industrial e hospitalar, entre outros.

São assim descritas cada uma das estações amostrais deste programa:

- Na estação de referência P1 - que está localizada à montante da BR 293, entre esta e a linha férrea, onde se observa ainda a montante, agricultura e pecuária e a jusante, a mina de carvão Seival, utilizada para abastecer a Pampa Sul;
- Na estação P2 – localizada a montante da usina termelétrica, existe ali a influência da Barragem I, da Barragem Velha e de um Wetland que recebe o esgoto da vila. Com o aumento das chuvas, esse ambiente verte suas águas no arroio Candiota. Esta estação visa avaliar todas as atividades desenvolvidas à montante da contribuição dos efluentes hídricos da Usina;
- Na estação P3 - Estação à montante do deságue no Arroio Candiota, localizada no arroio Candioteira, com área de drenagem ocupada intensamente por plantio de eucaliptos e com a presença da planta de produção de cimentos Votorantim, à beira da BR. Visa avaliar as atividades das indústrias cimenteiras no corpo receptor, além do cultivo de eucalipto;

- Na estação P4 - Estação à jusante do deságue do esgoto da usina, localizada no arroio Candiota, visando avaliar as atividades desenvolvidas à montante e a jusante da contribuição dos efluentes hídricos da Usina;
- Na estação P5 - Estação localizada no arroio Candiota, à jusante do deságue do Arroio Candioteira, cuja matriz predominante é a agrícola, com o cultivo da soja e do eucalipto e à jusante do deságue do efluente final líquido da Usina;
- Na estação P6 - Estação localizada no Arroio Poacá, após a confluência da Sanga da Carvoeira, visando avaliar as atividades de mineração de carvão no corpo receptor;
- Na estação P7 - Estação localizada após a foz do Arroio Poacá, no arroio Candiota, à jusante de todas as fontes consideradas potencialmente geradoras de impactos ambientais;
- Na estação P8 - Estação amostral acrescentada por solicitação expressa em relato interpretativo do IBAMA – localizada logo após o lançamento do efluente tratado da termelétrica no arroio sem nome, que deságua posteriormente no arroio Candiota.

Os dados físicos, químicos e biológicos levantados no período de primavera de 2023 ao inverno de 2024 mostraram, de uma forma geral, que os locais à montante do despejo dos efluentes finais líquidos da usina termelétrica de Candiota apresentaram melhores condições ambientais.

Metais como arsênio total, cádmio total, cobre dissolvido, chumbo total, cromo total e mercúrio total não foram detectados nas análises químicas realizadas com as amostras coletadas nas diferentes estações de amostragem na bacia hidrográfica do arroio Candiota. Já o alumínio dissolvido, ferro dissolvido, manganês total e o níquel total foram os metais importantes.

Alumínio e ferro dissolvidos foram detectados em concentrações maiores do que aquelas que classificariam as estações amostrais como de classe 2, em todas as épocas exceto em um ou outro local, assim como o manganês total e o níquel. O manganês total classificou em dezembro de 2023 as estações amostrais P1, P6 e P8 como classe 3. O mesmo ocorreu em fevereiro de 2024, sendo P1, P5, P6 e P7. Em junho e em setembro de 2024, P1, P6 e P8. P6 foi a estação amostral com os mais altos valores de manganês nos 4 meses analisados. O níquel total foi detectado apenas na estação P6 em fevereiro, junho e setembro de 2024, classificando-a como classe 4.

As demais variáveis destacadas e que apresentaram diferenças entre os locais foram o fósforo total, oxigênio dissolvido, pH, coliformes termotolerantes, fenóis, surfactantes, sólidos dissolvidos e a condutividade elétrica da água.

Para o fósforo total, os meses de pior qualidade foram dezembro de 2023 nas estações amostrais P2, P6, P7 e P8, fevereiro de 2024, para a P8 e setembro de 2024 para a P2. A P2 recebe a contribuição das barragens e do banhado onde é despejado o esgoto da vila, que no período chuvoso, drena seu conteúdo para o sistema. Os demais locais recebem diversas contribuições, além da pecuária, agricultura e outros usos do solo.

Já em dezembro de 2023, os teores do oxigênio dissolvido que classificou as estações P5 e P8 como classe 3, pode estar relacionado ao aumento da pluviosidade e com os altos volumes de água nos arroios do sistema, carregando substâncias orgânicas para o mesmo, além do aumento na temperatura influenciando o metabolismo do ecossistema.

Os valores de pH ácido foram observados nas estações amostrais P1 e P5 (dezembro de 2023 – classe 4) e P6 (fevereiro, junho e setembro de 2024 – classe 4).

Para os coliformes termotolerantes, dezembro de 2023 foi o mês de mais altos valores, sendo a estação P8 com o maior número deles, seguido das estações P1, P5 e P7 classificadas como classe 3 ou 4. O aumento das chuvas em dezembro de 2023 pode ter influenciado estes valores, uma vez que os esgotos podem ser carregados para os corpos hídricos.

Fenóis totais foram detectados apenas na estação amostral P7 em dezembro de 2023 e depois em fevereiro nas estações P4 e P7, novamente. Em junho de 2024 ocorreu nas estações P3, P5, P7 e P8. Já os surfactantes foram detectados somente em dezembro de 2023, nas estações amostrais P5, P7 e P8.

Os sólidos dissolvidos classificaram apenas o ponto P6 como de classe 4 em fevereiro de 2024.

Outros parâmetros, além daqueles específicos para o enquadramento dos recursos hídricos estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, como a condutividade elétrica da água, apresentaram valores maiores novamente em todas as amostragens na estação P6, como já observado nos períodos de monitoramentos anteriores. Já na estação P8, que representa o efluente final líquido na usina no sistema, os valores também foram elevados, porém não influenciaram as estações amostrais em sequência no corpo hídrico, uma vez que P5 e P7 apresentaram valores menores.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) mostrou dezembro de 2023 como o mês de pior qualidade, com as estações amostrais P1, P6 e P8 como de qualidade aceitável. Os demais locais e meses foram classificados como de boa qualidade. Já o índice de preservação das comunidades aquáticas trouxe a estação P6 classificada como de qualidade ruim em todos os

meses, por apresentar, por vezes, toxicidade aguda ou crônica e pelo pH ácido, que normalmente se observa neste local.

No que se refere à toxicidade das águas superficiais no período, os dados demonstram que nas campanhas de dezembro/2023 a setembro/2024 a estação amostral EA 6, que sofre uma influência direta das atividades de mineração de carvão no corpo receptor, manteve sua característica histórica como a estação amostral onde se observa toxicidade com maior frequência. A estação amostral EA 8, que sofre uma influência do efluente da Usina Termelétrica de Candiota, ampliou a frequência de campanhas com amostras com toxicidade, apresentando toxicidade crônica para algas nas campanhas de verão, outono e inverno. Historicamente a EA 8 apresentou toxicidade em 28% das campanhas, sendo a segunda estação amostral em frequência e intensidade de toxicidade. A exceção da EA 4 todas as estações amostrais apresentaram alguma toxicidade nas campanhas de dezembro/2023 a setembro/2024, mesmo aquelas que, historicamente, apresentavam pouco ou nenhuma toxicidade.

Em todas as épocas, há uma alternância entre os locais com melhor qualidade. Na primavera e no verão, P3 e P5 foram os locais de melhor qualidade, no outono e no inverno foram as estações P1 e P2. Já as estações amostrais que são consideravelmente diferentes da estação de referência P1, são P6 e P8, que apresentam valores de ARTR superiores a esta, configurando pior qualidade ambiental. No outono, que se caracterizou pelas enchentes que ocorreram no RS, estas estações apresentaram os maiores valores, considerando esta época como a de mais baixa qualidade ambiental para estes locais, entre os períodos estudados. Esta redução da qualidade ambiental também pode ser observada nos resultados dos ensaios de ecotoxicidade, com um aumento do número de amostras com toxicidade na campanha de outono.

Ainda em relação ao parâmetro toxicidade, para o enquadramento dos corpos hídricos monitorados na Classe 2 da Resolução CONAMA 375/2005, se faz necessário a ausência de toxicidade crônica nos pontos amostrados. Nas campanhas realizadas de dezembro/2023 a setembro/2024 esta condição não foi atendida para a AE 1 (outono), a AE 2 (outono), AE 3 (outono), AE 5 (verão e inverno), AE 6 (primavera, verão, outono e inverno), a AE 7 (outono e inverno) e AE 8 (verão, outono e inverno).

## 2.4. MONITORAMENTO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA

Responsabilidade técnica: Dr. Fábio Herbert Jones – CREA RS241891

### Qualidade das Águas Subterrâneas em Poços Tubulares Rasos:

Em uma análise geral da qualidade da água subterrânea, o ponto PM-3, assim como nos últimos anos amostrais, permanece sendo o poço com as melhores condições de qualidade de água (apesar de estar localizado na área das bacias de decantação). O ponto PM-5 ficou com o pior desempenho anual. Esse ponto fica localizado em área de influência urbana, próximo ao almoxarifado. Isso demonstra que a água subterrânea sofre influências negativas na sua qualidade, provavelmente oriundas de esgotamento urbano, indicados pelos altos índices de coliformes e fósforo.

O índice geral de qualidade relativa das águas subterrâneas (IQAS) das áreas monitoradas indica uma piora da qualidade da água nos períodos de verão (C2) e inverno (C4), e um quadro mais ameno para a primavera (C1) e outono (C3). Essas variações podem ter relação com as diferenças meteorológicas de precipitação e temperatura ao decorrer do ano, contudo o comportamento hídrico dos poços apresenta diferenças nos padrões do nível estático entre eles. No ano de 2023/2024, os poços com as piores condições de qualidade da água foram o PM-5 e PM-19 apresentando a maioria dos parâmetros estudados com altos índices de contaminação, principalmente as variáveis de coliformes, fósforo e turbidez. As melhores condições de qualidade da água subterrânea foram encontradas nos poços PM-3 e PM-7. Esses poços mantiveram o seu enquadramento em relação ao ano de 2021/2022 e de 2022/2023. Ao contrário da campanha do ano 2022/2023, o poço PM-19 obteve significativa queda na sua qualidade, retomando as condições negativas como do ano de 2021/2022. O poço PM-6, que antecede a usina em relação ao fluxo da água subterrânea (tendo como função de poço “branco” para identificar possíveis entradas de contaminação oriundas de outras fontes), obteve uma relativa melhora na qualidade com relação ao ano de 2022/2023.

Analisando a contaminação por coliformes termotolerantes, assim como em anos anteriores, ela esteve presente em diversos poços em todas as campanhas amostrais e manteve uma frequência superior a 50% dos poços (principalmente nas áreas do Almoxarifado e Candiota 1). Apesar de ser o poço com os melhores índices gerais de qualidade, o PM-3 foi o único que obteve valores de condutividade acima do limite (500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) em todas as campanhas

amostrais. Essa condutividade no PM-3 pode estar sendo influenciada por compostos que contêm fósforo. Isso pode ser observado nos gráficos de condutividade elétrica e fósforo total que possuem seus picos nesse ponto no verão (C2). O mesmo pode ser observado para o PM-10 durante o outono (C3). Apesar dos íons de ferro e manganês tradicionalmente aumentarem a condutividade elétrica, eles não são responsáveis diretos nesses casos da usina. O PM-3 também foi o único poço que apresentou óleos e graxas acima da legislação durante a estação de verão. A cor e a turbidez, tradicionalmente, extrapolaram os seus limites legislativos em quase todos os pontos amostrais em pelo menos alguma das campanhas. A cor e a turbidez não possuem um regente claro e direto nas suas correlações das variáveis medidas, podendo ser influenciadas por multivariáveis (inclusive por variáveis não estudadas neste projeto). Assim como nos últimos anos, o fósforo total apresentou índices acima dos limites para o consumo humano em vários pontos amostrais, apontando um índice geral ruim para o parâmetro que tem fortes relações com esgotos domésticos e processos agrícolas. Os valores encontrados para DQO foram menores que os do ano de 2022/2023 e os piores resultados (PM-4 e PM-10) não ultrapassaram os  $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , e seus índices de percentual biodegradável são bastante baixos, sugerindo uma contaminação predominante de origem industrial. Em relação ao pH, o alerta fica apenas para o poço PM-10 que apresentou valores bem próximos de 4, acentuando um caráter mais ácido que o habitual para o local.

As variáveis de metais totais que apresentaram em suas medidas valores acima do limite para alguns poços foram alumínio, ferro, manganês e níquel. E os valores das variáveis de metais dissolvidos que ultrapassaram os limites foram: alumínio, ferro, manganês, níquel e zinco. Os metais dissolvidos de Al, Fe e Mn são esporadicamente um problema em alguns poços em que atingem medidas muito elevadas em relação aos limites estabelecidos pela legislação, contudo não possuem um caráter tóxico, mas sim estético (ANZECC, 2011). Apesar da frequência do níquel ter diminuído em relação ao ano de 2020/2021, os valores obtiveram picos de contração no ano de 2023/2024. O poço PM-10 (localizado na área da usina, mas em uma relação de fluxo a jusante) teve os piores índices tanto para níquel total como dissolvido, e devido à toxicidade do metal também deve ser observado com atenção.

Em relação ao parâmetro toxicidade, considerando os resultados das análises das amostras de águas subterrâneas realizadas nos últimos oito anos, destacam-se os poços de monitoramento PM-4, PM-10 e PM-12. Os poços PM-4 e PM-12 apresentam os maiores valores do índice de toxicidade calculado, além das frequências mais altas de ocorrência de toxicidade. Já o PM 10, apesar de também apresentar uma média elevada no índice de toxicidade, possui

uma frequência de ocorrência relativamente menor ao longo de todo o período analisado. Esses poços de monitoramento estão localizados na área da usina, nas fases B e C.

Seguindo a tendência histórica dos dados, no período abordado neste relatório anual (dezembro de 2023 a setembro de 2024), os poços PM-4 e PM-12 mantiveram as mais altas frequências de ocorrência de toxicidade, registrando toxicidade em 100% das campanhas realizadas. Essa mesma frequência foi observada nos poços PM-1, PM-2, PM-3, PM-5, PM-10 e PM-16, evidenciando um aumento na toxicidade das águas subterrâneas neste último período de monitoramento. Com base nos percentuais de amostras com toxicidade em cada período avaliado, o intervalo de 2023 a 2024 apresentou um incremento de aproximadamente 50% no número de amostras tóxicas (76,6%) em relação ao período anterior, de 2022 a 2023, que registrou 50,0% de amostras com toxicidade.

Cruzando os dados de toxicidade com os químicos e físicos, as principais variáveis que podem estar influenciando esses níveis de toxicidade são o níquel e o pH. Os valores de níquel para o PM-10 foram bastante elevados em 2023/2024 em todas as campanhas amostrais. Segundo Deleebeek *et al.* (1995), a partir de concentrações de  $0,08 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  já é possível observar toxicidade do níquel para algas. O pH obteve valores próximos de 4 durante as campanhas de primavera, outono e inverno, o que corrobora pelo fato que no verão (com pH relativamente maior neste ano amostral) a toxicidade no PM-10 foi menor (apesar de ainda ser um nível elevado). Assim, os valores mais ácidos de pH podem estar aumentando a disponibilidade de níquel no local e tendo como consequência um ambiente mais tóxico para os organismos expostos no estudo de toxicidade.

A continuidade dos estudos e do monitoramento das águas subterrâneas é de grande importância para a região devido ao alto potencial de contaminação das águas relativo às atividades realizadas em seu entorno e aos diversos usos da bacia hidrográfica. Assim como sugerido em outros anos é interessante incluir as análises de Nitrogênio Total nas próximas campanhas de monitoramento, a fim de possibilitar o cálculo de índices de qualidade da água melhores.

## 2.5. MONITORAMENTO SEDIMENTOS

Responsabilidade técnica: Nelson Augusto Flores Machado - Registro CREA 48595.

### Qualidade dos Sedimentos Superficiais de Fundo e Ensaio de Ecotoxicidade:

#### **Causalidade e Associações Geoquímicas dos Metais**

Quando se analisa a presença de metais nos sedimentos superficiais da calha fluvial em uma bacia multifuncional, é importante associar esses metais às atividades humanas que ocorrem na bacia, pois elas podem ser fontes significativas de contaminação ou mobilização de metais. A seguir, relacionam-se os metais estudados com os diferentes usos na Bacia Hidrográfica do Arroio Candiota (B.H.A.C.):

Na Bacia Hidrográfica do Arroio Candiota, diversos usos do solo e atividades econômicas podem liberar metais pesados para o meio ambiente, principalmente para os sedimentos de fundo fluvial, afetando a qualidade da água e a biota aquática. Cada atividade contribui de maneira específica para a liberação desses metais. Abaixo, estão os diferentes usos da bacia que estão relacionados com a liberação dos metais estudados nos sedimentos:

#### **Mineração de carvão mineral:**

- **Metais liberados:** Pb, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn.
- **Mecanismo:** Durante a extração e o processamento do carvão, ocorrem reações de oxidação que liberam metais dos minerais associados ao carvão, como o arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn). O escoamento de águas pluviais nas áreas de mineração pode carregar esses metais para os corpos d'água.

#### **Usina termelétrica a carvão mineral:**

- **Metais liberados:** As, Hg, Cd, Pb, Cr, Fe.
- **Mecanismo:** Na queima do carvão mineral, ocorre a liberação de gases poluentes, como óxidos de metais pesados (Hg, Pb, Cd, As), que podem ser depositados nas águas através de precipitações atmosféricas. Além disso, resíduos sólidos da queima, como cinzas, podem conter metais pesados e ser dispersados pelo vento ou levados pela água das chuvas para o sistema fluvial.

**Mineração de mármore:**

- **Metais liberados:** Mn, Fe, Zn, Ca
- **Mecanismo:** O processo de extração de mármore envolve a remoção de grandes quantidades de material rochoso, o que pode liberar minerais contendo manganês (Mn), ferro (Fe) e zinco (Zn). A lavagem e o transporte de materiais também podem gerar escoamentos que carregam esses metais para os corpos d'água.
- **Ca (Cálcio):** Embora não tenha sido estudado diretamente, mas sim indiretamente Através das medidas de pH nos sedimentos e das águas superficiais. O cálcio é um elemento abundante em mármore e pode estar presente nos sedimentos, influenciando as medidas de pH, não somente dos sedimentos, mas das águas superficiais. O mármore é principalmente composto de carbonato de cálcio. Embora o cálcio não tenha sido especificamente estudado, ele é uma substância prevalente na mineração de mármore e pode afetar os sedimentos devido à sua alta solubilidade em água, o que pode alterar a química do solo e das águas fluviais, podendo influenciar na mobilidade dos metais

**Cimenteiras:**

- **Metais liberados:** Cr, Pb, Zn, Fe.
- **Mecanismo:** A produção de cimento envolve a queima de matérias-primas como calcário, argila e outros minerais. As altas temperaturas podem liberar metais pesados como cromo (Cr), chumbo (Pb), zinco (Zn) e ferro (Fe), que podem ser transportados para os corpos d'água pela dispersão atmosférica e pelas águas de drenagem da planta.

**Pecuária extensiva:**

- **Metais liberados:** Cu, Zn.
- **Mecanismo:** O uso de medicamentos veterinários e fertilizantes ricos em cobre (Cu) e zinco (Zn) nas pastagens pode levar ao acúmulo desses metais no solo. O escoamento da água das chuvas pode carregar esses metais para os rios e arroios, especialmente em áreas de pastejo intensivo.

**Lavouras de arroz, soja e fruticultura:**

- **Metais liberados:** As, Cd, Pb, Zn, Cu.
- **Mecanismo:** O uso de pesticidas, fertilizantes e outros agroquímicos nas lavouras pode introduzir metais pesados como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), zinco (Zn) e cobre (Cu) no ambiente. A irrigação e o escoamento das lavouras podem transportar esses elementos para os corpos d'água.

**Florestamento:**

- **Metais liberados:** Mn, Zn.
- **Mecanismo:** Embora o florestamento como o plantio de eucalipto, acácia, por exemplo, tenha impactos menores no lançamento de metais, os solos alterados para esse fim podem conter concentrações de manganês (Mn) e zinco (Zn), que podem ser liberados no escoamento superficial.

**Infraestrutura rodoviária (estradas e urbanização):**

- **Metais liberados:** Pb, Cu, Zn, Cd.
- **Mecanismo:** O tráfego rodoviário e a urbanização contribuem com metais pesados provenientes de veículos (como chumbo [Pb], cobre [Cu] e zinco [Zn] das pastilhas de freio e pneus) e da deposição de poluentes atmosféricos. A chuva pode lavar esses poluentes para os corpos d'água. Além disso, a pavimentação e construção de infraestrutura podem alterar o fluxo da água e aumentar a erosão, carregando mais metais para os rios.

Os metais e suas fontes no arroio Candiota:

- Arsênio (As): Mineração de carvão, usina termelétrica.
- Cádmiio (Cd): Mineração de carvão, agroquímicos, usina termelétrica.
- Chumbo (Pb): Usina termelétrica, tráfego rodoviário, cimenteiras.
- Cromo (Cr): Mineração de carvão, cimenteiras.
- Cobre (Cu): Pecuária, agricultura, tráfego rodoviário.
- Ferro (Fe): Mineração de carvão, cimenteiras.
- Mercúrio (Hg): Usina termelétrica.
- Manganês (Mn): Mineração de mármore, florestamento.
- Níquel (Ni): Mineração de carvão.
- Zinco (Zn): Mineração de mármore, cimenteiras, pecuária, agricultura.

Cada atividade tem um impacto específico sobre os metais pesados presentes nos sedimentos fluviais da bacia, sendo que a combinação dessas atividades pode resultar em contaminação crônica, afetando a saúde dos ecossistemas aquáticos e das comunidades humanas que dependem da água da bacia.

Os metais listados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn) podem ser originados de uma combinação de fontes associadas às atividades descritas na bacia. A mineração, o uso

de fertilizantes e pesticidas, as usinas térmicas, a urbanização e a infraestrutura rodoviária são algumas das atividades que contribuem significativamente para a presença desses metais nos sedimentos fluviais. Cada metal tem suas fontes e formas de mobilização específicas, com impactos variáveis sobre o ambiente aquático e terrestre da bacia.

Nas associações entre os metais e os usos na bacia multifuncional do Candiota, seria necessário explorar como cada atividade humana impacta a qualidade dos sedimentos fluviais em termos de contaminação por metais em toda a bacia. Cada uso tem suas fontes específicas de contaminação, e os metais podem ser liberados para o ambiente de diversas maneiras. Veja a tabela 56 no volume I, a lista dos metais que lá estão. São os principais elementos liberados, em determinada atividade econômica na B.H.A.C., mas o fato de determinado metal não ter sido citado para determinada atividade não significa que não possa ser também liberado, ali estão as liberações mais importantes capazes de serem rastreadas.

A associação dos metais com os diversos usos na bacia é complexa, já foi escrito, cada atividade humana tem sua fonte específica de emissão ou liberação de metais para o ambiente aquático. As fontes incluem desde atividades de mineração, que liberam metais como arsênio e mercúrio, até práticas agrícolas e pecuárias, que envolvem o uso de pesticidas, fertilizantes e suplementos minerais. Cada metal possui características particulares, tanto em sua mobilidade quanto em sua toxicidade, e a interação entre as atividades humanas e os metais nos sedimentos fluviais exige um gerenciamento cuidadoso para minimizar os impactos ambientais e proteger os ecossistemas aquáticos e terrestres da bacia.

Os metais listados (Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn) estão sendo originados de uma combinação de fontes associadas às atividades descritas na bacia. A mineração, o uso de fertilizantes e pesticidas, a usina térmica, a urbanização e a infraestrutura rodoviária são algumas das atividades que contribuem significativamente para a presença desses metais nos sedimentos fluviais.

Devido a isto as relações de causalidades são muito complexas, ao estabelecer, por exemplo a estação amostral 8, como o lançamento do efluente líquido, tratado, da Usina Termelétrica Candiota, neste estudo é tratado como responsabilidade deste uso, mas o entorno e as cabeceiras dos arroios que contribuem com a água da estação de tratamento, são também afetados com outros usos da bacia, portanto as relações de causalidades são de extrema complexidade de estabelecer. Segue-se tratando os resultados da estação 8 como sendo exclusivamente produto do lançamento do efluente tratado da Usina Termelétrica de Candiota, sendo restritivo.

Para estabelecer uma relação de causalidade entre os metais encontrados nos sedimentos fluviais do arroio Candiota, e os usos desta bacia multifuncional, é preciso adotar uma abordagem científica que leve em consideração tanto as fontes de contaminação quanto os processos que favorecem a liberação e a mobilização desses metais no ambiente. Isso envolve realizar investigações detalhadas e coletar dados em diversas frentes, com ênfase nas fontes de emissões (usos específicos), nos processos de transporte e nas condições ambientais que permitem a deposição nos sedimentos.

Para conhecer as relações de impactos ambientais, frente a esta complexidade, de maneira claramente estabelecida, dados pretéritos à instalação dos empreendimentos, dos usos, da bacia teriam que ser conhecidos e não são!

As associações entre elementos químicos na geociência são fundamentais para a compreensão das interações naturais e antropogênicas que moldam o ambiente. A geoquímica multielementar, permite a identificação de características químicas semelhantes, influenciadas tanto por processos geológicos naturais quanto por atividades humanas. Esses elementos, quando analisados em conjunto, revelam padrões que podem indicar a presença de recursos minerais, a qualidade do solo e até mesmo a saúde ambiental das regiões estudadas. Por exemplo, a associação de metais como chumbo, cádmio e arsênio em áreas urbanas pode estar correlacionada à poluição industrial e ao tráfego rodoviário, enquanto a presença de elementos como manganês e ferro pode indicar processos de intemperismo natural em solos mais antigos.

A abundância dos elementos químicos nos sedimentos exógenos é um aspecto importante para entender as dinâmicas geoquímicas e suas implicações ambientais. Os sedimentos exógenos são formados a partir da meteorização de rochas e da erosão, sendo transportados por processos naturais, como a água e o vento. Esses processos resultam em uma mistura de partículas que podem variar amplamente em composição química, dependendo das fontes originais dos materiais e das condições ambientais. Considerando que as fontes originais são parte de rochas mais antigas de áreas magmáticas e metamórficas e os estratos da bacia do Paraná, em especial estes apresentam, carvão mineral aflorantes, torna mais complexa ainda as associações destes elementos químicos.

As respostas geoquímicas do ambiente são, primordialmente, moldadas por processos naturais, como os geológicos, pedológicos, climáticos e biológicos. Esses fatores formam a base sobre a qual se desenvolvem as características geoquímicas do meio. Contudo, à medida que a atividade humana se insere nesse contexto, ela assume um papel relevante, pois é capaz de modificar substancialmente o ambiente geoquímico. Isso ocorre principalmente devido às

alterações provocadas pelas concentrações urbanas, pelas práticas industriais e pelas atividades agrícolas, que podem alterar as concentrações e os fluxos de elementos e compostos químicos no ambiente.

Em condições naturais, os elementos químicos se agrupam segundo regras de comportamento e afinidade, o que possibilita prever a presença de um elemento quando detectamos outro com o qual ele tenha afinidade geoquímica.

No entanto, esse conceito, amplamente utilizado e aplicado em situações naturais, enfrenta sérias limitações quando os processos geoquímicos são afetados pela intervenção humana.

Na tecnosfera, é possível que ocorram associações elementares inesperadas, e até ilógicas, já que esses relacionamentos não seguem as regras geoquímicas, aquelas estabelecidas por Goldschmidt.

A associação geoquímica entre certos elementos, pode não parecer razoável quando se consideram apenas as variáveis naturais. No entanto, ao adicionar uma variável antropogênica, como o uso de produtos ou materiais com características geológicas específicas, essa relação pode passar a fazer sentido.

### **Uso de Multi-Índices**

A eficácia dos resultados obtidos por meio da aplicação de índices de poluição depende diretamente da qualidade dos dados coletados durante a análise dos elementos químicos na matriz em questão. Para avaliar a contaminação e o risco ecológico de um ecossistema, foram utilizados tanto índices específicos quanto integrados de contaminação/poluição, sendo, no entanto, essencial considerar uma série de outros fatores, como o desenvolvimento industrial e agrícola, as condições climáticas, o tratamento de esgoto, além do tráfego terrestre da região em análise.

Embora esses índices sejam amplamente usados e reconhecidos, há situações em que sua aplicação encontra desafios, especialmente em relação a alguns aspectos.

O problema surge quando se constata que o valor de nível de base é desconhecido para Candiota. Nesse caso, recorreu-se ao uso do valor de nível de base encontrado na literatura da geologia tradicional, para a crosta terrestre, para os sedimentos pré-industriais, para o Clarke geoquímico e para a composição média dos folhelhos para realizar os cálculos necessários.

Ao calcular o Índice de Geoacumulação e o Fator de Enriquecimento para um determinado metal nos sedimentos, é necessário conhecer o valor de nível de base desse metal

na área estudada. No entanto, não sendo este valor conhecido para Candiota, onde há naturalmente estratos de carvão mineral aflorantes. Este cenário conduz a necessidade de adotar o valor de nível de base dado pela geologia ortodoxa, tabela 2 do volume 1, o que pode resultar em conclusões imprecisas, como falsos negativos, ou falsos positivos.

Além desses níveis de base usados foram usadas as diretrizes básicas da qualidade dos sedimentos (SQGs), estabelecendo-se estes dois conjuntos de níveis de base, além desses se estabeleceu a estação amostral 1 como local de referência. Os valores de SQGs limites que quando ultrapassados informam possíveis danos provocados aos organismos vivos na bacia, Estes limites representados por concentrações amplamente testadas em laboratório, e apresentados na literatura internacional.

O Fator de Contaminação é uma ferramenta que permitiu estimar o nível de contaminação por um ou mais elementos químicos presentes na área do entorno da Usina termelétrica Candiota.

Porque então não usar somente os SQGs. Já que estes apontam o dano ambiental?

Foram utilizados juntamente com os backgrounds da geologia tradicional para ampliar o leque de compreensão sobre a presença dos metais nos sedimentos superficiais de fundo da calha fluvial do arroio Candiota e aumentar a rastreabilidade dos dados produzidos.

### **Fator de Enriquecimento**

As tabelas transformadas em classificações nominais, com base no fator de contaminação, são aquelas do **volume I, tabelas 22 até 29**, para efeito conclusivo optou-se usando o critério mais restritivo, por apresentar como conclusão, o fator de enriquecimento relacionado aos níveis de base da crosta terrestre para os elementos químicos do estudo, sendo o alumínio o elemento químico normalizador apresenta-se a **Tabela 1**, estes foram os valores mais restritivos encontrados.

**Tabela 1** - Utilizado como nível de base as concentrações médias para a crosta terrestre e o alumínio como elemento normalizador.

Crosta-Alumínio	Primavera	1BI	2BI	3BI	4BI	5BI	6BI	7BI	8BI
EF Crosta	As	Extremo	Signif	Signif	Signif	Mod	Signif	Mod	Extremo
EF Crosta	Cd	Mod	Min	Signif	Signif	Min	Extremo	Mod	Mod
EF Crosta	Pb	Min	Min	Mod	Extremo	Mod	Min	Signif	Min
EF Crosta	Cu	Mod	Min	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod
EF Crosta	Cr	Min	Min	Min	Mod	Min	Min	Min	Min
EF Crosta	Fe	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif
EF Crosta	Mn	MtoAlt	Signif	MtoAlt	MtoAlt	Signif	Mod	MtoAlt	Signif
EF Crosta	Hg	Signif	Signif	Extremo	MtoAlt	Signif	MtoAlt	Signif	Signif
EF Crosta	Ni	Min	Min	Min	Mod	Mod	Mod	Mod	Min
EF Crosta	Zn	Signif	Signif	Signif	MtoAlt	Signif	Signif	Signif	MtoAlt
Crosta-Alumínio	Verão	1BJ	2BJ	3BJ	4BJ	5BJ	6BJ	7BJ	8BJ
EF Crosta	As	Mod	Mod	Mod	Signif	Signif	Min	Signif	Mod
EF Crosta	Cd	Mod	Mod	Signif	Signif	Signif	Mod	Signif	Mod
EF Crosta	Pb	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	MtoAlt
EF Crosta	Cu	Min	Min	Mod	Mod	Signif	Mod	Signif	Mod
EF Crosta	Cr	Min	Min	Min	Mod	Mod	Min	Mod	Min
EF Crosta	Fe	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif
EF Crosta	Mn	Signif	Signif	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt
EF Crosta	Hg	MtoAlt	Signif	MtoAlt	MtoAlt	Extremo	MtoAlt	Extremo	Signif
EF Crosta	Ni	Mod	Min	Mod	Mod	Signif	Mod	Signif	Min
EF Crosta	Zn	Signif	Signif	Signif	MtoAlt	Signif	Signif	Signif	Signif
Crosta-Alumínio	Outono	1BK	2BK	3BK	4BK	5BK	6BK	7BK	8BK
EF Crosta	As	Signif	Min	Signif	Mod	Signif	Signif	Signif	Mod
EF Crosta	Cd	Signif	Min	Signif	Mod	Signif	Signif	Signif	Signif
EF Crosta	Pb	Mod	Min	Mod	Min	Signif	Mod	Mod	Mod
EF Crosta	Cu	Min	Min	Min	Min	Min	Min	Mod	Min
EF Crosta	Cr	Min	Min	Min	Mod	Min	Min	Min	Min
EF Crosta	Fe	Signif	Mod	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif
EF Crosta	Mn	MtoAlt	Signif	Signif	Signif	MtoAlt	Signif	Signif	Signif
EF Crosta	Hg	Extremo	Signif	Extremo	MtoAlt	Extremo	Extremo	Extremo	MtoAlt
EF Crosta	Ni	Min	Min	Min	Mod	Mod	Mod	Signif	Min
EF Crosta	Zn	Signif	Signif	Min	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif
Crosta-Alumínio	Inverno	1BL	2BL	3BL	4BL	5BL	6BL	7BL	8BL
EF Crosta	As	Extremo	Mod	Signif	MtoAlt	Extremo	Extremo	Extremo	Extremo
EF Crosta	Cd	Signif	Min	Signif	Mod	Signif	Signif	Mod	Mod
EF Crosta	Pb	Signif	Min	Signif	Signif	MtoAlt	Signif	Signif	MtoAlt
EF Crosta	Cu	Min	Min	Min	Mod	Min	Min	Min	Signif
EF Crosta	Cr	Signif	Min	Mod	Mod	Mod	Min	Min	Min
EF Crosta	Fe	Signif	Min	Signif	Signif	Signif	Signif	Mod	Signif
EF Crosta	Mn	Signif	Signif	Signif	Extremo	Signif	Mod	Signif	Signif
EF Crosta	Hg	Extremo	Signif	Extremo	Extremo	Extremo	Extremo	Extremo	MtoAlt
EF Crosta	Ni	Mod	Min	Min	Mod	Mod	Mod	Min	Min
EF Crosta	Zn	Signif	Min	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif	Signif

Nas Tabelas 22 a 29 do volume I apresentam outras comparações a partir do cálculo do fator de contaminação, usando as concentrações das crostas, dos sedimentos pré-industriais, do Clarke geoquímico e dos folhelhos, usando o alumínio e o ferro, em separado para as comparações, como fatores normalizadores, os leitores interessados poderão verificar os resultados destes cálculos.

Um problema metodológico associado à correta avaliação da contaminação dos sedimentos é a identificação de valores de referência para condições de sedimentos não contaminados ou limites que determinem um “treshhold” para a contaminação, uma vez que todos métodos de avaliação quantitativa se baseiam em valores de referência de concentrações de nível de base, (“background”).

Para resolver tal questão foram utilizadas as linhas guias da qualidade dos sedimentos que foram definidos com base nos efeitos biológicos observados em organismos bentônicos e pelágicos frente às concentrações de contaminantes medidas no sedimento, e então estabelecidos, os “benchmarks” aceitos internacionalmente como referenciais importantes neste tipo de estudos.

Portanto, o uso dos “benchmarks” foi utilizado para efeito de tornar os dados rastreáveis, as quatro concepções principais:

- TEC (Treshhold Effect Contamination); PEC (Probable Effect Contaminantion), McDonald 2000;

- LEL (Low Effect Level); SEL (severe Effect Level), Persaud 1993;

- ERL (Effect Range Low); ERM (Effect Range Median) estabelecidos por NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration; Long et al. (1990).

- TEL (Treshhold Effects Levels), PEL (Probable Effect Contamination), MacDonald et al. (1996), Smith et al. (1996), USEPA (1996).

O primeiro termo de cada concepção é o “treshhold” (TEC; LEL; ERL; TEL), isto é o valor limiar, que determina que acima deste referencial, representado por um determinado valor dado pela concepção, produto de muitos estudos, algum tipo de prejuízo os organismos vivos irão sofrer.

A análise e interpretação dos resultados neste programa de monitoramento foi estabelecida como a mais restritiva possível, até para alertar ao gestor quando os valores de “treshhold” são ultrapassados, para cada uma das quatro concepções, aqui utilizadas beneficiando o rastreamento dos resultados frente o que se pratica no mundo.

O CONAMA utiliza a concepção TEL-PEL, resolução 454. No entanto neste documento utilizam-se as quatro concepções mais aceitas internacionalmente buscando a maior rastreabilidade possível como subsídio aos gestores.

O uso dos valores de referência em combinação com toxicidade, é uma abordagem diferente para avaliar a contaminação dos sedimentos, Resolução do CONAMA 454,

Os valores referenciais podem dar origem a uma sensação enganosa de certeza, conhecimento e confiança, o que pode levar a relutância por parte dos usuários em aplicá-los a riscos específicos das avaliações dos locais, no entanto, uma abordagem combinada, usando valores de diretrizes para simplificar as etapas preliminares da tomada de decisão e especificar avaliação de risco para obter ajustes nas fases posteriores de uma investigação, é geralmente considerado o mais apropriado.

Apresenta-se como conclusão o Grau de contaminação calculado para os sedimentos superficiais da calha fluvial do arroio Candiota, utilizando os níveis de base gerados nas diretrizes básicas para a qualidade dos sedimentos (SQGs). TEC (Treshold Effect Contamination); LEL (Low Effect Level); ERL (Effect Range Low) e TEL (Treshold Effects Levels). As classes nominais são referenciadas aos valores numéricos e as cores da **tabela 31, volume I**. Para ser mais restritivos foram usados os SQGs como níveis de base e o resultado está na **Tabela 2**. No **volume I**, o leitor poderá ampliar mais ainda a compreensão sobre a presença destes metais nos sedimentos do arroio Candiota e as contaminações a eles associadas.

**Tabela 2** - Cálculo do índice de Grau de contaminação usando como níveis de base os SQGs;

Unidades Amostrais	TEC Cdeg	LEL Cdeg	ERL Cdeg	TEL Cdeg
1BI	MtoAlto	MtoAlto	Baixo	Mod
2BI	Mod	Mod	Baixo	Baixo
3BI	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4BI	Mod	Mod	Baixo	Baixo
5BI	MtoAlto	MtoAlto	Mod	Mod
6BI	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BI	Alto	Alto	Baixo	Baixo
8BI	Mod	Mod	Mod	Mod
1BJ	Mod	Mod	Baixo	Baixo
2BJ	Baixo	Mod	Baixo	Baixo
3BJ	Mod	Mod	Baixo	Baixo
4BJ	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
5BJ	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
6BJ	Mod	Mod	Baixo	Baixo
7BJ	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
8BJ	Alto	Alto	Baixo	Baixo

1BK	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2BK	Alto	Alto	Baixo	Baixo
3BK	0,367	0,395	Baixo	Baixo
4BK	Mod	Mod	Baixo	Baixo
5BK	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
6BK	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BK	Mod	Mod	Baixo	Baixo
8BK	Mod	Mod	Baixo	Baixo
1BL	Baixo	0,604	Baixo	Baixo
2BL	Mod	Mod	Baixo	Baixo
3BL	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4BL	MtoAlto	MtoAlto	Baixo	Mod
5BL	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
6BL	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BL	Mod	Mod	Baixo	Baixo
8BL	Alto	MtoAlto	Mod	Mod

Nas **tabelas 32 e tabela 33 no volume I**, consulte, apresenta-se o Grau de contaminação considerando além dos SQGs como nível de base, os valores para concentração da geologia tradicional: média para a crosta, para os sedimentos pré-industriais, para o Clarke geoquímico e para os folhelhos.

### Índice de NEMEROW

Este índice é detalhado no **volume I** e apresentado nas, **tabela 37 até tabela 40**, consulte. As classes nominais estão apresentadas no **volume I, tabela 36**, consulte.

Na **Tabela 3**, que é autoexplicativa, apresentam-se as classes nominais fornecidas pelo índice de Nemerow, e que classificam a contaminação em Moderada, Alta e Muito Alta.

**Tabela 3** - O índice de Nemerow foi aplicado e as respostas a partir dos dados de concentração dos metais e as respostas nominais estão apresentadas. A tabela é autoexplicativa.

<b>Primavera</b>	<b>IN Al</b>	<b>IN As</b>	<b>IN Cd</b>	<b>IN Pb</b>	<b>IN Cu</b>	<b>IN Cr</b>	<b>IN Fe</b>	<b>IN Mn</b>	<b>IN Hg</b>	<b>IN Ni</b>	<b>IN Zn</b>
<b>1BI</b>	Alta	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Alta	Alta	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>2BI</b>	Alta	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Mod	Alta	Mod	MtoAlt	Alta
<b>3BI</b>	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Alta	MtoAlt	MtoAlt
<b>4BI</b>	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlta	Mod	Alta	MtoAlt	Alta	MtoAlt	Alta
<b>5BI</b>	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Alta	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod
<b>6BI</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Alta	MtoAlt	Alta	MtoAlt	MtoAlt
<b>7BI</b>	Alta	MtoAlt	MtoAlt	Alta	Alta	MtoAlt	Alta	Mod	Mod	Mod	Alta
<b>8BI</b>	Alta	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Alta	Mod	Alta	MtoAlt	Mod	MtoAlt	Mod
<b>Verão</b>	<b>IN Al</b>	<b>IN As</b>	<b>IN Cd</b>	<b>IN Pb</b>	<b>IN Cu</b>	<b>IN Cr</b>	<b>IN Fe</b>	<b>IN Mn</b>	<b>IN Hg</b>	<b>IN Ni</b>	<b>IN Zn</b>
<b>1BJ</b>	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	Alta	Mod	Mod	Alta	Mod	Mod	MtoAlt
<b>2BJ</b>	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	Alta	Mod	Alta	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt
<b>3BJ</b>	Alta	Mod	Mod	MtoAlt	Alta	Mod	Alta	Alta	Mod	Mod	MtoAlt
<b>4BJ</b>	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Alta	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt
<b>5BJ</b>	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt	Alta	Alta	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt
<b>6BJ</b>	Alta	MtoAlt	Mod	MtoAlt	Alta	Mod	Mod	MtoAlt	Mod	Mod	Alta
<b>7BJ</b>	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt	Alta	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Mod	MtoAlt
<b>8BJ</b>	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Alta	Mod
<b>Outono</b>	<b>IN Al</b>	<b>IN As</b>	<b>IN Cd</b>	<b>IN Pb</b>	<b>IN Cu</b>	<b>IN Cr</b>	<b>IN Fe</b>	<b>IN Mn</b>	<b>IN Hg</b>	<b>IN Ni</b>	<b>IN Zn</b>
<b>1BK</b>	MtoAlt	Mod	Mod	Alta	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>2BK</b>	Mod	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod	Mod
<b>3BK</b>	MtoAlt	Alta	Alta	Alta	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Alta	MtoAlt	MtoAlt
<b>4BK</b>	MtoAlt	Alta	Alta	Alta	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	Alta	Alta	Mod
<b>5BK</b>	MtoAlt	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>6BK</b>	MtoAlt	Mod	Mod	Alta	MtoAlt	MtoAlt	Alta	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>7BK</b>	MtoAlt	Mod	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Alta	Mod	Mod	Alta
<b>8BK</b>	MtoAlt	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>Inverno</b>	<b>IN Al</b>	<b>IN As</b>	<b>IN Cd</b>	<b>IN Pb</b>	<b>IN Cu</b>	<b>IN Cr</b>	<b>IN Fe</b>	<b>IN Mn</b>	<b>IN Hg</b>	<b>IN Ni</b>	<b>IN Zn</b>
<b>1BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>2BL</b>	Mod	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Alta	MtoAlt
<b>3BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>4BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Alta	MtoAlt	Alta	Alta	Mod	Mod	Mod	Mod
<b>5BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>6BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	Alta	MtoAlt
<b>7BL</b>	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	MtoAlt	Mod	MtoAlt	MtoAlt
<b>8BL</b>	Alta	Mod	Mod	Mod	Mod	MtoAlt	Mod	4,78	Mod	Mod	Mod

## **Índice de Risco Ecológico (PERI)**

O Índice de Risco PERI (Probabilidade de Efeito de Metais em Sedimentos) é outra das muitas ferramentas utilizadas nas análises dos sedimentos do arroio Candiota, para avaliar o risco ambiental associado à presença de metais. Este índice combina informações sobre a concentração de metais nos sedimentos e os efeitos tóxicos potenciais desses elementos sobre organismos aquáticos.

A presença de metais pesados, como mercúrio, chumbo, cádmio, cobre e zinco, nos sedimentos de corpos d'água pode representar um sério risco para a fauna e flora aquáticas. Esses metais podem ser bioacumulados, acumulados nos organismos ao longo da cadeia alimentar, prejudicando a saúde de diversas espécies, incluindo a de organismos superiores como peixes e até mesmo humanos, através do consumo de alimentos contaminados.

O índice PERI foi desenvolvido para quantificar o risco de contaminação por metais pesados nos sedimentos e fornece uma base para a gestão de áreas potencialmente impactadas. Para calcular o PERI, são consideradas as concentrações de metais pesados nos sedimentos e os parâmetros de toxicidade desses metais, com base em estudos ecotoxicológicos que determinam os limites de segurança para os organismos aquáticos. A avaliação leva em conta também a mobilidade desses metais nos sedimentos e a disponibilidade para absorção por organismos bentônicos, como moluscos, crustáceos e peixes, que vivem no fundo dos corpos d'água.

Os valores de PERI podem ser classificados em diferentes níveis de risco, o que permite uma análise detalhada da situação ambiental. Quando os valores indicam um alto risco, pode ser necessário implementar ações de remediação, como a remoção de sedimentos contaminados, monitoramento contínuo da qualidade da água e dos sedimentos, além de políticas de controle e prevenção da poluição.

A utilização do índice PERI tem se mostrado útil para a gestão ambiental, especialmente em regiões com histórico de contaminação por atividades industriais, mineradoras, esgoto doméstico ou uso de pesticidas e fertilizantes. Além disso, o PERI contribui para a proteção da biodiversidade aquática, pois identifica áreas críticas que necessitam de atenção para minimizar os impactos ambientais e preservar a saúde dos ecossistemas aquáticos.

O índice PERI é uma ferramenta essencial para a avaliação do risco ambiental de metais nos sedimentos de corpos d'água, permitindo uma abordagem científica e sistemática na gestão e proteção dos ambientes aquáticos frente à contaminação por metais.

Aplicou-se este índice aos sedimentos do arroio Candiota e os resultados nominais estão na **Tabela 4**, os cálculos com os respectivos valores estão na **Tabela 42 e Tabela 43, no volume I**.

**Tabela 4** - As classes encontradas para o cálculo do índice de risco com base na presença de metais(totais) nos sedimentos superficiais de fundo do arroio Candiota, região do entorno da Usina Candiota.

Unidades	Crosta	Sed.Pr						
	Terrestre	e-Ind	Clarke	Folhelho	TEC	LEL	ERL	TEL
<b>Amostrai</b>								
<b>s</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>	<b>PERI</b>
1BI	Mod	Baixo	Mod	Baixo	Baixo	Mod	Baixo	Baixo
2BI	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
3BI	16,83	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4BI	19,71	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
5BI	Mod	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Mod	Baixo	Baixo
6BI	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BI	Mod	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
8BI	Mod	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
1BJ	21,96	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2BJ	17,16	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
3BJ	20,66	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4BJ	7,28	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
5BJ	17,93	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
6BJ	19,46	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BJ	18,78	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
8BJ	Mod	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
1BK	17,52	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
2BK	25,61	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
3BK	15,00	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
4BK	16,35	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
5BK	18,13	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
6BK	16,45	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo
7BK	28,82	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

<b>8BK</b>	<b>20,60</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>1BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>9,82</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>2BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>16,85</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>3BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>11,69</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>4BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Mod</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Mod</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>5BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>6BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>7BL</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>
<b>8BL</b>	<b>Alto</b>	<b>Baixo</b>	<b>Mod</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo</b>

### Estatísticas e Variabilidade

Na *Tabela 5* apresenta-se a análise descritiva que caracteriza todo o monitoramento ambiental desde 2004 até o inverno de 2024, desta forma o leitor poderá situar os valores encontrados no contexto geral do monitoramento dos metais em sedimentos do arroio Candiota.

Nesta *Tabela 5* salienta-se o “n” amostral, 434 unidades amostrais. Além disso, aqueles elementos químicos que apresentaram a maior variação são aqueles que apresentaram o maior coeficiente de variação, veja a *Tabela 6*, isto é, arsênio e cádmio.

**Tabela 5** - Análise descritiva dos dados usando dados recolhidos entre 2004-2024, nos sedimentos superficiais de fundo do arroio Candiota. N amostral de 434, valores apresentados por ordem decrescente de valores máximos. O Fe e o Al são os valores que apresentara as maiores concentrações.

<b>Elementos Medidos</b>	<b>N Estatístico</b>	<b>Intervalo Estatístico</b>	<b>Mínimo Estatístico</b>	<b>Máximo Estatístico</b>	<b>Média Estatística</b>	<b>desv.Pad. Estatístico</b>	<b>variância Estatística</b>	<b>Assimetria Estatística</b>	<b>Curtose Estatística</b>	<b>Coefficiente de Variação</b>
Fe(ppm)	434	113463,00	537,00	114000,00	13819,53	13393,37	179400000,00	2,05	7,74	96,92
Al(ppm)	434	101903,60	96,40	102000,00	14276,20	18387,05	338100000,00	1,85	3,47	128,80
Mntot(ppm)	434	4172,32	1,68	4174,00	456,89	574,16	329658,54	2,67	9,04	125,67
Astot(ppm)	434	352,99	0,01	353,00	7,05	25,03	626,52	12,28	162,58	354,94
Zntot(ppm)	434	240,95	0,05	241,00	34,69	39,04	1524,02	2,27	6,55	112,53
Pbtot(ppm)	434	115,90	0,10	116,00	11,87	16,56	274,29	3,11	12,29	139,51
Nitot(ppm)	434	86,64	0,06	86,70	12,57	15,32	234,63	1,58	2,57	121,89
Crtot(ppm)	434	85,04	0,26	85,30	11,88	14,24	202,85	2,45	7,54	119,85
Cutot(ppm)	434	51,02	0,18	51,20	6,88	7,36	54,24	1,82	4,83	107,04
Cdtot(ppm)	434	3,80	0,01	3,80	0,24	0,51	0,26	4,15	18,69	214,82
Hgtot(ppm)	434	0,70	0,00	0,71	0,09	0,09	0,01	2,73	12,02	106,96
N validos 434										

Na **Tabela 6** apresenta-se a ordenação decrescente do coeficiente de variação de cada um dos metais do estudo

**Tabela 6** - Coeficiente de variação ordenados em ordem decrescente.

<b>Elementos Medidos</b>	<b>Coeficiente de Variação</b>
As(ppm)	354,94
Cd(ppm)	214,82
Pb(ppm)	139,51
Al(ppm)	128,80
Mn(ppm)	125,67
Ni(ppm)	121,89
Cr(ppm)	119,85
Zn(ppm)	112,53
Cu(ppm)	107,04
Hg(ppm)	106,96
Fe(ppm)	96,92

N= 434

Os índices calculados neste estudo, mostraram uma situação de contaminação, não se tem atestado nos dados de metais em sedimentos a situação de poluição desde de 2004, a situação vem sendo atestada como contaminação ambiental.

O fator de contaminação, utilizou todos os níveis de base propostos nesse estudo, aqueles da geologia tradicional e as quatro concepções do SQGs. Na tentativa de substituir os níveis de base que deveriam ter sido medidos em situação pretérita da bacia, e não foram. Estas respostas mostram o cenário exposto na **Tabela 7**.

**Tabela 7** - Apresentam-se os metais e as respectivas unidades amostrais que apresentaram valores em que se espera algum prejuízo para os seres vivos do local, BI (primavera de 2023), BJ, BK e BL o verão, ou outono e o inverno de 2024 respectivamente. Na porção superior da tabela estão os níveis de base utilizados, estes por sua vez estão nas tabelas 2 e 3 do volume I.

<b>Fator de contaminação</b>	<b>Crosta</b>	<b>Sed Pre-ind</b>	<b>Clarke</b>	<b>Folhelho</b>	<b>TEC</b>	<b>LEL</b>	<b>ERL</b>	<b>TEL</b>
<b>As</b>	1BI, 8BI, 8BL		1BI, 8BI, 8BL					
<b>Mn</b>	4BL	1BI, 5BI, 4BL	4BL	5BI, 4BL	1BI, 5BI, 7BI, 8BJ, 2BK, 4BL	1BI, 5BI, 7BI, 8BJ, 2BK, 4BL	Não Significativo  Não Significativo	Não Significativo  Não Significativo

Observe na *Tabela 7*, que o SQG –TEL (“Threshold Effects Levels”) que integra a legislação brasileira de qualidade dos sedimentos não foi significativa a sua resposta, (veja CONAMA 454).

Os índices de contaminação/poluição, quando usados isoladamente, podem fornecer uma visão limitada da contaminação. Portanto, o autor ressalta a importância de integrar diferentes índices e ferramentas analíticas para uma avaliação mais precisa do risco ambiental. A combinação de dados de concentração de contaminantes com informações sobre toxicidade, bioacessibilidade e ecotoxicidade foi muito importante nesta avaliação abrangente dos impactos ambientais.

Embora os índices de contaminação e poluição sejam úteis, eles também apresentam limitações. Por exemplo, a falta de especificidade em relação à biodiversidade local e os efeitos variáveis dos contaminantes nas diferentes espécies podem levar a uma subestimação ou superestimação dos riscos ecológicos.

Além disso, os índices podem não refletir adequadamente a complexidade das interações ambientais, como os processos de remobilização, sinergias de contaminantes no ambiente ou a dinâmica de sedimentação e deposição.

Os índices de contaminação/poluição como ferramentas práticas para sintetizar informações complexas sobre a contaminação e fornecer uma visão geral dos riscos associados aos elementos químicos nos sedimentos cumprem um importante papel neste estudo.

Estes índices e as avaliações de risco ecológico têm um grande potencial para a aplicação prática em programas de monitoramento e gestão ambiental. Esses índices ajudam os gestores ambientais a identificar e classificar áreas contaminadas, facilitando a implementação de estratégias de remediação e prevenção de contaminação/poluição, quando for o caso. Além disso, o uso desses índices pode orientar ações privadas e públicas de proteção ambiental, visando a preservação dos ecossistemas e a saúde humana.

Esta abordagem integrada e contínua no uso de índices de contaminação/poluição sugere que a avaliação do risco ambiental deve ser um processo dinâmico, com monitoramento contínuo das concentrações de contaminantes e a revisão periódica dos índices e metodologias de avaliação, para garantir que as estratégias de mitigação permaneçam eficazes e adaptadas às mudanças ambientais ao longo do tempo.

Estes índices de contaminação/poluição, quando bem aplicados e ajustados, são ferramentas valiosas para a avaliação do risco ecológico e para a gestão ambiental de áreas contaminadas. No entanto, a eficácia desses índices depende de uma aplicação cuidadosa,

levando em consideração as especificidades locais e a combinação de diferentes fontes de dados para fornecer uma visão completa dos impactos ambientais causados por contaminantes químicos em sedimentos.

A primeira usina do complexo de geração a carvão mineral foi a Candiota I, inaugurada em 1961.

O parque gerador evoluiu e chegou a ser composto por quatro usinas termelétricas, sendo que três destes empreendimentos foram desmobilizados e encerraram as operações e apenas um prosseguiu com as atividades, a Usina Termelétrica Candiota III (Fase C).

Considerando o tempo de atuação da atividade de geração de termelétricidade geração a carvão instalada na área de estudo, esperavam-se desde o início do programa de monitoramento, cenários alarmantes, somando-se a isto muitas manifestações leigas e técnicas nomeando e enumerando paradigmas científicos sempre dão conta de cenários de poluição preocupantes, situações de terra arrasada.

No entanto, os cenários até aqui encontrados apresentam, com base nas concentrações de metais nos sedimentos superficiais de fundo da calha fluvial do arroio Candiota, mostrado pelas concentrações e pelos índices aplicados, apontam que a área é uma área contaminada, o que já era de se esperar uma vez que o carvão mineral é aflorante, e isto por si só justifica a contaminação, agregam-se a isto os multiusos da bacia.

Os estudos dos RTR-Razão para referência e do ARTR-valores agregados para referência, o primeiro mostra as relações entre as variáveis frente as comparações com a estação 1, o local de referência. O segundo mostra as relações entre as estações amostrais dado pelas concentrações, o “mix” de metais que caracteriza cada uma delas.

Para tornar mais abrangente estas avaliações, avaliam-se o RTRm – razão de referência média, frente aos valores médios das concentrações das variáveis da estação amostral 1, o local de referência, e o ARTRm o valor agregado de referência médio, relacionando entre os valores médios cada uma das estações amostrais considerando o “mix” médio dos metais nas estações amostrais.

Portanto considerando todos os trabalhos com os dados obtidos e:

- A longevidade desta atividade;
- Os valores encontrados, para a concentração dos metais;
- Ocorrência do carvão mineral aflorante na área;
- As avaliações com base em bioensaios a ecotoxicidade ao longo de vários anos;

- Os valores obtidos para a biodiversidade, medidos pelos colegas biólogos do biomonitoramento, apresentados neste programa.

A análise de metais na Bacia Hidrográfica do Arroio Candiota, com múltiplos usos, exigiu uma abordagem integrada, considerando os impactos das atividades humanas sobre a qualidade da água e do solo. O uso do SPSS facilitou a análise estatística robusta e a interpretação dos dados, permitindo identificar relações complexas entre as variáveis ambientais e as concentrações de metais, **veja no volume I, Análise Multivariada, as Figura 12, Figura 13, Figura 14, Figura 15, Quadro 2, Figura 49 e Figura 50**, mostram os estudos de relação entre as variáveis.

### **Dificuldades e Causalidades**

As dificuldades enfrentadas pelo estudo para determinar, ou pelo menos tentar, em definir as causas dos comprometimentos ambientais.

Na B.H.A.C. os ecossistemas estão sujeitos a uma variedade de influências, a partir dos multiusos que afetam a qualidade da água e dos sedimentos. A presença de metais como mercúrio, chumbo, arsênio e cádmio nos sedimentos pode ser um indicador de contaminação/poliuição, mas a interpretação dessa evidência não é simples. Os metais podem se acumular nos sedimentos de várias fontes, como escoamento agrícola, despejos industriais, mineração, e até de fontes naturais, como a erosão de rochas. Além disso, diferentes tipos de metais podem ter impactos ambientais distintos, tanto na qualidade da água quanto nos organismos aquáticos, afetando a biodiversidade e a saúde dos ecossistemas.

Cada variável (como clima, solo, sedimentos, água e organismos) podem influenciar de outras maneiras, complexas e, muitas vezes, imprevisíveis, fluxos de tempestades por exemplo. Além disso, as evidências ambientais podem ser muito diversas, como dados de monitoramento de fauna e flora, amostras de qualidade da água, observações de mudanças nos habitats, entre outros. Isso dificulta a identificação de uma causa única para os comprometimentos ambientais, uma vez que múltiplos fatores estão contribuindo de maneira simultânea para o problema observado.

No entanto, a diversidade de evidências disponíveis para análise — como dados de concentração de metais nos sedimentos, observações de fauna e flora, mudanças nas condições da água, e relatos de comunidades locais — torna a identificação de uma única causa para os comprometimentos ambientais extremamente difíceis. Por exemplo, os metais podem ser transportados por correntes fluviais, derivando ou depositados nos sedimentos ou ainda entrar

na cadeia alimentar de organismos aquáticos, com efeitos que podem ser diferentes dependendo da combinação de fatores locais e temporais. Além disso, os ecossistemas fluviais são dinâmicos e a interação entre os metais, os sedimentos e os organismos é complexa, variando de acordo com as características físicas e químicas da bacia.

A maioria dos métodos de análise causal trata da causalidade de maneira geral, o que pode ser útil em alguns contextos, mas não necessariamente resolve o problema em situações ambientais específicas. Um exemplo disso é a avaliação de impactos ambientais de maneira ampla, como, por exemplo, analisar se a redução da concentração de um determinado metal está associada ao fluxo das águas durante as tempestades provocando a derivação do material ou não.

A maioria dos métodos tradicionais de análise causal tende a tratar causalidade de maneira geral, ou seja, busca identificar relações amplas entre causa e efeito. Um estudo pode investigar se a presença de metais nos sedimentos está associada a uma diminuição na biodiversidade de peixes, mas não necessariamente determina se os metais presentes em uma área específica estão, de fato, causando esse efeito. Este tipo de análise é importante para identificar padrões gerais de poluição e seus efeitos, mas não é suficiente para entender os impactos de uma forma localizada e específica. Cada trecho da bacia pode ter características diferentes, como o tipo de solo, profundidade da água, temperatura, que influenciam a toxicidade dos metais e suas interações com os ecossistemas.

A causalidade geral busca entender relações amplas, como a interação entre um poluente e uma espécie, sem levar em conta as especificidades de um determinado local ou contexto. Por outro lado, a causalidade específica busca entender como determinado evento ou fator ambiental afeta um ecossistema em uma localização ou contexto específicos.

Nenhum método atual consegue acomodar toda a variedade e diversidade de evidências disponíveis, o que é um problema significativo. Os comprometimentos ambientais podem ser influenciados por uma grande quantidade de dados que variam de medições quantitativas (como concentração de poluentes) a dados qualitativos (como relatos de comunidades locais sobre mudanças no ambiente). A diversidade de fontes de dados torna difícil a construção de uma análise causal única e simplificada. Para lidar com isso, é necessário usar abordagens multimetodológicas, que combinem diferentes tipos de evidências e integrem dados quantitativos e qualitativos de forma coesa.

A análise causal de comprometimentos ambientais é desafiadora devido à complexidade dos ecossistemas da B.H.A.C. com seus vários usos, à variedade de evidências disponíveis e à dificuldade de aplicar métodos de análise causal de maneira específica e detalhada.

A maior dificuldade na determinação das relações de causalidade na B.H.A.C. é a diversidade de evidências e a interação complexa entre os diferentes fatores que afetam o meio. As bacias multiusos, por sua natureza, possuem uma grande variedade de atividades humanas que podem gerar impactos diferentes na qualidade dos sedimentos e na saúde dos ecossistemas aquáticos. As fontes de contaminação/poluição podem ser difusas, como no caso do escoamento agrícola, ou pontuais, como despejos industriais, e seus efeitos podem ser modulados por características locais, como a presença de vegetação ripária ou a velocidade das correntes fluviais.

Além disso, as evidências de impactos ambientais podem ser conflitantes ou difíceis de interpretar. Por exemplo, a presença de concentrações elevadas de metais nos sedimentos não é, por si só, suficiente para concluir que houve um comprometimento ambiental, uma vez que outros fatores — como a mobilidade dos metais no sedimento, a tolerância das espécies locais a determinados metais ou a capacidade de recuperação do ecossistema — podem influenciar os resultados observados. O contexto local, a história ambiental da bacia e os dados históricos de qualidade da água e dos sedimentos também são essenciais para uma análise precisa.

A integração dessas diferentes fontes de evidência exige uma abordagem multimetodológica, que combine dados quantitativos (como medições de metais nos sedimentos e qualidade da água) com dados qualitativos (como observações ecológicas e relatos de mudanças no ecossistema). Somente através desta integração será possível compreender com mais clareza as relações de causalidade e tomar decisões adequadas para a gestão ambiental.

A relação de causalidade entre os metais nos sedimentos e os comprometimentos ambientais é um desafio devido à complexidade do sistema e à diversidade de evidências. A multiplicidade de fontes de poluição, a interação entre os metais e os ecossistemas locais, e as diferentes formas de uso da bacia tornam a análise causal difícil de ser concluída de forma definitiva.

Foram considerados três tipos de raciocínios ou inferências para serem usados na busca pela causalidade, em Candiota, isto é:

- ***Inferência indutiva*** generaliza padrões a partir de dados coletados (ex.: impactos da agricultura e pecuária), deveria ser a mais importante para determinar a causalidade no estudo, pois ela se baseia em observar padrões e generalizar sobre as relações causais entre as

variáveis. Ao analisar grandes volumes de dados ambientais, como os metais (Al, As, Cd, Cr, Cu, Pb, Fe, Hg, Mn, Ni, Zn) nos sedimentos em Candiota n=434, a indução deveria permitir a extração de padrões e correlações entre as variáveis monitoradas (atividade da termelétrica, parâmetros de sedimentos e outras atividades humanas) e os efeitos ambientais resultantes.

As correlações foram obtidas, no entanto a padronização destes dados é muito complexa devido a sua variabilidade, está por sua vez é produto da complexidade do sistema ambiental da B.H.A.C. e de seus usos que se sobrepõe muitas vezes, **Tabela 8 e Tabela 9**.

**Tabela 8** - Análise de Correlação primavera 2023, verão, outono e inverno 2024, n amostral foi 32.

Análise de Correlação primavera 2023, verão, outono e inverno 2024											
Pearson Correlação	Altot(ppm)	Astot(ppm)	Cdtot(ppm)	Pbtot(ppm)	Cutot(ppm)	Crtot(ppm)	Fetot(ppm)	Mntot(ppm)	Hgtot(ppm)	Nitot(ppm)	Zntot(ppm)
Altot(ppm)	1,00										
Astot(ppm)	0,29	1,00									
Cdtot(ppm)	0,04	-0,07	1,00								
Pbtot(ppm)	0,24	0,23	-0,16	1,00							
Cutot(ppm)	<b>,560**</b>	<b>,492**</b>	0,11	<b>,522**</b>	1,00						
Crtot(ppm)	<b>,766**</b>	0,22	-0,29	0,24	0,23	1,00					
Fetot(ppm)	<b>,763**</b>	<b>,368*</b>	0,10	0,28	<b>,497**</b>	<b>,525**</b>	1,00				
Mntot(ppm)	<b>,709**</b>	0,14	-0,22	<b>,411*</b>	<b>,601**</b>	<b>,568**</b>	<b>,527**</b>	1,00			
Hgtot(ppm)	0,18	<b>,444*</b>	-0,11	0,32	0,08	0,28	0,10	0,06	1,00		
Nitot(ppm)	<b>,717**</b>	0,05	0,05	0,28	<b>,610**</b>	<b>,577**</b>	<b>,576**</b>	<b>,612**</b>	0,04	1	
Zntot(ppm)	<b>,753**</b>	<b>,373*</b>	0,07	<b>,371*</b>	<b>,665**</b>	<b>,601**</b>	<b>,772**</b>	<b>,616**</b>	-0,01	<b>,690**</b>	1

\*\* . A correlação é significativa no nível 0,01 (bicaudal).

\* . A correlação é significativa no nível 0,05 (bicaudal).

**Tabela 9** - Análise de correlação de todas as medidas de 2004 a 2024 n amostral foi 434.

n=434	Correlações										
Pearson Correlation	Altot(ppm)	Astot(ppm)	Cdtot(ppm)	Pbtot(ppm)	Cutot(ppm)	Crtot(ppm)	Fetot(ppm)	Mntot(ppm)	Hgtot(ppm)	Nitot(ppm)	Zntot(ppm)
Al(ppm)	1										
Astot(ppm)	<b>,708**</b>	1,00									
Cdtot(ppm)	0,052	<b>,255**</b>	1,00								
Pbtot(ppm)	<b>,644**</b>	<b>,665**</b>	<b>,271**</b>	1,00							
Cutot(ppm)	<b>,775**</b>	<b>,715**</b>	<b>,250**</b>	<b>,718**</b>	1,00						
Crtot(ppm)	<b>,797**</b>	<b>,746**</b>	<b>,224**</b>	<b>,727**</b>	<b>,842**</b>	1,00					
Fe(ppm)	<b>,777**</b>	<b>,674**</b>	<b>,149**</b>	<b>,680**</b>	<b>,730**</b>	<b>,879**</b>	1,00				
Mntot(ppm)	<b>,555**</b>	<b>,398**</b>	<b>,210**</b>	<b>,538**</b>	<b>,571**</b>	<b>,606**</b>	<b>,602**</b>	1,00			
Hgtot(ppm)	<b>,588**</b>	<b>,598**</b>	<b>,264**</b>	<b>,529**</b>	<b>,622**</b>	<b>,599**</b>	<b>,497**</b>	<b>,350**</b>	1,00		
Nitot(ppm)	<b>,785**</b>	<b>,715**</b>	<b>,234**</b>	<b>,678**</b>	<b>,874**</b>	<b>,843**</b>	<b>,736**</b>	<b>,586**</b>	<b>,687**</b>	1,00	
Zntot(ppm)	<b>,699**</b>	<b>,577**</b>	<b>,221**</b>	<b>,678**</b>	<b>,735**</b>	<b>,833**</b>	<b>,847**</b>	<b>,709**</b>	<b>,460**</b>	<b>,728**</b>	1,00

\*\* . A correlação é significativa no nível de 0,01 (bicaudal).

O mais importante raciocínio para Candiota, a inferência indutiva, não pode ser pleno em Candiota, uma vez que o PADRÃO de Candiota é NÃO TER PADRÃO!

- **Inferência abdutiva** permite explorar hipóteses plausíveis para dados inesperados ou padrões complexos. Esta é para Candiota o segundo mais importante tipo de inferência ou raciocínio. A inferência abdutiva ocupa a segunda posição porque, embora também seja importante, ela é fundamental no início do processo científico, quando se está ainda tentando formular hipóteses sobre os possíveis mecanismos causais. A abdução é útil para gerar hipóteses explicativas a partir de dados parciais ou não conclusivos. No contexto do estudo, ao observar os efeitos dos sedimentos fluviais (como aumento de metais), a abdução pode ser usada para sugerir possíveis fontes de contaminação relacionadas à usina termelétrica, como emissões de poluentes atmosféricos que caem sobre a bacia ou impactos diretos da descarga de efluentes. Este tipo de raciocínio, a inferência abdutiva, é o raciocínio que se tem aplicado para estabelecer o estado ambiental de Candiota. Uma vez que os dados apresentados pelo último ano amostral, e todos os outros anos de monitoramento apresentaram uma variabilidade alta, vide as análises de estatística descritiva, **Tabela 10 e Tabela 11**.

- **Inferência dedutiva** ajuda a aplicar teorias estabelecidas para prever impactos específicos (ex.: mineração de carvão). Este é um tipo de raciocínio ou a inferência menos importante, embora a inferência dedutiva seja fundamental para validar as hipóteses e para a verificação rigorosa das relações causais, ela ocupa a terceira posição na ordem de importância, especialmente no início de um monitoramento ambiental. A dedução é menos flexível para explorar novas hipóteses ou para lidar com dados complexos e incertos, que são comuns em estudos ambientais. No entanto, após a formulação de hipóteses causais com base na indução e na abdução, a dedução pode ser usada para confirmar essas hipóteses de forma rigorosa.

Este terceiro tipo de raciocínio a inferência dedutiva é o que as pessoas leigas e muitas inclusive técnicas, que buscam ganhar espaços na mídia criticando o uso do carvão mineral aplicam, isto é, tomam as teorias existentes, e no campo estritamente teórico, estabelecem-se comportamentos do sistema ambiental que, sequer passa perto do comportamento real do sistema ambiental de Candiota, estabelecido pelo monitoramento ambiental.

A pergunta que se faz é; esses críticos ao uso do carvão possuem dados, coletados em Candiota que validam as suas teorias expostas na mídia?

Os dados usados por muitos são coletados de maneira tendenciosa por exemplo na saída de uma mineração e extrapolado para toda a bacia!

Não contando com os serviços dos ecossistemas que acabam por filtrar estes contaminantes, veja as respostas obtidas no monitoramento analisando as respostas das concentrações obtidas na estação amostral 7, **volume I**, este é o local mais a montante da bacia.

**Tabela 10** - Análise descritiva dos metais considerando todas as campanhas amostrais e os elementos medidos ordenados de maneira decrescente pelos valores máximos medidos

Elementos	N	Intervalo	Mínimo	Máximo	Média	desv.Pad.	varfiancia	Assimetria	Curtose	Coefficiente
Medidos	Estatístico	Estatístico	Estatístico	Estatístico	Estatística	Estatístico	Estatística	Estatística	Estatística	de Variação
Fe(ppm)	434	113463,00	537,00	114000,00	13819,53	13393,37	179400000,00	2,05	7,74	96,92
Al(ppm)	434	101903,60	96,40	102000,00	14276,20	18387,05	338100000,00	1,85	3,47	128,80
Mntot(ppm)	434	4172,32	1,68	4174,00	456,89	574,16	329658,54	2,67	9,04	125,67
Astot(ppm)	434	352,99	0,01	353,00	7,05	25,03	626,52	12,28	162,58	354,94
Zntot(ppm)	434	240,95	0,05	241,00	34,69	39,04	1524,02	2,27	6,55	112,53
Pbtot(ppm)	434	115,90	0,10	116,00	11,87	16,56	274,29	3,11	12,29	139,51
Nitot(ppm)	434	86,64	0,06	86,70	12,57	15,32	234,63	1,58	2,57	121,89
Crtot(ppm)	434	85,04	0,26	85,30	11,88	14,24	202,85	2,45	7,54	119,85
Cutot(ppm)	434	51,02	0,18	51,20	6,88	7,36	54,24	1,82	4,83	107,04
Cdtot(ppm)	434	3,80	0,01	3,80	0,24	0,51	0,26	4,15	18,69	214,82
Hgtot(ppm)	434	0,70	0,00	0,71	0,09	0,09	0,01	2,73	12,02	106,96
N validos	434									

**Tabela 11** - Análise descritiva dos metais considerando as quatro últimas campanhas amostrais e os elementos medidos em cada campanha amostral, sazonalmente apresentadas, ordenados de maneira decrescente pelos valores máximos medidos.

	N	Intervalo	Mínimo	Máximo	Média	Desvio	Variancia	Assimetria	Coef. de	Coef. (%)
	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Estadística	Variação
<b>Primavera</b>										
Al (ppm)	112	93829,6	96,4	93926,0	15950,7	21008,3	441100000,0	1,9	3,2	131,7
Fe (ppm)	112	63963,0	537,0	64500,0	14224,3	12780,2	163300000,0	1,6	3,1	89,8
Mn (ppm)	112	2939,1	26,9	2966,0	473,9	568,0	322631,7	2,5	7,1	119,9
As (ppm)	112	344,9	0,1	345,0	8,2	32,4	1048,8	10,3	108,2	395,0
Zn (ppm)	112	174,0	1,0	175,0	37,6	37,3	1389,1	1,5	2,1	99,0
Pb (ppm)	112	97,2	0,2	97,4	13,1	16,9	284,5	2,8	9,9	129,2
Cr (ppm)	112	72,5	0,3	72,8	11,8	13,0	168,8	2,2	6,8	110,0
Ni (ppm)	112	64,2	0,2	64,4	13,8	15,8	250,4	1,2	0,6	114,7
Cu (ppm)	112	37,6	0,2	37,8	7,5	8,3	68,4	1,6	2,5	110,5
Cd (ppm)	112	1,8	0,0	1,8	0,2	0,3	0,1	3,6	12,9	172,9
Hg (ppm)	112	0,2	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,4	-1,4	73,5
<b>Verão</b>										
Al (ppm)	113	68384,0	356,0	68740,0	13081,1	17199,1	295800000,0	1,6	1,7	131,5
Fe (ppm)	113	53244,0	556,0	53800,0	12850,7	12515,0	156600000,0	1,5	1,8	97,4
Mn (ppm)	113	4152,1	22,0	4174,0	444,6	621,2	385841,5	3,1	12,6	139,7
As (ppm)	113	353,0	0,0	353,0	9,5	35,6	1268,5	8,7	80,4	373,1
Zn (ppm)	113	239,9	1,1	241,0	34,0	43,3	1873,2	2,5	7,1	127,4
Pb (ppm)	113	115,9	0,1	116,0	14,6	22,0	482,7	2,6	7,5	150,9
Ni (ppm)	113	86,4	0,3	86,7	14,7	18,8	355,1	1,6	2,5	128,6
Cr (ppm)	113	85,0	0,3	85,3	13,3	18,6	346,0	2,5	6,0	139,5
Cu (ppm)	113	50,6	0,6	51,2	7,1	8,0	64,1	2,3	7,8	112,5
Cd (ppm)	113	3,8	0,0	3,8	0,4	0,7	0,5	3,0	8,8	193,7
Hg (ppm)	113	0,7	0,0	0,7	0,1	0,1	0,0	2,9	10,0	123,3
<b>Outono</b>										
Al (ppm)	104	101903,1	97,0	102000,0	13460,0	19125,5	365800000,0	2,5	6,6	153,5
Fe (ppm)	104	56330,0	1070,0	57400,0	11958,7	11522,1	132800000,0	1,8	3,5	96,3
Mn (ppm)	104	3478,3	1,7	3480,0	413,8	578,4	334489,1	3,1	11,9	139,8
Zn (ppm)	104	237,2	0,1	237,3	29,8	37,4	1397,0	2,9	11,1	125,6
As (ppm)	104	62,7	0,1	62,8	6,1	9,5	90,1	4,2	21,6	156,7
Pb (ppm)	104	57,4	0,1	57,5	8,5	10,9	119,2	2,1	4,8	128,7
Cr (ppm)	104	50,4	0,4	50,8	10,3	10,5	110,6	1,7	2,4	101,8
Ni (ppm)	104	41,8	0,1	41,9	10,1	10,5	110,0	0,9	-0,3	103,8
Cu (ppm)	104	28,9	0,3	29,1	5,3	5,3	28,3	1,6	3,6	100,1
Cd (ppm)	104	3,5	0,0	3,6	0,2	0,6	0,3	3,9	15,8	230,3
Hg (ppm)	104	0,5	0,0	0,5	0,1	0,1	0,0	1,7	4,3	103,6
<b>Inverno</b>										
Al (ppm)	105	67050,0	127,0	67177,0	15575,1	15696,0	246400000,0	0,9	0,1	100,8
Fe (ppm)	105	113439,0	561,0	114000,0	16273,5	16175,0	261600000,0	2,5	11,4	99,4
Mn (ppm)	105	2584,1	21,9	2606,0	404,6	526,9	277606,0	1,7	2,7	106,5
Zn (ppm)	105	235,5	1,5	237,0	37,2	37,7	1421,0	2,2	7,3	101,3
Pb (ppm)	105	101,7	0,3	102,0	11,1	13,4	179,0	3,5	20,1	120,8
Cr (ppm)	105	77,0	0,3	77,3	11,9	13,3	177,6	1,8	4,7	111,6
Ni (ppm)	105	57,3	0,3	57,6	11,4	14,3	204,6	1,4	1,0	125,0
Cu (ppm)	105	37,5	0,3	37,8	7,5	7,2	52,4	1,3	2,2	96,1
As (ppm)	105	25,7	0,1	25,8	4,1	4,0	16,1	1,7	6,4	97,0
Cd (ppm)	105	2,3	0,0	2,3	0,1	0,2	0,1	6,7	53,3	189,0
Hg (ppm)	105	0,5	0,0	0,5	0,1	0,1	0,0	1,9	6,0	104,6

Existe a necessidade de desenvolver técnicas mais avançadas para lidar com a diversidade de dados e fornecer conclusões claras e aplicáveis para a gestão ambiental. Este tem sido o rumo dos nossos estudos, mas a nossa ciência ainda é muito cartesiana, por isso que há uma atenção especial, internacional, pelas evoluções nestas áreas de pesquisa, que se somam aos nossos estudos em Candiota.

Conclui-se que os dados **não** estabelecem que a área esteja em **situação de poluição**, e sim de **contaminação**, enfatiza-se o fato que as relações de causalidades são muito complexas de atribuir, mesmo aquelas que parecem ser facilmente identificadas e pontuadas, ao analisar-se mais detidamente (genericamente) verifica-se que a verdade terrestre indica no mínimo três a quatro usos da área influenciando a estação amostral que estará sendo objeto de análise.

E sempre há que se considerar a existência de pelo menos 95 camadas de carvão mineral, segundo Foram identificados um total de 95 veios de carvão, com espessuras variando entre 0,08 e 1,52 m, e ocorrendo em níveis de profundidade de 4 a 69 m, (KALKREUTH et al.(2013).

Este **volume II**, compõe uma síntese das conclusões do **Volume I**.

## Referência

KALKREUTH, W.; LUNKES, M.; OLIVEIRA J., GHIGGI M.L.; OSÓRIO, E.; SOUZA K.; SAMPAIO C.H. , FIDALGO, G.; 2013. The lower and upper coal seams of the Candiota Coalfield, Brazil - Geological setting, petrological and chemical characterization, and studies on reactivity and beneficiation related to their combustion potential. International Journal of Coal Geology 111 (2013) 53–66.

## 2.6. BIOINDICADORES AMBIENTAIS AQUÁTICOS

### 2.6.1. Fitoplâncton

Responsabilidade técnica: Bióloga Esp. Daniela de Carvalho Leite Ribeiro (CRBio 110208/03-D)

Importante salientar que rios são ambientes de maior complexidade, fornecendo habitats que estão sujeitos a freqüentes mudanças, devido ao grande fluxo de correnteza, sendo que a manutenção e o desenvolvimento do fitoplâncton pode ocorrer, entretanto, raramente podem ser mantidos por um longo período devido ao permanente transporte a jusante (Rodrigues *et al.* 2007). A partir dessa informação, é possível identificar vários fatores que nessa campanha amostral 2023-2024 influenciaram de forma direta os resultados obtidos. Nosso estado passou por inúmeros episódios de chuvas intensas, o que aumenta o nível dos rios/arroios, e conseqüentemente a velocidade de corrente, afetando as comunidades que vivem nesses habitats.

Durante o período amostral em análise, foram identificados 146 táxons de algas planctônicas. As diatomáceas e as clorofíceas apresentaram os maiores valores de riqueza e de densidade. Esses dois grupos estavam presentes em todos os pontos amostrais nas quatro

campanhas de coleta. Já a classe Chrysophyceae foi identificada somente nas amostras coletadas na primavera (dez/23) e Dinophyceae nas amostras do verão e inverno. Os valores de riqueza específica variaram de 08 a 25 táxons identificados, tanto o valor mínimo quanto o valor máximo foram observados na coleta de junho, nos pontos seis (P6) e oito (P8) respectivamente. O ponto oito apresentou o maior valor de densidade ( $684,5 \text{ ind.mL}^{-1}$ ) e o ponto sete o menor valor ( $212,0 \text{ ind.mL}^{-1}$ ). Em comparação à campanha anterior (2022-2023) os valores de riqueza e densidade não apresentaram variação significativa.

A diversidade variou de  $2,0 \text{ nats ind}^{-1}$  (ponto seis) a  $3,0 \text{ nats ind}^{-1}$  (pontos um, três e oito). Os valores de equitabilidade variaram entre 0,84 (ponto sete) e 0,98 (ponto dois). Conforme os valores de diversidade de Shannon e equitabilidade, é possível afirmar que a diversidade e a uniformidade das espécies se mantiveram como na campanha anterior, diversidade média e uniforme.

Como nas campanhas anteriores não houve nenhum organismo dominante, no entanto, diversos organismos foram abundantes nos pontos coletados durante o ano amostral. Porém destaca-se a presença constante de alguns táxons como *N.palea*, e *Rhodomonas lacustris* e o gênero *Monoraphidium*.

*R.lacustris* é um organismo C-estrategista, sendo assim, são os primeiros organismos a colonizarem os corpos d'água, ou chegam após alguma alteração hidrográfica, como as ocorridas durante o período de coleta. Além disso, auxiliadas pelo tamanho pequeno, possuem facilidade de dispersão e de absorção de nutrientes. O gênero *Nitzschia* é encontrado em ambientes alcalinos e ácidos, em águas oligotróficas e hipereutróficas e com baixa ou alta condutividade. *Nitzschia* esteve presente em todas as campanhas, reafirmando a sua alta habilidade de adaptação, sendo observada por exemplo na coleta realizada em fevereiro, tanto no ponto seis como no oito, onde os valores de pH foram 4,18 e 7,86, indo do ácido ao alcalino. *N.palea* é tolerante à poluição orgânica, prova disso é que podemos encontrá-la em quase todos os pontos de coleta. O gênero *Monoraphidium*, também se destaca por sua ampla distribuição, sendo encontrado em diversos habitats (águas oligotróficas, águas poluídas, zonas ácidas, solos) Comparando a estrutura da comunidade fitoplanctônica de forma espacial, é possível identificar que os pontos amostrais um e seis demonstraram o mínimo de variação na equitabilidade, comparado com os demais pontos. Ainda em relação à variação espacial, o ponto dois também apresentou pouca variação em relação à densidade total. Em relação à escala temporal, nota-se que a diversidade e a riqueza apresentaram maior variação no período da coleta de outono

(jun/24). Já equitabilidade e densidade apresentaram uma maior variação de valor na coleta da primavera (set/24).

Verificando os resultados obtidos com a análise das amostras de fitoplâncton é possível afirmar que os organismos que se destacam, entre todos observados, indicam uma uniformidade e constância na diversidade. Esses táxons são tolerantes às diferentes condições ambientais, como ambientes com pH ácido e alcalino, como ocorrido nos pontos amostrados. Além disso, destaco a presença do gênero *Rhodomonas* que pode indicar uma alteração no ambiente, como o que ocorreu durante esse ano amostral com as fortes chuvas. Outra questão que vale salientar é a presença relevante das diatomáceas, grande parte dos indivíduos presentes nas amostras do fitoplâncton são originalmente do perifíton, mas devido a correnteza se desprendem permanecendo na coluna d'água. Importante ressaltar que essa campanha amostral foi atípica devido ao desastre ambiental que o Rio Grande do Sul passou, que acabou influenciando os resultados das análises bióticas e abióticas.

#### 2.6.2. Perifíton

Responsável técnica: Bióloga Esp. Daniela de Carvalho Leite Ribeiro (CRBio 110208/03-D)

Sistemas lóticos caracterizam-se por apresentar condições ambientais que estão variando no espaço e no tempo, com maior turbulência e menor transparência da água, e redução da zona fótica. As comunidades desse sistema são geralmente perifíticas, sendo pouco comuns as espécies verdadeiramente planctônicas. Essas comunidades perifíticas possuem adaptações que favorecem a fixação no substrato, por isso conseguem permanecer aderidas mesmo com a correnteza dos corpos d'água.

Durante a campanha 2023-2024 foram registrados 166 táxons de algas, desses 41,6 % pertencem à classe Bacillariophyceae, 24,1% à Chlorophyceae, 14,45% a Cyanophyceae, 9,63% a Zygnemaphyceae, 4,61% a Euglenophyceae, 3,61% a Cryptophyceae e apenas 0,60% a Chrysophyceae. As diatomáceas representaram as maiores densidades observadas no período amostral de 2023-2024, seguidas pelas clorofíceas e cianofíceas. Já a menor densidade foi representada pela classe Chrysophyceae, que foi observada apenas na coleta de inverno, na amostra representativa do ponto dois.

Os valores de riqueza específica, variaram de 15 a 27 táxons identificados. A densidade variou de 345 ind cm<sup>-2</sup> (ponto seis) a 1071 ind cm<sup>-2</sup> (ponto oito). Em comparação com a campanha anterior 2022-2023, tanto os valores de riqueza quanto os valores de densidades diminuíram, isso pode ser uma resposta às fortes chuvas que atingiram a região durante o ano amostral 2023-2024.

O índice de diversidade de Shannon variou de 2,6 nats ind<sup>-1</sup> a 3,2 nats ind<sup>-1</sup>. A equitabilidade foi de 0,91 a 1,0. Considerando os valores de Shannon e de Equitabilidade, é possível afirmar que, da mesma forma da campanha anterior, há uma diversidade média e uniforme nos pontos amostrais.

Como ocorrido nos anos anteriores, não houve registro de organismo dominante. No entanto foram identificados, durante a campanha, diversos táxons abundantes, mas os que mais se destacam são as diatomáceas. Além da predominância das diatomáceas, há também em destaque um táxon pertencente a classe Chlorophyceae e um pertencente a classe Cyanophyceae. Dentre os microrganismos encontrados no perifíton, as diatomáceas (Bacillariophyceae), se destacam em quantidade, principalmente em ambientes lóticos, pois possuem estratégias de fixação em substratos. De acordo com alguns estudos já realizados em ambientes lóticos do nosso estado, os principais grupos de algas perifíticas dominantes em rios e riachos são as diatomáceas, as clorofíceas e as cianobactérias.

Entre as diatomáceas abundantes podemos destacar *N.palea* e *A.minutissimum*. Correlacionando os resultados obtidos da análise do Fitoplâncton com o Perifíton, pode-se notar que *N.palea* é abundante nos dois compartimentos, confirmando a relação Fito x Peri, e que como dito anteriormente, *N.palea* é uma diatomácea preferencialmente perifítica e que por força da turbulência, encontra-se na coluna d'água. Além disso ela é classificada como tolerante à poluição orgânica, devido a isso é possível identificá-la em todas as coletas, pois todos os pontos possuem algum nível de poluição orgânica.

Alguns estudos norte-americanos encontraram o gênero *Achnanidium* em águas afetadas pela drenagem ácida das minas. *A. minutissimum*, é geralmente caracterizado como uma diatomácea cosmopolita e onipresente, tolerante a vários tipos de estressores (perturbação hidrológica, baixo pH, metais pesados) e um colonizador precoce.

Considerando a escala espacial, é possível observar que os pontos amostrais um e oito apresentaram uma variação semelhante em relação à diversidade, riqueza de espécies e equitabilidade. Em relação à densidade, os pontos seis e um, apresentaram a maior variação de valores durante a campanha amostral (2023-2024). Com relação a escala temporal é possível

aferir que a densidade e a equitabilidade não variaram tanto, quando comparada a escala espacial. A diversidade na coleta e dezembro apresentou a maior variação, já riqueza variou mais na coleta realizada em setembro.

Em geral houve uma mudança mais significativa nos valores de densidade da comunidade periférica, isso deve-se ao aumento da velocidade de corrente, turbulência, devido à grande quantidade de chuvas durante a campanha amostral.

Os indicadores biológicos possibilitam medir a qualidade da água com base nas respostas dos organismos em relação ao meio onde vivem. Seu desaparecimento ou sua permanência, pode indicar alterações ou fatores relevantes de estresse que estão atuando nas comunidades ou populações. Dessa forma, esses organismos acabam antecipando informações importantes sobre o meio em que estão. Por isso a importância de manter-se o monitoramento.

### 2.6.3. Zooplankton

Responsável técnica: Catarina da Silva Pedrozo CRBio 09471-03/D

Os principais objetivos do biomonitoramento da fauna zooplancônica na área de influência direta da Usina Termelétrica de Candiota é caracterizá-la quanto à composição, distribuição espaço-temporal, abundância e dominância das espécies e correlacionar os resultados com a qualidade das águas da bacia hidrográfica do arroio Candiota na identificação de possível ocorrência de impactos ambientais causados pela usina.

Em geral, as principais variáveis que influenciam as comunidades zooplancônicas são a sazonalidade, marcada principalmente pela maior ou menor incidência das chuvas, as características limnológicas e hidrológicas da bacia hidrográfica, além obviamente da qualidade das águas em cada estação amostral.

A primavera (dezembro/23), caracterizada por chuvas e o conseqüente aumento nos volumes de águas dos arroios, apresentou qualidade ambiental entre a classe 3 e a classe 4, para o fósforo total nas estações amostrais P2, P6, P7 e P8 e altos valores da demanda bioquímica de oxigênio, principalmente nas estações P2 e P4, de acordo com a classificação do CONAMA 357/2005. Nestas duas últimas, a predominância do Cladocera *Ceriodaphnia cornuta*, indica uma baixa qualidade ambiental, uma vez que esta espécie é uma das mais abundantes nas águas doces tropicais e está adaptada para tolerar baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas

variações de temperatura, características que permitem sua ampla distribuição nas regiões tropicais.

A análise estatística realizada com os dados da densidade numérica das espécies do zooplâncton mostrou similaridade entre as estações amostrais P2 e P4 com um pouco mais do que 80%, seguidas da estação P5. As demais estações mostraram-se menos similares entre si, com um corte em 75% de similaridade. A estação amostral P2 tem a influência direta de um ambiente lântico e apresenta espécies descritoras deste tipo de ambiente, assim como a estação P4, localizada na sequência. Também tem a influência de diversos usos, como descrito já no relatório da qualidade das águas superficiais.

Ainda na primavera/23, foram menores os valores do índice de diversidade e da equitatividade para P2, P4, P5, P6 e P7. A riqueza de espécies foi menor para as estações P5, P6, P7 e P8. O número de táxons identificados nesta época foi de 46.

No verão, fevereiro/24, os arroios apresentaram baixos volumes de águas, o que refletiu em menos táxons identificados (33), sendo as estações amostrais P2, P6 e P8 classificadas como classe 4, principalmente pela eutrofização. P2 pela presença de óleos e graxas, P6 pela presença de metais, além do pH ácido e pelo alto valor para sólidos dissolvidos totais e a P8 pelo teor de fósforo total e alumínio dissolvido. Na P6, destaca-se a dominância de *Lecane (M) bulla*, espécie notadamente cosmopolita e que pode ocorrer em uma variedade de corpos de água no mundo, sendo encontrada mais no verão e no outono. Além disso, também está relacionada com ambientes eutróficos, assim como *Brachionus angularis*, *Keratella tropica* e *Acanthocyclops viridis* que também foram observadas na estação P8.

A diversidade de Shannon-Winner foi mais baixa nas estações P2, P3, P5 e P6, assim como a equitatividade e a riqueza de espécies. A análise estatística realizada com os dados de densidade numérica das espécies mostrou uma dissimilaridade entre todas as estações amostrais.

Em junho/24, outono, as chuvas torrenciais que ocorreram anteriormente, promoveram altos volumes de águas nos arroios da bacia hidrográfica do Candiota. Neste período foram identificados 46 táxons de zooplâncton. Destaca-se a dominância de formas jovens de náuplios nas estações P7 e P8, somente. As estações amostrais P5, P7 e P4 apresentaram os maiores valores para o índice de diversidade de Shannon, sendo que o maior valor ocorreu na estação amostral P5 (2,84). Já a estação P8 apresentou o menor valor (1,47). Quanto à riqueza específica, a estação amostral P5 apresentou o maior número de espécies (26) e o menor número

na estação P6 (8) e a Equitatividade de Pielou foi baixa na estação P8 (0,61) e mais alta em P5 (0,87).

A qualidade das águas neste período foi caracterizada pelas altas concentrações de alumínio e ferro dissolvido em quase todas as estações amostrais, além de sulfetos. A análise estatística realizada com os dados de densidade numérica das espécies mostrou uma dissimilaridade entre todas as estações amostrais, exceto entre P7 e P8.

Em setembro de 2024, representando o inverno, foram identificados apenas 41 táxons. Também se observou baixos valores de densidade numérica das espécies, exceto em P8, P2 e P7. O maior valor ocorreu na estação amostral P8 (30420 ind.m<sub>3</sub><sup>-1</sup>), seguida da estação amostral P2 (7800 ind.m<sub>3</sub><sup>-1</sup>), locais que recebem diretamente a contribuição de ambientes com característica lântica, principalmente pela abundância das formas jovens de Copepoda. Nestes, registrou-se a ocorrência e maiores valores de densidade absoluta das espécies de *Brachionus angularis* e *B. bidentata*, referidos na literatura como espécies descritoras de ambientes poluídos.

As estações amostrais P5, P3 e P4 apresentaram os maiores valores para o índice de diversidade de Shannon, sendo que o maior valor ocorreu na estação amostral P5 (2,70) e o menor valor (1,58) na estação P6. Quanto à riqueza específica, a estação amostral P5 apresentou o maior número de espécies (25) e o menor número na estação P6 (10). A Equitatividade de Pielou foi baixa na estação P8 (0,61) e mais alta em P3 (0,93).

A análise estatística com os dados de densidade numérica mostrou menor dissimilaridade entre P1 e P6 e maior entre as demais estações amostrais.

De uma forma geral, os resultados para a comunidade zooplânctônica indicaram que as estações amostrais P2, P6, P7 e P8 apresentaram mais baixa qualidade ambiental, quando comparadas com as demais.

#### 2.6.4. Macroinvertebrados Bentônicos

Responsabilidade técnica: MSc. Suzana Maria Fagundes de Freitas (CRBio:028851/03-D)

Para os quatro períodos amostrais, primavera (2023), verão, outono e inverno (2024) foi registrada uma abundância total (N) de 45.329 organismos aquáticos e semi-aquáticos distribuídos em 72 táxons, pertencentes aos Filos Arthropoda, Mollusca, Platyhelminthes e

Anellida. A classe Insecta representou a maioria dos táxons coletados. A seguir, na **Figura 1**, imagens de alguns dos vários táxons encontrados nos arroios monitorados.

**Figura 1** - Alguns dos táxons encontrados nos arroios monitorados.



A menor abundância de 4.224 ind. na primavera (2023), é baixa, quando comparada a outras campanhas já realizadas nesta estação sazonal. Os valores mais altos foram no verão (2024), 26.868 espécimes. No outono e inverno, a abundância total de invertebrados foi de respectivamente 5.120 e 9.117 ind.

De acordo com o esperado, por se tratar da macrofauna de arroios distintos, nas características físicas e no estado de conservação do seu entorno, houve diferença na composição da fauna de macroinvertebrados bentônicos, tanto em relação à riqueza taxonômica quanto na abundância dos diferentes táxons, entre as estações amostradas e destas em relação as estações sazonais.

A áreas de corredeira, associadas a pedras e folhiços e por entre a vegetação marginal, tem sido local de registro de maior abundância de organismos e riqueza de taxa, principalmente da classe Insecta, e entre eles aqueles reconhecidos como EPT's. Organismos que tem preferência por esses locais de acordo com os seus requisitos ambientais.

A hidrogeomorfologia que caracteriza o fundo das calhas fluviais, é composta pela alternância entre poço e águas brancas (corredeiras), poço e águas brancas, com exceção da

estação PM7, que tem o fundo na forma de lajeado, e a estação PM5 que apresenta o fundo arenoso contínuo. A estratégia amostral utilizada favorece a busca, da possibilidade de existência de organismos bioindicadores, com diferentes requisitos ambientais, distribuídos nos mesohabitats corredeira e remanso.

A estratégia amostral definida para este monitoramento teve o propósito de mostrar estas áreas por entender que favorece o encontro de uma gama maior e mais realista das espécies que compõem as assembleias dos diferentes arroios. Habitats distintos abrigando espécies com adaptações e características fisiológicas específicas, já testado e amplamente reconhecido na literatura. Por esta razão, de acordo com as características locais dos distintos arroios, diferentes amostradores são utilizados. De forma a não comprometer a aplicação dos descritores das comunidades e os índices de qualidade, de acordo com as condições ambientais existentes.

Após a análise da estrutura da macrofauna encontrada nos arroios, com aplicação de diversos índices envolvendo a composição, riquezas e abundancias, a aplicação do Índice BMWP auxiliou no reconhecimento do estado das águas dos locais monitorados. No **Quadro 1**, constam as classificações das águas, para cada um dos arroios, nas quatro campanhas sazonais.

**Quadro 1** - Classificação da qualidade hídrica em função das pontuações do Índice de BMWP. Fonte Loyola et al 2000.

Classe	Qualidade	Prim. 2023	Ver. 2024	Out. 2024	Inv. 2024
<b>I</b>	<b>Ótima</b>		PM1, PM2 e PM4	PM1 e PM4	
<b>II</b>	<b>Boa</b>	PM1 e PM4	PM3	PM3	PM1, PM2 e PM4
<b>III</b>	<b>Aceitável</b>	PM3		PM2	PM3
<b>IV</b>	<b>Duvidosa</b>	PM7	PM5, PM7 e PM8	PM5	PM5, PM7 e PM8
<b>V</b>	<b>Poluída</b>	PM2, PM5 e PM8		PM8	
<b>VI</b>	<b>Muito poluída</b>	PM6	PM6	PM7	PM6
<b>VII</b>	<b>Fortemente poluída</b>			PM6	

Na estação PM2, os valores de abundância e riqueza de taxa foram baixos, a razão entre EPT/Chironomidae foi de apenas 0,29, percentual, índice EPT de apenas 11,11% e apenas 3 táxons do grupo com uma classificação do índice BMWP de “águas poluídas” na primavera, por ter sido um dos arroios mais afetado pelas cheias, e de ótima qualidade no verão.

Durante períodos mais secos, a vazão é reduzida, resultando em uma maior variedade de trechos de retenção e correnteza. As espécies reofílicas (associadas a ambientes de correnteza e bem oxigenados) estão entre as mais importantes para os índices bióticos. Outono e inverno

foram classificados como de águas aceitável e boa, respectivamente. Prova disso é a recuperação no verão, apresentou os valores máximos de abundância absoluta (4802 ind.), com uma riqueza de 36 táxons, valores para o índice IBMWP mais altos, que a classificou como de águas ótimas.

Observa-se que a variação na vazão interfere na diferenciação entre os ambientes de correnteza e remanso, as chamadas áreas de remoção (fluxo rápido) e deposição (fluxo lento). Os dados de abundância muito baixos, atípicos, tendo-se como base uma série de dados anteriores, refletem as limitações da amostragem, em razão das condições encontradas, muitas amostras tiveram que ser colhidas às margens. Esta estação apresenta o impacto da atividade da fonte fria da térmica, isto é, quando acontece a abertura da comporta por conta das precipitações anômalas que tem acontecido com relativa frequência, quase transformada em novo normal. Esta estação amostral, de todas, é a primeira a receber e amortecer a elevação das águas acompanhadas de fluxos de tempestade não somente pelas taxas de precipitação, mas também pela cheia da fonte fria (montante do barramento) o que provoca a demanda pela abertura da comporta.

A PM3, apresentou os valores máximos de abundância absoluta (7032 ind.) registrada no verão. As maiores riquezas foram no verão e no outono, com 31 e 32 táxons. Os valores para o índice IBMWP classificam-se como de água “boa” no verão e no outono, e de “aceitável” na primavera e no inverno.

A PM4, também apresentou os valores máximos de abundância absoluta (4708 ind.) no verão, com uma riqueza de 34 táxons, valores para o índice IBMWP altos no verão e outono, Classe I, águas ótimas e águas boas na primavera e inverno. Com algumas exceções, fica evidente uma tendência na queda dos valores dos índices calculados das estações PM1, PM2, PM3 e PM4 para as demais estações, com uma queda acentuada na PM6.

Nas estações PM5 e PM7, a hidrogeomorfologia desfavorece o estabelecimento de espécies de táxons sensíveis, característicos de trechos de corredeira. Na PM5 a abundância total foi de 2.215ind, o valor máximo mais alto de abundância foi no verão, 1029ind. Presença de poucos EPT’ 8,08% para todo o período, a predominância de Baetidae e Caenidae. A maior abundância relativa de dípteros, oligoquetos Naidinae e Enchytraeidae. O BMWP calculado na primavera indicou a Classe V, de águas poluídas, e de Classe VI, águas de qualidade duvidosa nas campanhas que se seguiram.

Na estação PM7 o BMWP, corroborado por outros índices calculados, evidenciou uma qualidade “duvidosa” Classe V, na primavera, no verão e no inverno, e de Classe VI, no outono.

A estação PM8, com características distintas da PM5 e PM7, apresentou uma classificação de Classe IV duvidosa, verão e inverno, respectivamente. No verão apresentou uma riqueza de até 20 táxons, um pico de abundância de 6.112 ind. Nestas campanhas os valores percentuais de EPT, estiveram mais altos em razão da presença, em altas abundâncias de Hydropsichyidae e Polycentropodidae. Na primavera e outono, de Classe V águas poluídas.

A estação PM6, no Arroio Poacá, localizada após a contribuição da Sanga da Carvoeira, apresentou os piores índices nas quatro campanhas amostrais, com ausência total de EPT's, baixa abundância, riqueza e diversidade. É a estação amostral mais impactada considerando todas as análises, com uma indicação BMWP que variou entre classe VI, muito poluída, na primavera, verão e inverno, e a classe VII, como fortemente poluída, no outono.

A estação PM1, durante as quatro estações sazonais, não esteve entre os locais que apresentaram as maiores abundâncias, representando apenas 10,78% (4.886 ind.) da abundância total para o período, 2023-2024. Porém, com bons valores para a riqueza, de 40 táxons no verão a 29 táxons na primavera. Valores similares aos encontrados aos das estações PM4 e PM3. Com 19 táxons constantes, de baixa, média e alta sensibilidade. No outono apresentou o valor máximo de 39,74% para o índice percentual EPT, com a presença de até 8 táxons. Com uma classificação de Classe II, águas de boa qualidade na primavera e no outono e de Classe I, águas de ótima qualidade.

### **Espécies ameaçadas e espécies exótica**

Em relação às espécies potencialmente ameaçadas de extinção e as já ameaçadas, foram consultadas listas atualizadas (sites do MMA, IBAMA, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul). Registra-se para o período amostral a ocorrência de formas jovens de Hyriidae na estação PM1, com 36 ind., na PM4 com 4 ind.

Registra-se a presença de 26 exemplares do caranguejo do gênero *Aegla*, nas estações PM1, PM2 e PM3. Este gênero compreende 14 espécies ameaçadas no Rio Grande do Sul, sendo oito consideradas ameaçadas, cinco vulneráveis e uma criticamente ameaçada. Não foram encontradas outras espécies de macroinvertebrados bentônicos ameaçadas ou endêmicas nas amostragens. Ocorrência de *Aegla* sp nas estações, na PM1 (19 ind), PM2 (6 ind), PM3 (1ind.).

Em relação à entrada de espécies invasora ou potencialmente invasoras, da fauna de macroinvertebrados tem-se o registro de moluscos asiáticos da família Cyrenidae, *Corbicula flumínea* e *Corbicula* sp. nas estações PM1, com 3 ind.; PM2 com 122ind. PM4 com 15 ind.

## 2.7. MONITORAMENTO DE ICTIOFAUNA

Responsabilidade técnica: Biólogo Fábio Silveira Vilella – CRBio 25.827-03

O último ciclo anual de monitoramento, compreendido entre novembro de 2023 (primavera) e setembro de 2024 (inverno), foi marcado pela abrupta transição de uma longa sequência de eventos de estiagem para o evento climático de inundações mais catastrófico até o presente no território do Rio Grande do Sul. Do ponto de vista do Índice de Qualidade observa-se que as duas primeiras campanhas apresentam um padrão de IQ melhor, enquanto as campanhas realizadas após as enchentes têm o IQ menor. Esta tendência é mais claramente observada na rede de pontos de monitoramento a partir do ponto 3 em sentido jusante. Ainda que o ciclo anual de monitoramento tenha sido marcado por um evento climático extremo, alguns padrões históricos de comportamento do IQ mantiveram-se tais como a Muito Baixa Qualidade do ponto 6. O ponto 5 seguiu apresentando a condição de mais Alta Qualidade da área de estudo.

Com relação a análise de elementos contaminantes no músculo dos peixes não se observam alterações nos padrões observados no ciclo de monitoramento anterior (2022/2023). Arsênio, Cádmio e Chumbo não tiveram concentrações detectáveis registradas. O Cobre e o Níquel apresentaram situações esporádicas de presença detectável, mas nunca acima do Limite Máximo Tolerado (LMT). O Cromo apresentou concentrações muitas vezes acima do LMT em todos os níveis tróficos, sendo mais frequentemente registrado no músculo dos peixes onívoros (lambaris). Animais contaminados foram capturados nos pontos P1, P2, P7 e P8. O Manganês e o Zinco mantiveram o padrão histórico de concentrações em toda a rede de monitoramento e em todos os níveis tróficos, sendo os onívoros aqueles em que as maiores concentrações desses elementos podem ser encontradas. O Mercúrio segue sendo detectado em toda a rede de pontos de monitoramento e em todos os níveis tróficos analisados, sendo que concentrações acima do LMT são mais frequentes no músculo de peixes carnívoros (traíras e brancas). Considerando o histórico de dados observa-se o registro dos elementos analisados em níveis detectáveis nos três grupos tróficos estudados sendo os elementos mais frequentemente encontrados nas amostras analisadas foram o Zinco, o Manganês e o Mercúrio.

A pesca na região de monitoramento do arroio Candiota é essencialmente recreacional, não sendo de nosso conhecimento a exploração de subsistência desse recurso. No entanto,

devido ao conjunto de registros de concentrações detectáveis de elementos-traço e metais pesados e, especialmente *as elevadas concentrações registradas para mercúrio na carne de peixes carnívoros como traíras e brancas (Oligosarcus sp.), do Arsênio nos cascudos e mais recentemente o significativo aumento de amostras contaminadas com cromo em todos os níveis tróficos e em toda a rede de monitoramento, alerta-se para a necessidade de uma ação no sentido de informar a população para o risco à saúde representado pelo consumo da carne dos peixes do arroio Candiota, mesmo que de maneira esporádica, na medida em que os metais encontrados são cumulativos no organismo.*

*Os dados encontrados no monitoramento abrem questionamento para a possibilidade de propagação da contaminação encontrada no arroio Candiota para as porções de jusante da bacia hidrográfica do rio Jaguarão onde, no município de Jaguarão, existe a atividade de pesca comercial e de subsistência.*

## CONCLUSÕES – AMBIENTE TERRESTRE

### 3. PROGRAMA DE MONITORAMENTO PARA O AMBIENTE TERRESTRE

A área monitorada neste programa, e que está relatada neste documento, compreende cinco estações amostrais distribuídas de uma forma a investigar o estado de qualidade do ambiente terrestre pelo período de um ano. A direção das cinco estações de monitoramento do ambiente terrestre em relação à Usina Termelétrica Candiota e o objetivo das estações são apresentadas a seguir:

- **EA1** - Fazenda Serra da Veleda (EA de referência) - Direção Leste a partir da Usina:  
- Avaliar o background da região
- **EA2** - Fazenda Três Lagoas - Direção Sudoeste a partir da Usina: Avaliar a contribuição direta da fonte de emissão sobre o ecossistema terrestre na direção predominante do vento
- **EA3** - Fazenda Candiota - Direção Noroeste a partir da Usina: Avaliar a contribuição direta da fonte de emissão na direção predominante secundária do vento.
- **EA4** - Fazenda Santa Clara - Direção Nordeste a partir da Usina: Avaliar o impacto sobre o ecossistema terrestre na direção nordeste
- **EA5** - Fazenda Santa Rita - Direção Sudeste a partir da Usina: Validar a estação de referência.

#### 3.2. MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO

Responsabilidades técnicas: Biólogo MSc Rogério Both – CRBio 34219 e Biólogo Dr. Paulo Luiz de Oliveira – CRBio 017220

##### *Mapeamento da Vegetação Campestre*

A partir dos dados de monitoramento da composição florística das comunidades campestres nas Estações Amostrais (EAs) avaliadas é possível sintetizar os seguintes resultados:

- No atual período de monitoramento (2023-2024) **foram inventariadas 152 unidades taxonômicas (espécies)**, das quais apenas duas espécies não pertencem às Angiospermas, sendo uma Briófito (musgo) e uma Pteridófito (*Ophioglossum crotalophoroides*, Família Ophioglossaceae).

- **A riqueza de espécies registrada (152 espécies) é semelhante a de outras regiões do RS**, onde a média dos valores de riqueza específica reportada pela literatura é de 159 espécies.

- De forma semelhante a outros estudos realizados em diferentes locais do sul do Brasil, **as famílias de Angiospermas mais abundantes** (Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Rubiaceae, Plantaginaceae, Oxalidaceae, Apiaceae e Caryophyllaceae) representam cerca de 72% das espécies registradas em todas as EAs.

- **A oscilação sazonal da precipitação pluviométrica é relacionável à variação dos valores de riqueza de espécies**, de cada EA, nas quatro estações do ano, em consequência da redução na disponibilidade hídrica para as plantas.

- **Foram registradas três espécies ameaçadas de extinção**, conforme definidas e elencadas na Lista Oficial da Flora Ameaçada de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul (Decreto Estadual nº 52.109/2014) e na Lista Nacional Oficial de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção (Portaria MMA n.º 443, 17/2014, do Ministério do Meio Ambiente). São elas: ***Chaptalia arechavaletae* Hieron.** (Asteraceae) na EA2 (Fazenda Três Lagoas), classificada como **Em Perigo (EN)** pelo Decreto Estadual nº 52.109/2014; ***Crocantemum brasiliense* Spah.** (Cistaceae) na EA3 (Fazenda Três Lagoas), classificada na categoria **Em Perigo (EN)** pela Portaria MMA n.º 443, 17/2014 e ***Oxalis refracta* A. St.-Hil.** (Oxalidaceae), registrada na EA3 (campanhas de verão e inverno de 2024) e na EA4 (campanha de inverno de 2024), classificada como **Criticamente Ameaçada (CR)** pelo Decreto Estadual nº 52.109/2014.

- A ocorrência de espécies ameaçadas de extinção na EA3 (Fazenda Três Lagoas), em momentos coincidentes com o período de inatividade da Usina Termelétrica de Candiota (01 de abril a 25 de setembro de 2024), **demandam uma atenção especial sobre a permanência das espécies ameaçadas de extinção após a retomada plena das atividades de geração térmica de energia.**

- **Foram identificadas 21 espécies de origem exótica:** *Cyclosporum leptophyllum* (Apiaceae); *Cirsium vulgare*; *Hypochaeris glabra*; *Hypochaeris radicata*; *Senecio madagascariensis* (Asteraceae); *Lepidium aletes* (Brassicaceae); *Cerastium glomeratum*; *Stellaria media* (Caryophyllaceae); *Scoparia dulcis*; *Veronica arvensis* (Plantaginaceae); *Briza*

*minor*; *Cenchrus clandestinus*; *Cynodon dactylon*; *Eragrostis plana*; *Lolium multiflorum*; *Poa annua*; *Sporobolus indicus*; *Vulpia bromoides* (Poaceae); *Rumex obtusifolius* (Polygonaceae); *Lysimachia mínima* (Primulaceae) e *Urtica dioica* (Urticaceae)

- **Em quatro das cinco EAs a espécie com maior Valor de Importância (VI) é de origem exótica, sendo em duas delas uma espécie exótica invasora.** (E1-Fazenda Veleda e EA2-Fazenda Três Lagoas com *Cenchrus clandestinus* e EA4-Chácara Santa Clara e EA5-Fazenda Santa Rita) com *Eragrostis plana*.

- **Entre as espécies invasoras constatadas nas EAs inventariadas, merece atenção o *Eragrostis plana* Nees (capim-annoni)**, uma gramínea sul-africana, introduzida acidentalmente no Rio Grande do Sul na década de 1950, que se destaca por ser a espécie com maior Valor de Importância (VI) em três das cinco EAs monitoradas. A importância e a repercussão econômica, cultural, social e ecológica da expansão do capim-annoni são amplamente reconhecidas na literatura. A espécie é classificada na Lista de Espécies Exóticas Invasoras do Estado do Rio Grande do Sul (Portaria SEMA nº 79/2013) como **Categoria 2**, que se refere a espécies que podem ser utilizadas em condições controladas, com restrições, sujeitas à regulamentação específica.

- **Entre as espécies invasoras registradas merecem destaque *Cirsium vulgare* (Savi) Ten. e *Cynodon dactylon* (L.) Pers.**, classificadas na Portaria SEMA nº 79/2013 como **Categoria 1**, que se refere a espécies que têm proibido seu transporte, criação, soltura ou translocação, cultivo, propagação (por qualquer forma de reprodução), comércio, doação ou aquisição intencional sob qualquer forma.

- As atividades humanas diretas, especialmente **a agricultura e a pecuária, parecem responder preponderantemente pelo declínio gradual na diversidade de espécies** e na consequente descaracterização das formações campestres ao longo dos anos.

- Uma ampla avaliação, abrangendo **o período compreendido ente novembro de 2016 e agosto de 2024, evidencia uma sutil redução nos valores de Riqueza Média de espécies**, em todas as estações de monitoramento.

- Em relação a qualidade ambiental das Estações Amostrais avaliadas obteve-se o seguinte **Ranking de Qualidade Ambiental: EA3 (Fazenda Candiota); EA1 (Fazenda Serra do Veleda); EA2 (Fazenda Três Lagoas); EA4 (Chácara Santa Clara) e EA5 (Fazenda Santa Rita)**, do maior para o menor grau de qualidade ambiental, respectivamente.

- Os resultados obtidos no atual período de monitoramento, concomitantemente com as informações apuradas no período 2017-2023, consolidam o entendimento de que **não é**

**possível vincular, diretamente, as atividades desenvolvidas pela Usina Termelétrica de Candiota com as mudanças na composição florística** das comunidades sob monitoramento.

- No presente monitoramento **não foram encontrados indícios visíveis de deposição de material particulado sobre a vegetação**. Não foram constatadas alterações morfológicas externas em órgãos vegetativos e reprodutivos observados a campo, durante a identificação e quantificação das espécies *in loco*.

- Por outro lado, a presença de **espécies exóticas, espécies invasoras e o clima parecem ser fatores importantes na redução da riqueza de espécies** das comunidades vegetais avaliadas.

- O amplo conjunto de descritores de qualidade ambiental que vem sendo gerado ao longo dos anos de monitoramento, através dos diferentes estudos realizados nos compartimentos terrestre, aéreo e aquático, poderá subsidiar a detecção de futuras alterações nesses descritores, estejam elas relacionadas diretamente, ou não, à geração térmica de energia elétrica.

**Observação:** Maiores informações podem ser obtidas no Capítulo 6.1. MONITORAMENTO DA VEGETAÇÃO do Relatório Anual de Monitoramento da Usina Termelétrica de Candiota (ano de 2023-2024 e anteriores)

### 3.3. MONITORAMENTO DA AVIFAUNA

Responsabilidade técnica: Biólogo Dr. Jan Karel Felix Mähler Jr. - CRBio 09872-03

#### Estudo da Avifauna:

Estudos de populações de aves como indicadores de alterações ambientais são frequentemente utilizados. Alguns fatores favorecem a utilização da avifauna para a determinação da qualidade de seus ambientes: as aves estão presentes em diferentes tipos de ambiente, ocupando uma grande diversidade de nichos ecológicos, apresentam comportamento relativamente conspícuo, o que permite a identificação em campo sem a necessidade de captura, além de serem bem conhecidas do ponto de vista taxonômico<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> GRABER, J. W.; GRABER, J. W.; GRABER, R. R. **Environmental evaluations using birds and their habitats**. Urbana: State of Illinois Dept. of Registration and Education, Natural History Survey Division, 1976. p. 2-3 Disponível em: <https://doi.org/10.5962/bhl.title.15041>; VIELLIARD, J. M. E. *et al.* Levantamento

Ao longo deste último ano, tanto a riqueza nas estações amostrais como a abundância de algumas espécies foram menores em comparação a anos anteriores de monitoramento. Essa diminuição vem se repetindo nos últimos anos de monitoramento.

Em decorrência dos resultados acima referidos no monitoramento da avifauna em Candiota nos últimos anos, seria importante a continuidade do monitoramento, podendo ser elaborados ajustes na metodologia e a possibilidade de inclusão de estratégias de restauração e conservação ambiental. Para uma avaliação detalhada da bioacumulação de metais pesados na avifauna, recomenda-se no futuro a realização de estudos de aspectos fisiológicos em espécies predeterminadas de aves.

Pode ser planejado um estudo abrangente e integrado, considerando potenciais fontes de impacto provenientes da Usina Termelétrica de Candiota e de outros empreendimentos similares na região e inclusão de efeitos originários de práticas agrícolas, discutindo-se previamente a extensão da área a ser contemplada nesse monitoramento.

### **3.4. MONITORAMENTO DA HERPETOFAUNA**

Responsabilidade técnica: Jorge Sebastião Bernardo Silva – CRBio 45206-03D

#### **Estudo da Herpetofauna**

Em contraste com 2023, o ano de 2024 foi marcado por chuvas intensas e por um grande desastre ambiental no Rio Grande do Sul. O aumento da temperatura e das chuvas afetou a biodiversidade local, especialmente a fauna. Os dados de monitoramento indicam que 2023 teve a menor diversidade de herpetofauna, enquanto 2024 mostrou um aumento significativo na variedade de espécies devido às chuvas. Após a campanha de 2023, a primeira campanha do novo contrato em 2024 já apresentou uma abundância maior de organismos.

A fragmentação de habitats é uma das principais causas do declínio da biodiversidade global. O Brasil, famoso por sua rica biodiversidade, também sofre com o desaparecimento de várias espécies. No Rio Grande do Sul, cerca de cem espécies de anfíbios foram catalogadas, e novas descobertas são frequentes. Em Candiota, foram identificadas vinte e duas espécies de anfíbios, mas nosso monitoramento registrou apenas dezenove. Uma atualização recente mostra

---

quantitativo por pontos de escuta e o Índice Pontual de Abundância. p. 47 Em: MATTER, S. von (org.).

**Ornitologia e conservação: ciência aplicada, técnicas de pesquisa e levantamento.** 1a eded. Rio de Janeiro: Technical Books Editora, 2010.

que, na região, trinta e duas espécies de répteis foram documentadas, mas somente vinte foram observadas em nosso estudo.

As amostragens de répteis revelaram uma grande dificuldade em capturar todos os grupos, devido às características das espécies. As áreas com maior impacto ambiental, como as próximas a minas de carvão, apresentaram significativa perda de habitat (em especial a EA3 e EA5). Essa degradação, apesar de resultar em alguma diversidade em áreas afetadas, não indica uma melhora no ambiente. Ao contrário, as espécies se tornaram mais vulneráveis e sem alternativas de habitat. Estações amostrais não mostraram diferenças significativas em relação ao número de anuros. A fragmentação de habitats, resultado de atividades humanas, continua a ser um fator de risco para a diversidade de répteis e anfíbios.

Os dados de monitoramento ao longo dos anos mostraram um declínio no número de espécies observadas, refletindo a intensa interação de diversos fatores que impactam a fauna local. Embora a migração de espécies de áreas vizinhas afetadas pela mineração possa aumentar os registros em certas áreas, isso não significa melhora das condições ambientais.

A degradação no entorno das áreas amostrais influencia diretamente a diversidade e a quantidade de espécies. As condições do ambiente, incluindo poluição e alteração da paisagem, devem ser monitoradas continuamente. Recomenda-se uma revisão dos critérios utilizados para monitoramento, enfatizando a importância de avaliar também o pH e a qualidade dos corpos d'água, além da fragmentação do habitat por meio de imagens de satélite.

### **3.5. BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO AR- FLORA**

Responsabilidade técnica: Carolina Trindade Perry – CRBio N° 058286/03-D

#### **Avaliação da Vegetação e do Solo (Monitoramento Passivo e Ativo):**

A Usina Termelétrica de Candiota ficou parada para a manutenção entre 1 de abril a 25 de agosto de 2024, não havendo emissões atmosféricas pela usina nesse período. Contudo, ocorreram emissões atmosféricas produzidas pelas diversas atividades antrópicas na região de Candiota (agricultura, mineração, geração de energia pela queima de carvão, fabricação de cimento). Em geral o corpo receptor primário é a vegetação, os elementos inorgânicos podem se depositar sobre o solo ou percolar este até atingir águas subterrâneas ou corpos hídricos superficiais.

A contaminação ambiental pode persistir por longo período mesmo após a cessação das atividades poluidoras antrópicas, seja via absorção pelas raízes de poluentes acumulados no solo ou por sua ressuspensão e subsequente deposição sobre a superfície foliar. A presença de metais nessa coleta foi pontual, mas presente, isto pode ser devido tanto pela absorção a partir do solo como resultado da continuidade das atividades mineradoras de carvão próximo à EA 2 (Fazenda Três Lagoas) ou calcário na EA 5 (Fazenda Eugênio Fagundes) como da atividade cimenteira na região.

Há um claro indicativo de que mesmo com a inatividade da usina termelétrica outras fontes poluidoras podem ter contribuído para a contaminação da biota terrestre; ao que tudo indica, essas fontes podem ser a mineração de carvão junto à Fazenda Três Lagoas (EA 2) e a cimenteira próxima à AFUCAN (EA 8). Apesar dos níveis de cádmio estarem acima do sugerido como seguro para consumo humano de acordo com a OMS, não foram encontradas evidências que os teores de elementos-traço encontrados ultrapassem os níveis considerados tóxicos para a ampla maioria das plantas.

### **3.7. MONITORAMENTO DA ATIVIDADE PECUÁRIA**

Responsabilidade técnica: Médica Veterinária Dr<sup>a</sup>. Verônica Schmidt - CRMV/RS N°3544

#### Avaliação da **Pecuária** e Impactos dos Contaminantes/Poluentes:

O monitoramento da atividade pecuária tem como objetivo geral caracterizar os impactos das emissões da Usina Termelétrica Candiota, na atividade pecuária local. Para tanto, solo, extrato vegetal e animais são monitorados.

Na amostragem do solo, em cada EA foram coletadas 25 unidades amostrais de solo superficial, de 0 a 20 cm de profundidade, as quais foram homogeneizadas para formação da amostra composta (totalizando cerca de 500g de solo). Para análise do extrato vegetal foram coletadas, em cada EA, uma amostra representativa constituída por, no mínimo, 18 unidades amostrais de *Paspalum notatum* Flueggé (grama forquilha, Poaceae). As amostras de extrato vegetal e solo, identificadas por EA, foram encaminhadas ao Laboratório CEIMIC Regional Sul Análises Químicas e Toxicológicas Ltda. para quantificação de fluoretos e sílica.

Quanto aos animais de produção, verificou-se que os bovinos presentes nas EAs não atendem aos requisitos para constituírem unidade amostral. Nos ovinos foram avaliadas

alterações dentárias (dentição, rasamento excessivo, presença de cárie, fraturas, exposição de polpa, entre outros) e o índice de mosqueamento (presença de manchas de cor amarela, castanha ou negro esverdeada). Os animais são contidos para avaliação da cavidade oral e os dados foram anotados em planilha e os dentes incisivos fotografados para posterior determinação do índice de mosqueamento. A presença quanti-qualitativa de mosqueamento nos dentes incisivos dos animais amostrados está fundamentado em descrição anterior, utilizando a seguinte escala: 1= sem alteração, 2= poucas manchas, 3=várias manchas, 4= muitas manchas e lesão no esmalte dentário, 5= manchas, lesão no esmalte dentário e desgaste dentário excessivo.

Neste período de monitoramento as quantidades de fluoretos determinadas no extrato vegetal (pastagem) variaram entre de  $<0,007$  a  $0,64 \text{ mg.Kg}^{-1}$  apresentando apenas uma vez (na EA5 e na EA1 no outono) valor de acordo com às quantidades mínimas descritas como causadoras de patologia nos animais -  $0,5$  a  $1,7 \text{ mgF/kg}$  de amostra.

No outono, exceto na EA4, os valores de fluoretos determinados na pastagem estiveram dentro do limite mínimo para causar fluorose. No inverno, as quantidades observadas foram bem abaixo do limite mínimo.

Nas amostras de solo, os valores de fluoretos estavam abaixo do limite mínimo para causar patologia crônica, exceto na EA3 no inverno.

A quantificação de sílica nas plantas foi quantificada entre  $7,2$  a  $35,6 \text{ mgS.L}^{-1}$  estando dentro dos parâmetros considerados para disponibilização às plantas. A quantificação de sílica no solo apresentou grande variabilidade, sendo maior no inverno, exceto na EA3 e na EA2. Considerando o período intenso de chuvas observado no período, o nutriente nesta forma pode ter sido lixiviado, pois é um dos elementos que mais se deslocam no perfil do solo.

A dentição dos animais variou de 2 a 8 dentes, sendo que a média variou de 6 a 8 dentes. Este é um reflexo da manutenção de animais mais velhos (produção de lã) e venda de animais jovens (para abate). Não foram observados animais com desgaste em bisel labial (desgaste errôneo) mas, a maior frequência observada foi de desgaste em bisel (normal). Embora com idade média elevada, em todas as EAs, apenas a EA2 e EA3 apresentam mais de 30 e 20%, respectivamente, dos animais amostrados com desgaste dentário excessivo, com casos de desgaste em meia lua (precursor do desgaste rasado) em todas as EAs. Na EA1 (Estação amostral controle) os animais apresentam o menor percentual de desgaste rasado, uma vez que os animais monitorados fazem parte do rebanho de cria (reprodução) da unidade produtiva.

O mosqueamento pode ser observado em todas as EAs amostradas com maior frequência na EA2, seguida pela EA4. O índice de mosqueamento mais grave (IM5) não foi

observado em nenhuma das Estações Amostrais no período. A EA2 apresentou frequências próximas entre os índices IM1 a IM4. Na EA1 (estação controle), como era esperada, observou-se maior frequência de IM1. Embora a dentição média dos animais da EA3 seja elevada, os índices observados foram IM1 e IM2. Deve-se ressaltar que o mosqueamento pode ser decorrente da poluição atmosférica causada por diversos tipos de fábricas: produção de adubo, aço e ferro, tijolos e cerâmica.

Como conclusão do monitoramento neste período, observou-se baixa frequência de alterações dentárias em todas EAs, exceto rasamento excessivo na EA2 e EA3. Os valores quantitativos de flúor em planta e solo, como apresentado ao longo deste relatório, embora por vezes acima do limite mínimo para causar mosqueamento (fluorose), não são constantes e, com isso, os animais não têm exposição crônica ao poluente para que este, isoladamente, cause lesão dentária nos animais.