

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**BOVINOS COMO BIOINDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM REGIÃO  
SOB INFLUÊNCIA DE USINA TERMELÉTRICA**

**Tatiana Regina Vieira**

**Porto Alegre**

**2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE VETERINÁRIA**

**BOVINOS COMO BIOINDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM REGIÃO  
SOB INFLUÊNCIA DE USINA TERMELÉTRICA**

Autor: Tatiana Regina Vieira

Monografia apresentada à Faculdade de Veterinária como requisito parcial para obtenção de graduação em Medicina Veterinária

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Verônica Schmidt  
Coorientador: Msc. Eduardo de Freitas Costa

**Porto Alegre**

**2014**

## Ficha catalográfica

### CIP - Catalogação na Publicação

Vieira, Tatiana Regina  
BOVINOS COMO BIOINDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL  
EM REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DE USINA TERMELÉTRICA /  
Tatiana Regina Vieira. -- 2014.  
46 f.

Orientador: Verônica Schmidt.  
Coorientador: Eduardo de Freitas Costa.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade  
de Veterinária, Curso de Medicina Veterinária, Porto  
Alegre, BR-RS, 2014.

1. Bovinos. 2. Bioindicadores. 3. Usina  
Termelétrica. I. Schmidt, Verônica, orient. II.  
Costa, Eduardo de Freitas, coorient. III. Título.

## AGRADECIMENTOS

À minha Orientadora, professora Verônica Schmidt, que desde o segundo semestre acompanha minha jornada, mostrando-me que é possível sonhar acordada e realizar nossos sonhos, com muito trabalho, é claro. Obrigada Professora, pela amizade, companheirismo, confiança e por "dar asas" à minha imaginação, sempre disposta e com brilho nos olhos por fazer o que gosta, compartilhando comigo seu amor pelas cabras e pelos desafios e aventuras.

Ao meu Coorientador, Eduardo pela generosidade de aceitar esta tarefa mesmo com todas as atribuições do doutorado e infinitas análises estatísticas. Obrigada pela paciência, dedicação e carinho dispensados a mim, as aulas de matemática serão levadas comigo para sempre.

À minha família pelo amor e carinho demonstrados em todos estes anos, sem deixar que eu esquecesse o quanto minha ausência era sentida. Aos meus sobrinhos e sobrinhas, de sangue e de coração, que me servem de inspiração para lutar e mostrar-lhes que tudo é possível quando buscamos nossos sonhos.

Ao meu esposo que esteve comigo em todos os momentos desta jornada, se fazendo presente e tornando minha vida acadêmica bem mais fácil, muitas vezes sem entender porque eu ficava triste, mas mostrando que estava ali se eu precisasse.

Aos amigos, colegas e professores do Laboratório de Medicina Veterinária Preventiva com quem aprendi muito e que levarei sempre comigo.

Às minhas amigas Bruna, Cristina, Cristine, Daniela, Lia, e Paula pelo apoio e companheirismo em todos estes anos, por dividirem comigo as alegrias e angústias e tentarmos superá-las juntas, sem vocês tudo seria mais difícil.

Aos produtores de Candiota/RS senhores: Alfredo, Álvaro Barbosa (*in memoriam*) à "vizinha e o vizinho", Clair, Custódio ("Bino e Bina"), Francisco, Paulo, José Paiva, Álvaro Teixeira, e às suas famílias e colaboradores por receberem nossa equipe com tanto carinho. Sem vocês não seria possível a realização deste trabalho de conclusão. Meu agradecimento especial ao Sr. Walter ("Pitiço" *in memoriam*) que mesmo no final da sua jornada neste plano nos esperava com a costela assada e muito carinho. Obrigada a todos pelos ensinamentos que serão levados por toda minha vida profissional e pessoal. A todos que fizeram e fazem parte desta equipe maravilhosa Milene, Andréa, Cristiane, Daniela, Nicolas, Gisele, Adriano e claro nossa inspiradora, Professora Verônica.

Agradeço a Deus por ter colocado pessoas tão especiais no meu caminho.

## RESUMO

A região Sul do Brasil possui as maiores jazidas de carvão mineral do país sendo a Usina Termelétrica Presidente Médici, no Rio Grande do Sul, responsável pela geração de 446 MW de energia. A exploração do carvão, como qualquer combustível fóssil, pode causar prejuízos ao meio ambiente e à produção animal e, dentre os subprodutos lançados na atmosfera, o flúor pode causar intoxicação nos animais reduzindo sua vida produtiva. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivos: monitorar os efeitos da poluição causada pela combustão do carvão mineral de uma usina termelétrica em bovinos de corte, a partir da observação de alterações dentárias; avaliar o modelo animal bovino como bioindicador ambiental na região; determinar os níveis de poluentes como fluoretos e sílica no solo e pastagens. Para tanto, no período de outubro de 2011 a janeiro de 2014, visitaram-se cinco unidades produtivas da região (quatro situadas em área sob influência da Usina e uma fora do perímetro de influência da Usina). Foram observados e fotografados os dentes incisivos de 613 bovinos para definição dos índices de mosqueamento (lesões dentárias compatíveis com intoxicação crônica por flúor) e coletadas amostras de solo e pastagem para determinação de flúor e sílica. Observou-se aumento significativo de ocorrência das alterações dentárias nas estações amostrais no perímetro de influência da Usina, bem como o aumento de chance de ocorrer índices de mosqueamento mais altos nestas estações. As concentrações da sílica na pastagem apresentaram diferenças entre as estações amostrais e entre os anos. A ação deste elemento nos animais não foi analisada devido à falta de informações dos rebanhos, como a idade dos animais. Os resultados deste estudo apontam para a necessidade da manutenção do monitoramento ambiental, salientando que a Usina não é a única fonte poluidora na região, sendo necessária uma avaliação mais abrangente quanto às demais fontes. Apesar do modelo bovino ter se mostrado como um bioindicador de qualidade ambiental neste estudo, o sistema de criação (terminação) utilizado em parte das propriedades estudadas, faz com que este não seja o modelo de bioindicação mais adequado para a região.

**Palavras-chave:** bovinos, bioindicador, carvão mineral, Candiota.

## **ABSTRACT**

*The Southern region of Brazil has the largest deposits of mineral coal of the country being the Thermoelectric Plant President Medici, in Rio Grande do Sul, responsible for the generation of 446 MW of Power. The use of coal, as any fossil fuel, can cause damage to the environment and the animal production and, among the by-products released in the atmosphere, the fluorine can cause intoxication in animals by reducing their productive life. Considering the above, the objectives of this study are to: monitor the effects of pollution caused by the combustion of coal in a thermoelectric plant in beef cattle, from the observation of dental abnormalities; assess the animal model bovine as bioindicator environmental in the region; to determine the levels of pollutants such as fluoride and silica in soil and pastures. For both, in the period of October 2011 to January 2014, were visited five production units of the region (four located in an area under the influence of the Plant, and a outside the perimeter of influence of the Plant). Were observed and photographed the incisor teeth of 613 cattle for definition of indexes of mosqueamento (dental lesions compatible with chronic intoxication by fluorine) and collected samples of soil and pasture for determination of fluorine and silica. We observed a significant increase of the occurrence of dental abnormalities in sampling stations within the boundaries of influence of the Plant, as well as the increase of chances of indices of mosqueamento highest in these stations. The concentrations of silica in the pasture showed differences between the sampling stations and between the years. The action of this element in the animals was not analyzed due to the lack of information of flocks, as the age of the animals. The results of this study indicate the need for maintenance of environmental monitoring, stressing that the Plant is not the only polluting source in the region, and it is necessary a more comprehensive assessment with respect to the other sources. In spite of the model bovine have been shown as a bioindicator of environmental quality in this study, the system of creation (termination) used in some of the properties studied, shows that this is not the model of bioindicação more suitable for the region.*

**Key words:** *cattle, bioindicators, mineral coal, Candiota.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estágios de carbonificação.....	14
Figura 2 - Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná (RS, SC, PR).....	15
Figura 3 - Localização do Município de Candiota/RS.....	20
Figura 4 - As funções dos bioindicadores em cada categoria de bioindicação.....	23
Figura 5 - Localização das Estações amostrais em relação à UTPM (de dentro para fora: distâncias de 5 km, 10 km e 30 km).....	30
Figura 6 - Escala para cálculo do índice de mosqueamento.....	31
Figura 7 - Desgaste excessivo dos dentes com exposição de polpa dentária e difícil visualização e avaliação quanto ao mosqueamento.....	32
Gráfico 1 - Perfil de probabilidades acumuladas dos índices de mosqueamento em cada EA e ano.....	36
Gráfico 2 - Média anual de sílica na pastagem por estação amostral.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - 26 elementos-traço considerados de interesse ambiental, organizados da esquerda para direita conforme importância na poluição ambiental (I, II, III).....	19
Tabela 2 - Posição geográfica e distância das estações amostrais a partir da UTPM.....	31
Tabela 3 - Distribuição dos animais monitorados conforme idade estimada pelo número de dentes.....	30
Tabela 4 - Frequência de índices de mosqueamento nos grupos avaliados e a chances de cada mosqueamento.....	34
Tabela 5 - Concentrações de sílica no solo e pastagens por estação amostral.....	38



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Monitoramento ambiental .....</b>	<b>11</b>
2.1.1	Programas de monitoramento .....	11
<b>2.2</b>	<b>Atividade carbonífera.....</b>	<b>13</b>
2.2.1	Carvão mineral.....	13
2.2.2	Carvão mineral brasileiro.....	14
2.2.3	Carvão mineral e o meio ambiente .....	16
2.2.4	Influência da atividade carbonífera na produção animal .....	18
<b>2.3</b>	<b>O município de Candiota .....</b>	<b>20</b>
2.3.1	Caracterização dos sistemas de produção animal no Município .....	21
<b>2.4</b>	<b>Biomonitoramento .....</b>	<b>21</b>
2.4.1	Alterações dentárias em animais como parâmetro para monitoramento da qualidade ambiental.....	24
<b>2.5</b>	<b>Intoxicação por flúor .....</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>ARTIGO - BOVINOS COMO BIOINDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DE TERMELÉTRICA .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Material e métodos.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3</b>	<b>Resultados e discussão .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O carvão mineral ocupa o primeiro lugar no *ranking* dos recursos energéticos não renováveis, em abundância e perspectiva de vida, representando, a longo prazo, a mais importante reserva energética mundial abaixo, apenas, do petróleo na composição da matriz energética global.

As reservas brasileiras se concentram nos três estados do Sul do País, sendo a jazida de Candiota, no Rio Grande do Sul, considerada a principal jazida carbonífera brasileira, explorada para geração de 446 MW de energia. Apesar das controvérsias no uso deste combustível fóssil quanto à poluição ambiental gerada após sua combustão, é inegável sua importância na matriz energética brasileira constituída, principalmente, por hidroelétricas, castigadas nos últimos anos pela escassez de chuvas.

A exploração do carvão na região de Candiota e as novas atividades industriais trouxeram preocupações quanto a manutenção das atividades até então predominantes (criação de bovinos e ovinos) devido a modificações no ambiente natural pela deposição de pó de cinzas volantes na vegetação (o que interfere na fotossíntese e balanço energético de folhas) e o enriquecimento destas com metais pesados que podem ser dispersos no meio ambiente (SAWIDIS *et al.*, 2001), podendo causar prejuízos aos animais.

Dentre os possíveis prejuízos aos animais podem ser citados: o efeito de metais pesados sobre o sistema imunológico e o desgaste excessivo dos dentes pela deposição de sílica sobre a vegetação, apontado como um fator limitante importante no tempo de vida dos animais (MARTIN *et al.*, 2008).

Além disso, o impacto das emissões de poluentes é questionado por produtores da região e pelo país vizinho, Uruguai, o qual atribuiu a ocorrência de chuva ácida às atividades da Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM). Desde a implantação da Usina estudos são realizados no seu entorno, sugerindo interferência das atividades desta na modificação do ambiente natural e na saúde dos animais. Entre os estudos realizados com animais, foi observado que bovinos criados em estabelecimentos mais próximos da termelétrica apresentavam desgaste dentário superior aos criados em estabelecimentos mais distantes (RIET-CORREA *et al.*, 1986) e tal desgaste pode interferir na ingestão de alimentos e diminuir o tempo de vida produtiva dos animais.

Ao longo dos anos, as pesquisas contribuíram para o esclarecimento de alguns fatores ligados à emissão de poluentes pela Usina e na busca por ações mitigadoras dos impactos no meio ambiente e na saúde da população. Atividades de monitoramento constante são

necessárias para que se possam agir rapidamente caso se tenha um problema no sistema, evitando danos à saúde da população da região e arredores.

Considerando o exposto, o presente estudo tem como objetivos: monitorar os efeitos da poluição causada pela combustão do carvão mineral em uma usina termelétrica em bovinos de corte no município de Candiota/RS, a partir da observação de alterações dentárias e avaliar o modelo animal bovino como bioindicador ambiental na região; determinar os níveis de poluentes como fluoretos e sílica no solo e pastagens e suas consequências para a saúde animal.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os temas relevantes para o entendimento do foco da presente monografia: os bovinos como bioindicadores dos efeitos adversos da combustão do carvão sobre a atividade agropecuária. Para tanto, serão apresentados temas relativos ao monitoramento ambiental, poluição decorrente da atividade carbonífera e os sistemas produtivos locais, com foco na bovinocultura de terminação.

### 2.1 Monitoramento ambiental

Entende-se por monitoria a medida continuada de uma variável no tempo, através de uma atividade repetitiva e regular. Segundo Pivetta *et al.* (2001), o monitoramento na área ambiental foi sempre entendido como atividade preventiva desenvolvida para evidenciar ou medir risco. Para os técnicos do Ministério do Meio Ambiente, o entendimento de monitoramento ambiental é mais amplo sendo descrito como o conhecimento e acompanhamento sistemático da situação dos recursos ambientais dos meios físico e biótico, visando à recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental. A qualidade ambiental está relacionada ao controle de variáveis ambientais, que se alteram, seja em função das ações antrópicas, seja em função de transformações naturais (BRASIL, 2009).

O monitoramento, visto como a avaliação de efeitos de agentes estressores, fornece informações a respeito de sobrecargas e sobre a necessidade da existência de medidas de proteção e funciona como um controle do sucesso dos procedimentos técnicos adotados e como fator de decisão no empreendimento da proteção ambiental, permitindo a documentação espacial e temporal de uma sobrecarga (LIMA, 2000).

O monitoramento ambiental, como qualquer outro monitoramento, consiste num grupo de ações pré-determinadas de observações sistemáticas que tem como objetivo obter informações sobre as características de um problema no tempo e no espaço, para tanto são criados programas de monitoramento. Para Tommasi (1979), todo programa de monitoramento deve poder identificar as condições existentes e sua variação num dado período de tempo.

#### 2.1.1 Programas de monitoramento

Programas de monitoramento/monitorização exigem estudo cuidadoso, complexo e muitas vezes de longa duração, lançando mão de diferentes métodos comparáveis de amostragem, análise e de sensoriamento. O importante é a medida que se deve obter, a precisão necessária e a manutenção de um mesmo processo de amostragem nas diversas redes de amostragem existentes. Uma rede de amostragem é uma série de locais escolhidos com grande critério, em função do problema a ser estudado, onde são efetuadas as medidas necessárias, por exemplo, rede de estações de amostragem de ar, da água e do solo, ou de fotografias e informações obtidas por satélites, por aviões, etc. (TOMMASI, 1979).

Para Tommasi (1979), cada programa de monitoramento ambiental deve fornecer informações sobre as finalidades do programa, prioridade dos poluentes monitorados e, para cada poluente, o meio físico onde será monitorado (ar, solo, água do mar, água potável, vegetais, animais, homem, alimentos, entre outros), a área geográfica estudada, número de locais de monitoramento, frequência da amostragem, métodos de aquisição dos dados, técnicas de análise, modo de armazenamento e análise dos dados.

Conforme a Resolução CONAMA nº 01/86 (BRASIL, 1986), o diagnóstico ambiental de uma área sob influência de empreendimento poluidor deve contemplar o meio físico (subsolo, águas, ar e clima), o meio biológico e os ecossistemas naturais (fauna e flora) e o meio sócio-econômico (ocupação do solo, uso das águas e a sócio economia). A elaboração de programa de acompanhamento e monitoramento dos impactos positivos e negativos, com indicação dos fatores e parâmetros a serem considerados, também é contemplada por esta legislação.

Nos estudos de ecossistemas terrestres, o inventário da fauna e da flora é o primeiro passo para estudar a diversidade biológica de uma determinada região e tem papel fundamental na conservação e no uso racional dos recursos naturais. A redução da diversidade biológica nos sistemas pode produzir alterações nas cadeias tróficas. Enquanto as abordagens físicas e químicas caracterizam o ambiente, a biota indica ocorrência ou não de um impacto e a intensidade do mesmo (KAPUSTA; BÜNDCHEN; FREITAS, 2013).

No que diz respeito ao estudo dos ecossistemas aquáticos, a Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005) dispõe que a qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas. Kapusta; Bündchen e Freitas (2013) consideram a saúde das comunidades como sendo o melhor indicador da sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos.

Segundo Cairns Jr.; McCornick; Niederlehner (1993), o monitoramento de ecossistemas pode ser uma proposta cara, porém necessária. Sua eficácia é baseada num

conjunto de indicadores do ecossistema e depende do desenvolvimento de objetivos ambientais específicos para restauração e/ou manutenção dos ecossistemas.

Programas de monitoramento são exigidos, legalmente, no Brasil (BRASIL, 1986) e fazem parte do instrumento de Avaliação do Impacto Ambiental (AIA), o qual é constituído de uma série de procedimentos legais, institucionais e técnico-científicos, que visam a identificação de possíveis impactos decorrente de futuras instalações de um empreendimento, este documento prevê a magnitude destes impactos e avalia a sua importância. Dentre os empreendimentos alvo desta legislação são citados: minerações, barragens hidrelétricas, estradas de rodagem, unidades de tratamento de resíduos, usinas termelétricas, dentre outros, empreendimentos potencialmente causadores de impacto ambiental (BITAR; ORTEGA, 1998).

## **2.2 Atividade carbonífera**

Uma das primeiras fontes enérgicas utilizadas em larga escala pelo homem, o carvão mineral foi um dos pilares da Primeira Revolução Industrial com a geração de vapor para movimentar as máquinas. Sua utilização na matriz energética mundial perdeu importância ao longo do tempo para o petróleo e o gás natural com o desenvolvimento dos motores a explosão. Contudo, na década de 70 o interesse foi retomado e se mantém até hoje. De acordo com dados da *International Energy Agency* (IEA), o carvão é a fonte mais utilizada para geração de energia elétrica no mundo. A principal restrição à utilização do carvão é o forte impacto socioambiental provocado em todas as etapas do processo de produção e também no consumo. A extração, por exemplo, provoca a degradação das áreas de mineração e a combustão é responsável por emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Projetos de mitigação e investimentos em tecnologia (*clean coal technologies*) estão sendo desenvolvidos para atenuar este quadro (ANEEL, 2008).

Apesar dos graves impactos no meio ambiente, o carvão é considerado a maior fonte de energia para uso local. As principais razões para isso são: abundância das reservas; distribuição geográfica das reservas; baixos custos e estabilidade nos preços, comparando-se a outros combustíveis (ANEEL, 2005).

### **2.2.1 Carvão mineral**

O carvão mineral é um combustível fóssil sólido formado a partir da matéria orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Sua qualidade é determinada pelo conteúdo de carbono e varia de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos, quanto mais intensas a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida, e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será o grau de carbonificação (Figura 1) sendo o estágio de linhito o mínimo para utilização industrial. A turfa, primeiro estágio na formação do carvão, possui teor de carbono na ordem de 45% enquanto o carvão betuminoso, mais utilizado como combustível, contém de 75% a 85% de carbono e o mais puro dos carvões, o antracito, apresenta conteúdo de carbono acima de 90%. Outra forma de medir a qualidade do carvão é o *grade* que mede de forma inversamente proporcional o percentual em massa de matéria mineral incombustível (cinzas) presente na matéria carbonífera. Quanto mais baixo for o *grade* maior o percentual de cinzas misturado à matéria carbonosa e mais pobre será a matéria-prima (DNPM, 2001; ANEEL, 2005).

Figura 1- Estágios de carbonificação



Fonte: o próprio autor

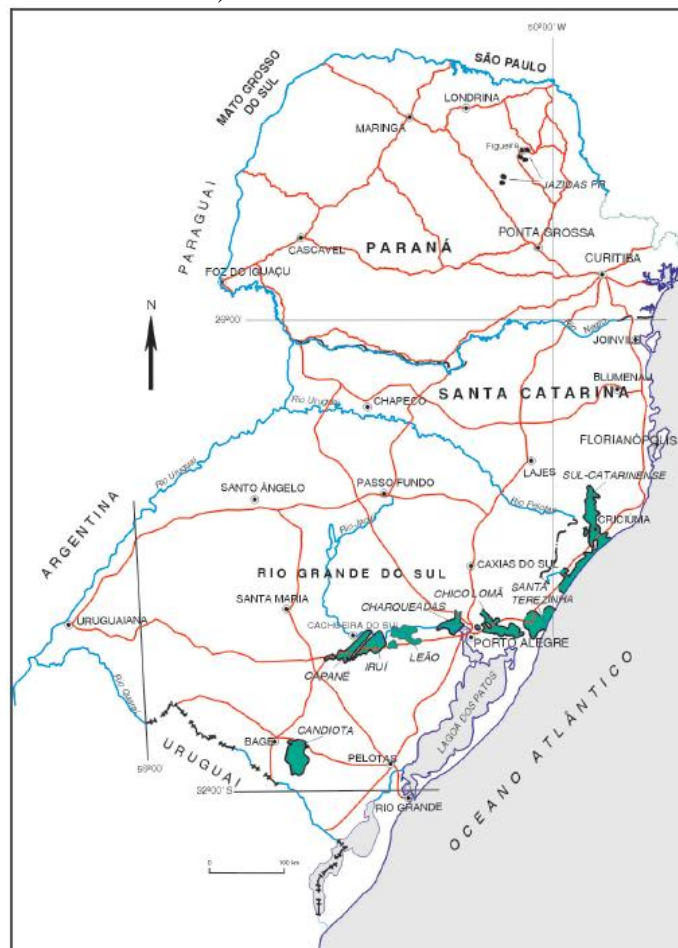
### 2.2.2 Carvão mineral brasileiro

Segundo o Departamento Nacional de Produção de Energia (2005), o carvão é utilizado em todo o planeta na geração de energia e produção de aço. Ocupa a primeira colocação em abundância e perspectivas de vida útil e é considerado, a longo prazo, a mais importante reserva energética mundial, além de não estar sujeito às condições climáticas, como é o caso da energia eólica e hidroelétrica. Na matriz energética global está em segundo

lugar abaixo apenas do petróleo, no entanto quando se pensa em geração de eletricidade é o principal recurso mundial.

As principais reservas brasileiras estão nos estados do Sul do País (Figura 2). O Rio Grande do Sul detém mais de 90% das reservas nacionais, sendo a jazida de Candiota a principal jazida brasileira a qual representa cerca de 23% das reservas oficiais do país e 51% das reservas provadas e prováveis, com camadas de carvão de alta espessura e grande continuidade com pequena cobertura, o que proporciona uma lavra em larga escala de alta rentabilidade. Contudo, o carvão de Candiota é pobre energeticamente, não admitindo beneficiamento ou transporte, necessitando ser utilizado na boca da mina na forma de *Run-of-Mine* (ROM - carvão bruto).

Figura 2 - Localização das principais jazidas de carvão da bacia do Paraná (RS, SC, PR).



Fonte: (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003)

O Estado ainda conta com jazidas na região do Baixo Jacuí (10 jazidas) e Morungava-Chico Lomã e Santa Terezinha as quais somam 39% e 16% das reservas medidas oficiais do



país, respectivamente. O carvão desta última jazida é classificado de médio a rico poder energético, porém sua extração é complicada devido a problemas de infraestrutura da região e por estarem em camadas muito profundas.

O carvão brasileiro tem baixo índice de aproveitamento devido aos altos teores de cinza (50%) e enxofre (25%)e, por isso, seu uso ainda é restrito, representando 6,6% da matriz energética brasileira. No sentido de melhorar o aproveitamento do carvão nacional e diminuir as agressões ao meio ambiente surgem esforços para desenvolvimento de tecnologias de remoção de impurezas e de combustão eficiente (ANEEL, 2005).

### 2.2.3 Carvão mineral e o meio ambiente

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) menciona os diferentes estágios da cadeia do carvão (mineração, beneficiamento, combustão e pós-combustão) como importantes na ocorrência de impactos socioambientais afetando, principalmente, os recursos hídricos, o solo e o relevo das áreas circunvizinhas.

Durante as escavações o uso de máquinas e equipamentos manuais é responsável pela emissão de óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e outros poluentes da atmosfera.

Na drenagem das minas as águas sulfuradas são lançadas no meio externo, provocando a elevação de sulfatos de ferro e a redução do pH no local de drenagem.

As bacias hidrográficas circunvizinhas à mineração são afetadas pelo acúmulo de materiais poluentes gerados durante o beneficiamento do carvão. As pilhas de rejeito são percoladas pelas águas fluviais, ocasionando a lixiviação de substâncias tóxicas, que contaminam os lençóis freáticos. A posterior separação de carvão coqueificável de outras frações de menor qualidade forma novos depósitos, que cobrem muitos hectares de terras agriculturáveis.

Segundo a ANELL (2005), a região Sul do Brasil é a que apresenta maiores transtornos relacionados aos impactos da extração de carvão. As cidades de Siderópolis e Criciúma estão entre as que mais apresentam problemas socioambientais.

Além dos impactos da mineração, a queima de carvão em indústrias e termelétricas, causa graves impactos socioambientais em face da emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais se destacam o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e os óxidos de nitrogênio (NOX). Além de prejudiciais a saúde humana, esses gases são os principais responsáveis pela

formação da chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade.

Pires; Querol e Teixeira (2001) caracterizaram o carvão e as cinzas leves e pesadas geradas na combustão do carvão no município de Candiota verificando que suas características físico-químicas são semelhantes às normalmente encontradas em carvões no restante do mundo, tendo identificado 46 elementos-traço; concentrações elevadas de alguns desses elementos, segundo os autores, estão relacionadas a aspectos geoquímicos do carvão em estudo. Os autores salientam, ainda, que estudos como este possibilitam avaliar o impacto ambiental gerado pela queima do carvão, em relação às emissões atmosféricas e disposição das cinzas.

Nedel *et al.* (2003), aplicando um modelo de dispersão atmosférica na região de Candiota, verificaram que o material particulado e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) ficam mais concentrados próximos à fonte de emissão e isso se deve à baixa velocidade dos ventos e pela influência direta da topografia na circulação total e mesmo que atingissem maiores distâncias dificilmente isso se daria em concentrações suficientes para provocar algum dano maior no que se refere à poluição ambiental. O autor verificou, ainda, que as concentrações de SO<sub>2</sub> não ultrapassaram os padrões de qualidade do ar estipulados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Delgado *et al.* (2013), ao caracterizarem os carvões utilizados nas usinas termelétricas no sul do Brasil, observaram que os elementos traço em maior abundância nas cinzas leves e pesadas são Boro (B), Cromo (Cr), Manganês (Mn), Lítio(Li), Vanádio (V) e Zinco(Zn) destacando, ainda, o Níquel (Ni) nas cinzas pesadas. Considerando que os elementos encontrados no solo não foram compatíveis com os encontrados nas cinzas e que os elementos B, Mn e Zn foram determinados, tanto nas cinzas quanto na água e plantas, em quantidades de acordo com os padrões exigidos pela legislação ambiental, os autores classificaram a área como limpa para os elementos em maior concentração nas cinzas leves e pesadas.

Analisando a qualidade das águas superficiais da bacia do Arroio Candiota, Streck *et al.* (1999), contrariando os estudos de Delgado *et al.* (2013) e Nedel *et al.* (2003), verificaram alterações na qualidade das águas que servem, inclusive, para o abastecimento da população do município. Duas sub-bacias apresentaram parâmetros de qualidade da água fora dos aceitáveis. O estudo constatou, ainda, que os cursos d'água mais afetados recebiam água drenada de áreas de mineração já desativadas, efluentes das indústrias cimenteiras, bem como efluentes da usina termelétrica e de mineração. Foi possível verificar também que o efeito

poluidor da indústria minerária do carvão não cessa com o término de suas atividades e tais áreas continuam contribuindo para a poluição do solo, das águas e do ar por um longo tempo.

#### 2.2.4 Influência da atividade carbonífera na produção animal

A produção animal é uma atividade que, por si só, interfere no ambiente, porém é considerada como uma atividade nobre por ser responsável pela transformação de "pasto" em proteína animal. Isso não exime a atividade da responsabilidade de interferir o mínimo possível no ambiente natural. Além da preocupação com a segurança alimentar (alimento em quantidade) tem-se a preocupação com a inocuidade desses alimentos. Algumas vezes a ação do homem nos arredores das regiões de produção pode colocar em risco a produção de alimentos. Atividades industriais, manejo de plantações, contaminações de efluentes, entre outros, podem contaminar as pastagens e, subsequentemente, os animais e humanos.

Como vimos anteriormente, em cada fase da atividade carbonífera existe um risco para o meio ambiente e este risco pode ser direcionado para os animais criados nas regiões vizinhas à atividade. Assim, estudos são realizados para avaliar tal impacto. Swaine (2000) avaliou a importância dos elementos-traço em diferentes atividades industriais, dentre elas a carbonífera, considerando sua importância para a saúde das plantas, animais e seres humanos uma vez que os limites entre a essencialidade e toxicidade desses elementos são bastante tênues. O excesso de B (Boro) e Mn (Manganês) podem danificar algumas plantas, enquanto que o excesso de Mo (Molibdênio) e Se (Selênio), apesar de não afetar o crescimento da planta, pode prejudicar seriamente os animais. O autor elencou 26 elementos-traço de interesse ambiental (Tabela 1) e alguns desses elementos afetam, direta ou indiretamente, a produção animal.

Tabela 1 - 26 elementos-traço considerados de interesse ambiental, organizados da esquerda para direita conforme importância na poluição ambiental (I, II, III).

I	II	III
As	B	Ba
Cd	Cl	Co
Cr	F	I
Hg	Mn	Ra
Pb	Mo	Sb
Se	Ni	Sn
	Be	Tl
	Cu	
	P	
	Th	
	U	
	V	
	Zn	

Fonte: Swaine (1999).

A preocupação durante a mineração é devido à produção de lixiviados ácidos pela quebra da pirita e contaminação de lençóis de água e a sobrecarga de oligoelementos no solo nas áreas de mineração a céu-aberto. Na fase de geração de energia a maioria dos elementos-traço serão lançados e redistribuídos na forma de cinzas e cinzas volantes. Apesar dos esforços para a redução do lançamento de impurezas no ambiente, por meio de precipitadores ou filtros eletrostáticos, uma pequena proporção de oligoelementos ainda é emitida para a atmosfera e fica depositada nos arredores das estações de energia. Durante a eliminação de resíduos, a principal preocupação com oligoelementos é a extensão de sua absorção pelas plantas e por animais em pastejo. Nesta fase a absorção de chumbo nas partes comestíveis da planta não é provável, mas a presença de cádmio (Cd) deve ser monitorada. Elementos como As, B, Mo, Cd, Mn e Zn, encontrados em áreas após a mineração de carvão, podem ser problemáticos (SWAINE, 2000).

O flúor ocorre em teores variáveis no carvão mineral, segundo Kronberg *et al.* (1981) é encontrado, frequentemente, em concentrações superiores a 100 ppm. Este elemento é volatilizado durante a queima do carvão e expelido para a atmosfera. Considerado o poluente-traço mais perigoso e fitotóxico, pode prejudicar a produção animal reduzindo a capacidade de engorda de bovinos e ovinos (MARTINS *et al.*, 1992).

Riet-Correa *et al.* (1986), avaliaram a ocorrência de lesões dentárias em bovinos e ovinos devidas à poluição industrial causada pela combustão de carvão e neste estudo confirmaram a intoxicação por flúor como consequência da queima de carvão mineral. Além disso, os autores afirmam que o flúor não é o único responsável pelas alterações encontradas nos animais, chamando atenção para o desgaste excessivo dos dentes o que leva, muitas

vezes, a abertura da cavidade da mesa dentária e necrose de polpa. Relacionado a isso, os autores sugerem a constituição dos particulados eliminados pela chaminé da usina constituído, principalmente, por óxidos de sílico (70%), alumínio e ferro, elementos com efeito abrasivo e que se depositam nas pastagens. Ainda assim, mesmo não sendo o único fator, o flúor colabora com o desgaste excessivo dos dentes à medida que diminui a resistência do esmalte. Para os autores ficaram evidentes os prejuízos econômicos sofridos pelos produtores, em uma área de aproximadamente 30.000 hectares.

### 2.3 O município de Candiota

Situado na Metade Sul do Estado, Candiota está localizada na região da Campanha distante 390 km de Porto Alegre, a capital do Rio Grande do Sul (Figura3). Possui uma área geográfica de mais de 900 km<sup>2</sup>e a população é composta por cerca de 10 mil habitantes. O Município faz limites com as cidades de Bagé, Hulha Negra, Pinheiro Machado e Pedras Altas. Sua área urbana é composta pelas localidades da Vila Operária, São Simão, João Emílio, Seival, Dario Lassance (sede do município) e Vila Residencial, além de 36 assentamentos no interior.

Figura 3- Localização do Município de Candiota/RS



Fonte: Prefeitura Municipal de Candiota (2014).

A região originalmente era tipicamente agrícola, com predomínio das atividades agropecuárias, sobretudo a rizicultura. Atualmente, a economia do município tem como base a extração de carvão e geração de energia, através das empresas Companhia Riograndense de Mineração (CRM) e Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica (CGTEE)

respectivamente. O polo econômico do município ainda conta com as atividades de exploração de calcário, pelas empresas CIMBAGÉ e VOTORAM, e indústrias cimenteiras.

A tradição agropecuária fica evidente no estudo realizado por Pereira (2013) no qual, por meio de metodologias de representações sociais, foi constatado que a busca por trabalho na atividade carbonífera é motivada pelas dificuldades de manutenção das famílias na atividade agropecuária, situação esta que reflete a falta de investimentos e os atrasos no setor agropecuário do Município.

### 2.3.1 Caracterização dos sistemas de produção animal no Município

Segundo os dados do Censo Agropecuário 2006, o município conta com uma área de 33,5 mil hectares e 687 estabelecimentos agropecuários de proprietários individuais dos quais 572 estabelecimentos são destinados à produção de bovinos. O rebanho bovino chegou a 48,8 mil cabeças, em 2012, criadas em aproximadamente 19 mil hectares de áreas de pastagem naturais. O rebanho ovino é formado por aproximadamente 19 mil cabeças e produziu, em 2012, cerca de 51,7 mil kg, com uma produção estimada em 368 mil reais naquele ano. Outras espécies animais como aves são exploradas no município, porém em menor escala e contribuição para a economia da cidade (IBGE, 2013).

Conforme levantamento feito no Município, a produção animal é realizada de forma extensiva tanto para bovinos quanto para ovinos em campo nativo e, na maioria, sem melhoramento. Durante o trabalho no município pode-se observar que os rebanhos ovinos são originários das propriedades, as quais tem sistema de cria e cria, enquanto o rebanho bovino é, principalmente, de engorda não sendo, obrigatoriamente, nascido na região.

A água utilizada para dessedentação dos animais é proveniente do arroio Candiota ou de açudes.

## 2.4 Biomonitoramento

O processo de utilização de organismos vivos como método auxiliar de detecção de alterações nocivas do ambiente, teve início em meados do século XX. O biomonitoramento, é um método experimental para medir a resposta de organismos de uma determinada área frente a poluição do ar. Os organismos vivos utilizados no biomonitoramento são conhecidos como bioindicadores (CARRERAS; PIGNATA, 1999; SLOOF, 1995). Silva (2010) caracteriza os

bioindicadores como qualquer forma de vida utilizada para mensurar e monitorar propriedades e atributos de um sistema.

Para Paula (2010), a bioindicação permite a utilização das respostas de um sistema biológico qualquer a um agente estressor, como forma de analisar sua ação e planejar formas de controle e monitoramento da recuperação da normalidade.

A biomonitoria fornece uma medida de exposição ao longo do tempo sem a necessidade da utilização de outros equipamentos. Dentre as vantagens da utilização de organismos como monitores da qualidade do ar, Sloof (1995), menciona o baixo custo comparado a utilização de filtros de ar e de coletores de deposição, equipamentos estes utilizados costumeiramente em monitoramentos da qualidade do ar. Além do baixo custo, a redução do tempo destinado ao inventário de um ambiente é considerado por Silva (2010) como mais uma vantagem para a utilização dos bioindicadores. Segundo o autor, isso se deve a utilização de poucos grupos com a função de extrapolar as relações presentes dentro do sistema.

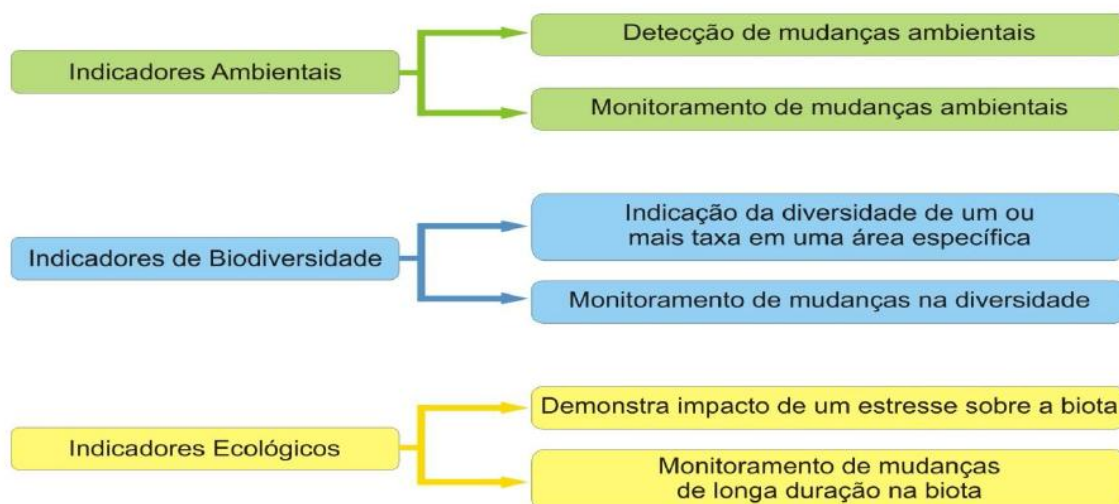
Silva (2010), seguindo a sugestão de outros autores, divide os bioindicadores em três categorias: indicadores ambientais, indicadores ecológicos e indicadores de biodiversidade, conforme suas funções (Figura 4). No entendimento do autor, essa divisão facilita no momento de estabelecer os indicadores de acordo com os objetivos de cada projeto, como segue:

Indicador ambiental é uma espécie, ou grupo de espécies que respondem demonstrando, através da observação e quantificação, de distúrbios ambientais, ou mudanças no estado do ambiente. São usados para mensurar a ação de fatores abióticos.

Indicador ecológico é uma espécie, ou grupo de espécies, assembléia ou táxon característico que é insensível à estresse relacionado aos processos no ambiente e, assim, demonstram os efeitos desse estresse na biota.

Indicadores de biodiversidade é um grupo de taxa (gênero, tribo, família ou ordem), ou um grupo selecionado de espécies, ou mesmo um grupo funcional, qual se estabelece uma medida que reflete a diversidade - riqueza de espécies ou nível de endemismo, de outros grupos mais amplos no ambiente. (SILVA, 2010. p. 34)

Figura 4 - As funções dos bioindicadores em cada categoria de bioindicação.



Fonte: Silva, 2010

Os bioindicadores podem ser classificados, ainda, como sensíveis, acumuladores (LIMA, 2000), específicos, quando somente um fator ambiental provoca reação; ou não específicos, quando a mesma reação pode ser provocada por diferentes fatores antrópicos. Um bioindicador é sensível quando reage modificando seu comportamento com um desvio significativo em relação ao comportamento normal. No entanto, se ele acumula influências antrópicas sem mostrar danos passíveis de serem reconhecidos em curto espaço de tempo, este bioindicador é considerado acumulativo (PAULA, 2010).

Uma revisão bibliográfica realizada por Silva em 2009, quanto a utilização de organismo bioindicadores no Brasil, verificou a existência de 33 estudos científicos correspondente a bioindicação, sendo que a maioria (73%) utilizaram invertebrados como indicadores, 18% utilizaram plantas e 15% vertebrados, alguns trabalhos ainda utilizaram mais de um grupo de bioindicadores. A pesquisa mostra que as plantas tendem a ser mais utilizadas quando se trata de indicadores ambientais. O autor sugere que esta tendência seja fruto da interpretação dos pesquisadores supondo que as respostas de plantas a alterações no meio abiótico talvez sejam mais rápidas ou evidentes. Para análise de biodiversidade apenas o grupo de invertebrados apresentou resultado significativo, tendendo a ser mais utilizado do que o esperado pelo acaso.

Quanto aos organismos, Paula (2010) classifica como: organismos testes, organismos monitores e indicadores ecológicos. Organismos testes são amplamente utilizados no monitoramento da qualidade da água, são empregados em metodologias de laboratório altamente padronizadas. Já os organismos monitores são geralmente empregados em metodologias que monitoram condições ambientais e podem ser divididos em "monitores



biológicos ativos", quando são introduzidos no ambiente para monitoramento; e "monitores biológicos passivos", quando organismos presentes no ambiente são coletados e analisados em laboratório. A autora chama atenção para o fato dos indicadores, tanto de organismos testes quanto de monitores, não poderem ser automaticamente transferidos para outros organismos ou para o ecossistema. Para isso, devem ser usados indicadores biológicos, esses fornecem informações sobre o estado de um habitat no qual os organismos existem em condições naturais. Outras nomenclaturas ainda podem ser usadas, dependendo da literatura utilizada.

Visto isso, os bioindicadores fornecem sinais rápidos sobre problemas ambientais, permitem que se identifiquem as causas e efeitos entre os agentes estressores e as respostas biológicas, oferecendo um panorama da resposta integrada dos organismos frente às modificações ambientais e permitindo avaliação da efetividade de ações mitigadoras tomadas para contornar problemas criados pelo homem (PAULA, 2010).

A escolha do organismo a ser utilizado dependerá do objetivo do estudo. Líquens, por exemplo, são organismos utilizados com frequência em estudos que visam a monitoria da poluição do ar, porque absorvem a umidade e com ela os poluentes presentes nas atmosfera. Além disso, suas características ecológicas (ampla distribuição e facilidade de acesso e coleta) os tornam mais propícios a este tipo de abordagem ambiental (KAPUSTA; BÜNDCHEN; FREITAS, 2013).

#### 2.4.1 Alterações dentárias em animais como parâmetro para monitoramento da qualidade ambiental

Como vimos anteriormente, muitos organismos podem ser usados no monitoramento da qualidade do ambiente. Neste tópico veremos a utilização de animais, que a partir da quebra da normalidade fisiológica servem como indicadores de impactos ambientais. Esses animais estão expostos em condições naturais podendo inferir sobre o estado do habitat no qual estão inseridos.

Para Scaramozzino *et al.* (2010), o uso de animais de produção como bioindicadores para detecção de substâncias tóxicas no meio ambiente é justificado, principalmente, pelo mecanismo de acumulação de substâncias lipofílicas em tecidos ou órgãos de alguns mamíferos, bem como sobre o papel natural de "acumulador" que os animais podem desempenhar no ciclo ambiental de várias moléculas tóxicas. Além disso, os produtos (leite e ovos) juntamente com um ciclo de vida relativamente curto, incentivam o uso desses animais

como sentinelas para a poluição ambiental, fornecendo informações de forma mais eficiente, econômica e menos invasivas do que a detecção diretamente na população humana.

Na mesma perspectiva, Souza *et al.* (2009), diz que animais de produção como os bovinos apresentam potencial para serem utilizados como indicadores de contaminação ambiental devido a proximidade de convivência e a similaridade em termos fisiológicos com o ser humano, além da coincidência de *habitats* de vida. Utilizando o modelo bovino avaliaram a contaminação do ambiente por metais pesados a partir dos níveis desses elementos em amostras biológicas (soro, leite e pelo) de animais criados em duas áreas distintas (áreas industrializadas e não industrializa). Apesar dos resultados obtidos no trabalho não indicarem que a presença de indústrias é responsável pela elevação das concentrações de metais pesados nas amostras biológicas testadas, sendo tal efeito limitado ao cobre. O estudo indicou efeito da sazonalidade nas concentrações desses elementos nas amostras biológicas.

Lesões dentárias são estudadas por diversos autores como indicadores de intoxicação por flúor e, conseqüentemente, poluição ambiental (RIET-CORREA *et al.*, 1983 e 1986; GUINEI, 1996; PATRA *et al.*, 2000; FINDANCI; SEL, 2000; DIVAN JÚNIOR *et al.*, 2010). Riet-Correa *et al.* (1983), avaliaram a ocorrência e frequência de lesões dentárias em bovinos criados em região sob influência de indústrias processadoras de rocha fosfática para produção de adubo verificando que a proximidade com as indústrias aumentava o grau de lesões dentárias. Além das lesões dentárias foi determinada a concentração de flúor nos ossos desses animais, confirmando a ocorrência de intoxicação crônica por flúor. Os autores alertam para os riscos de saúde a que estão expostos os animais e habitantes da região estudada.

Em 1986, Riet-Correa *et al.*, novamente relacionaram a presença de lesões dentárias em animais e a poluição ambiental. Desta vez avaliando as alterações em bovinos e ovinos criados em região sob influência de usina termelétrica. Mais uma vez os modelos animais confirmam a intoxicação por flúor como consequência da exposição a um agente estressor, visto que ocorre redução das lesões a medida que as criações estão mais distantes da fonte de contaminação (combustão de carvão). O mesmo foi observado por Guinei (1996) frente a observação de bovinos e caprinos na Mongólia. Além da detecção do problema, este autor sugere medidas para minimizar os impactos da poluição nos animais como a introdução de vegetação nas proximidades das fazendas, bem como o alojamento dos animais. Na Índia, Patra *et al.* (2000) verificaram alterações dentárias e alterações bioquímicas em soro e urina de bovinos e bubalinos. No sul do Brasil, Divan Júnior *et al.* (2010) usaram, entre outros indicadores, ovinos criados em região sob impacto de usina termelétrica para avaliar a influência desse tipo de empreendimento na biota terrestre, tendo encontrado diferenças

significativas entre alterações dentárias nos animais e as concentrações de metais no ambiente.

## 2.5 Intoxicação por flúor

O flúor é geralmente encontrado na natureza na forma de fluoretos combinado com outros compostos químicos. Ocorre naturalmente em rochas, particularmente associado com fosfato, podendo essas rochas, o solo e água que estão em contato com elas conterem quantidades tóxicas de flúor. No entanto, os níveis de flúor naturalmente encontrados no ambiente raramente são suficientes para causar doença nos animais, sendo necessária a interferência humana nesse ambiente para que esses níveis sejam nocivos. Radostits *et al.* (2000) evidenciam a importância do homem nas intoxicações visto que os maiores surtos em animais domésticos ocorreram devido à ingestão de pasto contaminado, água de beber e suplementos minerais que continham quantidades excessivas de flúor.

A contaminação dos animais por flúor pode ocorrer pela ingestão de vegetais que crescem em solos com alto conteúdo de flúor, água com alto conteúdo de flúor, suplementos minerais não desfluorizados adequadamente e/ou pastagens contaminadas pela emissão de flúor de alguns tipos de indústrias (RAFFI; MÉNDEZ, 2001). As principais fontes industriais de emissão de flúor estão associadas à redução de alumínio, processamento de rocha fosfática para produção de adubo, produção de aço, tijolos e telhas e combustão de carvão mineral (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1984).

Os níveis de tolerância para os animais dependem da forma química com que o elemento se apresenta e o flúor na forma de fluoreto de cálcio ou fluorossilicato de sódio é muito menos tóxico, sendo necessária a ingestão de 400 mg a 2 g por quilo de peso vivo (PV) para produzir efeitos fatais; enquanto o fluoreto de sódio, aproximadamente duas vezes mais tóxico na forma de fosfato de rocha, não deve exceder um nível de  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  na ração seca. Níveis acima de 100ppm na ração seca são capazes de causar doença em bovinos, ovinos e suínos, quando o flúor é proveniente de fosfato de rocha ou criolita; abaixo deste nível, podem ser observadas discretas lesões nos dentes, porém em grau insuficiente para afetar o bem-estar do animal durante o seu período produtivo de vida (RADOSTITS *et al.*, 2000).

O flúor é um tóxico geral para todos os tecidos, no entanto possui grande afinidade por tecidos mineralizados nos quais substitui o íon hidroxila (OH) na estrutura do componente apatita dos tecidos duros mineralizados, substituindo o composto hidroxiapatita por fluorapatita. Este composto é responsável pela diminuição da solubilidade da fase mineral,

afetando o equilíbrio do cálcio entre o tecido calcificado e o sangue, e só pode ser removido do osso caso haja completa reabsorção do cristal (RADOSTITS *et al.*, 2000).

Os sinais clínicos diferem entre a intoxicação aguda e crônica. A intoxicação aguda causada pela ingestão de grandes quantidades de fluoretos inorgânicos solúveis é caracterizada pelo aparecimento imediato de irritação gastrointestinal, sintomas nervosos como tetania e hiperestesia, além da inibição da coagulação do sangue, seguida de morte. Morte súbita pode ser ocasionada pela ingestão de compostos de flúor orgânico levando à lesão permanente do miocárdio e acúmulo de citrato nos tecidos (RAFFI; MÉNDEZ, 2001).

A ingestão de pequenas quantidades de fluoretos inorgânicos por longos períodos causa redução da ingestão de alimentos, e diminuição na produção de ácidos graxos devido a redução na atividade de infusórios ruminais. A redução na produção de leite ocorre com ingestão de 150-200 mg.kg<sup>-1</sup>, sendo que a partir 200 mg.kg<sup>-1</sup> a ingestão de grãos é reduzida (RADOSTITS *et al.*, 2000).

Fluorose dentária é a denominação dada ao principal sinal clínico visível frente à intoxicação crônica por flúor. É caracterizada por alterações de coloração do esmalte, com pontos marrons, manchas amarelas ou marrons, manchas brancas opacas com aspecto de giz, e hipoplasia do esmalte (geralmente observada em estrias transversais), sendo que tais lesões serão visíveis caso a ingestão tenha sido elevada antes da erupção dos dentes. Porosidade e irregularidades na superfície dentária também podem ser observadas sendo que a dentina exposta apresenta-se de cor marrom escura. Hiperplasia de gengiva, perda de dentes, desgaste acentuado com exposição de poupa não são raros (RADOSTITS *et al.*, 2000; RAFFI; MÉNDEZ, 2001).

A maioria dos casos registrados de fluorose referem-se a espécie bovina, sendo as novilhas jovens consideradas as mais susceptíveis, a maioria dos trabalhos de campo e trabalhos experimentais sobre a toxicidade do flúor tem como objeto de estudo o gado (SUTTIE, 1980).

Além da fluorose dentária, a ingestão de quantidades tóxicas de flúor pode resultar em lesões no esqueleto. Os ossos afetados são visualizados em branco áspero, poroso e farináceo. Pode ocorrer hiperostose generalizada, hiperostose periosteal local grave e, frequentemente, observa-se a calcificação de tendões. Essas alterações levam a claudicação ou rigidez generalizada sendo este mais um sinal de intoxicação por fluoretos. A claudicação pode diminuir a ingestão de alimentos na medida em que dificulta a pastagem ou a competição em animais de confinamento (SUTTIE, 1980).

### **3 ARTIGO - BOVINOS COMO BIOINDICADOR DE QUALIDADE AMBIENTAL EM REGIÃO SOB INFLUÊNCIA DE TERMELÉTRICA**

#### **3.1 Introdução**

A produção de energia é uma preocupação mundial, diversas são as fontes utilizadas no mundo para suprir a demanda cada vez maior do planeta. A busca por possibilidades de geração de energia "limpa" é constante, tendo em vista que combustíveis fósseis são conhecidos por seu potencial poluidor, no entanto, uma das tecnologias mais utilizadas para geração de energia no Brasil, as hidroelétricas (Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL), são constantemente ameaçadas pelas mudanças climáticas com longos períodos de seca. Apesar de poluente, uma das opções para a geração de energia no País é a utilização do carvão mineral. Os três estados do Sul possuem as maiores reservas de carvão mineral do Brasil, sendo a jazida de Candiota, no Rio Grande do Sul, considerada a principal jazida carbonífera brasileira, explorada para geração de 446 MW de energia pela Usina Termelétrica Presidente Médici - UTPM (GOMES; CRUZ; BORGES, 2003).

Os recursos hídricos, o solo e o relevo são afetados nos diferentes estágios da cadeia do carvão mineral (mineração, beneficiamento, combustão e pós-combustão). A queima do carvão em indústrias e termelétricas, causa graves impactos socioambientais em face da emissão de material particulado e de gases poluentes. Além de prejudiciais à saúde humana, esses gases são os principais responsáveis pela formação da chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e, conseqüentemente, alterações na biodiversidade.

Apesar dos esforços para redução da emissão de poluentes pela combustão do carvão, com o uso de precipitadores e filtros, não é possível afirmar que a uma usina termoelétrica não esteja interferindo no ambiente natural da região sob sua influência. A exploração do carvão trouxe preocupações quanto à manutenção das atividades até então predominantes (criação de bovinos e ovinos), devido a modificações no ambiente natural pela deposição de pó de cinzas volantes na vegetação (o que interfere na fotossíntese e balanço energético de folhas) e o enriquecimento destas com metais pesados, que podem ser dispersos no meio ambiente (SAWIDIS *et al.*, 2001) e causar prejuízos aos animais.

Alguns metais já identificados nos subprodutos do carvão (KRONBERG *et al.*, 1981; MARTINS *et al.*, 1992; SWAINE, 2000; PIRES; QUEROL; TEIXEIRA, 2001; DELGADO *et al.*, 2013) são nutrientes essenciais para todos os organismos vivos, porém, em concentrações elevadas podem tornar-se tóxicos. O flúor, por exemplo, é volatilizado durante

a queima do carvão e expelido para a atmosfera, podendo ser encontrado, frequentemente, em concentrações superiores a 100 ppm (KRONBERG *et al.*, 1981). Considerado o poluente-traço mais perigoso e fitotóxico, o flúor pode prejudicar a produção animal reduzindo a capacidade de engorda de bovinos e ovinos (MARTINS *et al.*, 1992).

O flúor tem sido relacionado à ocorrência de lesões dentárias em bovinos e ovinos no entorno de usinas termelétricas, contudo, o flúor não é o único responsável pelas lesões encontradas nos animais. Óxidos de sílico, alumínio e ferro são elementos abrasivos e se depositam na pastagem aumentando o desgaste dentário e reduzindo a vida produtiva dos animais (RIET-CORREA *et al.*, 1986; DIVAN JÚNIOR *et al.*, 2010).

Animais de produção, como os bovinos, apresentam potencial para serem utilizados como indicadores de contaminação ambiental devido à proximidade de convivência e a similaridade em termos fisiológicos com o ser humano, além da coincidência de *habitats* de vida (SOUZA *et al.*, 2009).

Considerando a importância da atividade carbonífera para a região sul do País, bem como a manutenção das atividades de produção animal, que sofrem a influência desta atividade, e a necessidade de avaliar tais impactos, o presente trabalho pretende avaliar os bovinos como bioindicadores de qualidade ambiental em região sob influência de usina termelétrica, no Rio Grande do Sul.

### **3.2 Material e métodos**

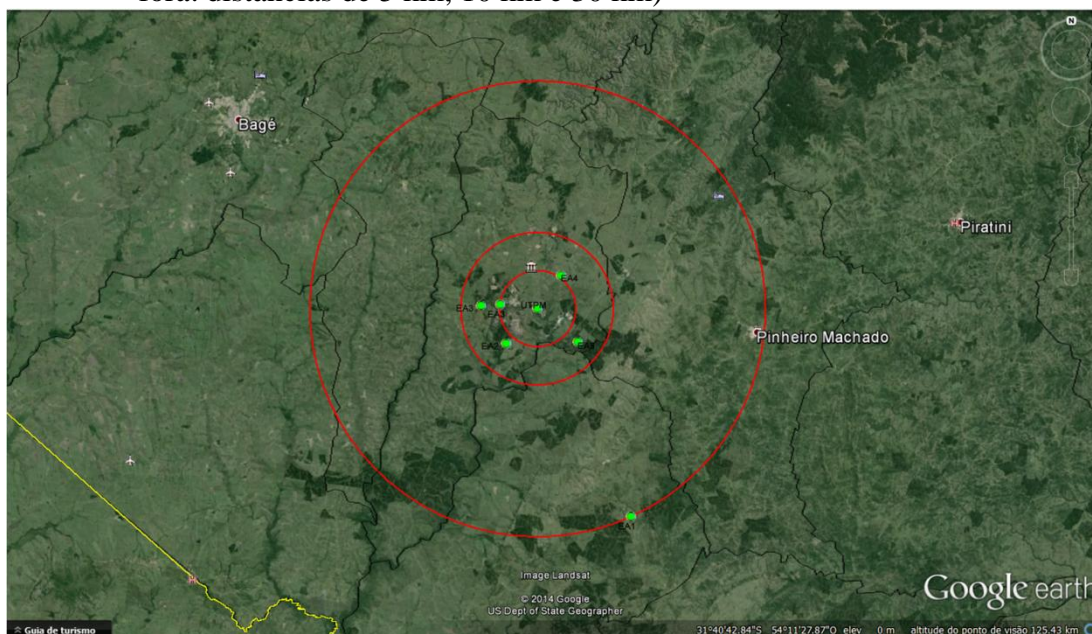
Realizou-se um estudo descritivo (CERVO; BERVIAN, 1983) a partir da observação, registro, análise e correlação dos fatos e variáveis, sem manipulá-los. Considerando o período de observação, constituiu-se em um monitoramento. Para tanto, no período de outubro de 2011 a janeiro de 2014, visitaram-se quatro unidades produtivas de bovinos de corte no município de Candiota/RS, que se encontravam num raio de 10 km da Usina Termelétrica Presidente Médici (UTPM). A escolha das unidades amostradas se deu por conveniência levando-se em consideração sua localização em relação à Usina (Tabela 2), de forma a abranger os quatro pontos cardeais, e a adesão do proprietário ao estudo. Além destas unidades produtivas, com possível interferência da Usina, integrou o estudo uma unidade produtiva localizada no município de Pedras Altas/RS, supostamente com pouca ou nenhuma influência da Termelétrica, constituindo-se o estudo, assim, de cinco Estações Amostrais (EA) (Figura 5).

Tabela 2 – Posição geográfica e distância das estações amostrais a partir da UTPM.

Estação Experimental	Posição geográfica a partir da Usina	Distância em relação à Usina (km)
EA1	Sudeste	30
EA2	Sudoeste	6
EA3	Noroeste	5
EA4	Nordeste	5
EA5	Sudeste	6,9

Fonte: o próprio autor

Figura 5: Localização das Estações amostrais em relação à UTPM (de dentro para fora: distâncias de 5 km, 10 km e 30 km)



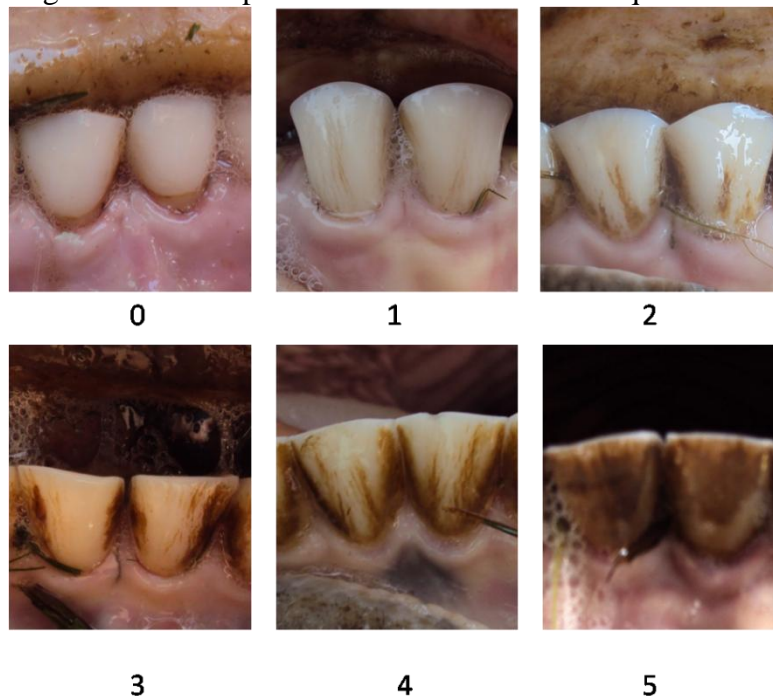
Fonte: Google earth Pro

O monitoramento dos animais foi realizado uma a duas vezes por ano em cada EA, sendo a amostra constituída por 30 bovinos ou o total de animais, se o rebanho fosse menor, com pelo menos 2 anos de idade. O monitoramento foi constituído pela observação de alterações dentárias dos animais, anotando-se em planilha os seguintes dados: número de dentes e presença de fraturas, desgaste, cáries, mosqueamento (presença de manchas de cor amarela, castanha ou negras), cristas, má oclusão (inserção oblíqua dos dentes), entre outros. Após anotação dos dados, cada animal teve seus dentes incisivos fotografados para posterior classificação quanto ao índice de mosqueamento.

O índice de mosqueamento e desgaste dentário foi adaptado de Riet-Correa *et al.* (1983) da seguinte forma: Grau 0, sem alteração; grau 1, presença de pontos de cor marrom no esmalte ou manchas amarelas difusas ou manchas brancas discretas; grau 2, pontos difusos marrons no esmalte poucas áreas com aspecto de giz ou manchas marrons; grau 3, área mais extensa com pigmentação marrom no esmalte; grau 4, mais da metade do dente pigmentado

na cor marrom ou evidências de lesão no esmalte; grau 5, praticamente toda a extensão do dente pigmentado de marrom e/ou grande área apresentando lesão no esmalte dentário (Figura 6).

Figura 6 - Escala para cálculo do índice de mosqueamento.



Fonte: o próprio autor

Foram realizadas, ainda, coletas trimestrais de solo e pasto para posterior análise de flúor e sílica pelos laboratórios Bioensaios e Centro de Ecologia da UFRGS. O extrato vegetal foi composto por, no mínimo, 18 unidades amostrais de *Paspalum notatum* (grama forquilha), espécie nativa representativa da pastagem natural da área de estudo, as quais reunidas formaram uma amostra composta. Utilizando-se amostragem ao acaso (COELHO, 2003), foram coletadas no mínimo 25 unidades amostrais de solo superficial (0 a 20 cm de profundidade) selecionando-se em cada estação experimental uma área homogênea na qual os animais se encontravam em pastoreio, após homogeneização a amostra composta foi formada por aproximadamente 500 g de solo.

Para a análise dos dados foi criada a variável *EAI*, em que a estação amostral 1, foi classificada como 'proteção', por estar fora do perímetro de 10 Km da usina, e as demais foram classificadas como 'exposição'. A variável resposta mosqueamento foi recodificada, sendo os índices superiores a 3 agrupados na mesma categoria, conforme Riet-Correa *et al.* (1986), lesões dentárias classificadas com índices maiores de 3 sugerem fluorose grave. Os dados foram analisados descritivamente com intuito de avaliar a distribuição das variáveis,



bem como foram construídos gráficos de frequência dos índices de mosqueamento em cada estação experimental, além de avaliação em cada ano.

Posteriormente, construíram-se os modelos de regressão logística ordinal com o intuito de avaliar a relação dos índices de mosqueamento com os grupos ‘exposição’/‘proteção’ e suas interações com os anos, bem como um modelo para avaliar as frequências de índices de mosqueamento em cada estação experimental e a possível interação com o ano.

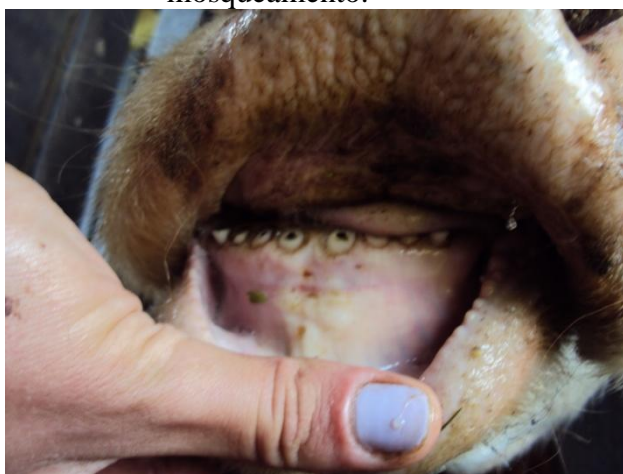
Para as amostras de sílica no solo e pastagem foi realizada análise descritiva dos referentes níveis ao longo dos anos.

As análises foram realizadas utilizando os procedimentos PROC FREQ, PROC SGPanel e PROC LOGISTIC no software SAS 9.2, SAS Institute Inc.

### 3.3 Resultados e discussão

Foram avaliadas alterações em dentes de 613 bovinos entre outubro de 2011 e janeiro de 2014. Em todas as estações amostrais foram observadas lesões nos dentes incisivos permanentes, em maior ou menor grau. Dos animais amostrados, 19 não foram avaliados quanto ao mosqueamento devido ao desgaste excessivo dos dentes (Figura 7) o que impediu a visualização das alterações.

Figura 7 - desgaste excessivo dos dentes com exposição de polpa dentária e difícil visualização e avaliação quanto ao mosqueamento.



Fonte: o autor.

O desgaste excessivo dos dentes é descrito por alguns autores como um dos reflexos da intoxicação por flúor que ocorre devido às lesões no esmalte que deixam os dentes mais frágeis, contudo, no presente estudo tal alteração não foi avaliada tendo em vista a falta de

informações precisas quanto à idade dos animais estudados, sendo esta estimada pelo número de dentes permanentes (Tabela 3), de acordo com Jardim (1985).

Tabela 3 - Distribuição dos animais monitorados conforme idade estimada pelo número de dentes.

Número de dentes permanentes	Idade estimada	Número de animais
0 (dente de leite)	Menos de 20 meses	19
2	20-24 meses	84
4	30-36 meses	87
6	42-48 meses	97
8 (boca cheia)	54-60 meses	326
Total		613

Lesões dentárias são estudadas por diversos autores como indicadoras de intoxicação por flúor e, conseqüentemente, poluição ambiental (RIET-CORREA *et al.*, 1983 e 1986; GUINEI, 1996; PATRA *et al.*, 2000; FINDANCI & SEL, 2000; DIVAN JÚNIOR *et al.*, 2010). A contaminação dos animais pode ocorrer pela ingestão de vegetais que crescem em solos e água com alto conteúdo/teor de flúor, suplementos minerais não desfluorizados adequadamente e/ou pastagens contaminadas pela emissão de flúor de alguns tipos de indústrias (RAFFI; MÉNDEZ, 2001). As principais fontes industriais de emissão estão associadas à redução de alumínio, processamento de rocha fosfática para produção de adubo, produção de aço, tijolos e telhas e combustão de carvão mineral (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1984). O índice de mosqueamento (alterações de coloração e estrutura no esmalte dos dentes) é um dos parâmetros utilizados para identificação de intoxicação por flúor em ruminantes, sendo que mesmo os dentes temporários dos animais intoxicados ainda no útero e os dentes permanentes, expostos à intoxicação antes da sua erupção são acometidos (RADOSTITS *et al.*, 2000).

Segundo Suttie (1980), as anormalidades na dentição permanente são os sinais mais evidentes da ingestão excessiva deste elemento durante o desenvolvimento do animal. No caso dos bovinos, esse período refere-se entre 6 a 30 meses de idade, quando os dentes em desenvolvimento são sensíveis ao elemento, justificando a maior concentração dos animais avaliados neste estudo estarem acima desta faixa etária. Visto isso, animais não expostos a níveis elevados de flúor neste período não vão apresentar as lesões dentárias típicas. Em adição a estas alterações visíveis, um dente afetado é sujeito a um desgaste mais rápido.

Ao longo do estudo observou-se que, devido ao sistema de criação de bovinos ser de terminação, alguns animais não eram nascidos na propriedade e algumas vezes, todo rebanho

substituído. Quanto à utilização dos bovinos como bioindicadores de qualidade ambiental, a biomonitoria fornece uma medida de exposição ao longo do tempo sem a necessidade da utilização de outros equipamentos. Dentre as vantagens da utilização de organismos como monitores da qualidade do ar, por exemplo, Sloof (1995) menciona o baixo custo comparado à utilização de filtros de ar e de coletores de deposição, equipamentos estes utilizados costumeiramente em monitoramentos da qualidade do ar. Além do baixo custo, a redução do tempo destinado ao inventário de um ambiente é considerada, por Silva (2010), como mais uma vantagem para a utilização dos bioindicadores. Segundo o autor, isso se deve à utilização de poucos grupos com a função de extrapolar as relações presentes dentro do sistema. A substituição dos animais ao longo do estudo coloca em dúvida a utilização dos mesmos como bioindicadores adequados para a região, apesar do flúor ser absorvido e poder causar lesões nos ossos dos animais após os 30 meses de idade, as lesões dentárias podem não ser visualizadas nesses animais, interferindo na qualidade deste organismo como um bioindicador. Isso leva a crer na utilização de outro modelo animal para ser utilizado na região, a exemplo de ovinos cujo sistema de criação é cria e cria e, raramente, tais rebanhos são extintos, como acontece com os bovinos.

O modelo de regressão foi significativo, considerando os grupos ‘exposição’ e ‘proteção’ ( $p < 0,05$ ) e ajustado quando avaliado pela estatística *Deviance* ( $p = 0,84$ ). Ainda, confirmou-se a pressuposição de proporcionalidade ( $p = 0,88$ ) dos Odds. Com os resultados do modelo observou-se que a estação amostral do grupo Proteção (EA1) teve, em média, 3,7 vezes mais chances de apresentar índices de mosqueamento zero contra índices mais altos em relação às estações do grupo exposto (Tabela 4).

Tabela 4 - Frequência de índices de mosqueamento nos grupos avaliados e a chances de cada mosqueamento

Mosqueamento	Distância		Odds	Odds ratio (95% IC) comparado com o mosqueamento 0	Valor p
	<10 km	>10Km			
0	73	75	0,97	1,00	
1	186	71	2,62	2,7 (1,7-4,1)	<0,01
2	122	19	6,42	6,6 (3,7-11,7)	<0,01
>3	42	6	7,00	7,2 (2,8-18)	<0,01
Total	423	171			

Observou-se aumento significativo de ocorrência das alterações dentárias nas estações amostrais no raio de influência da Usina a partir do índice 1, bem como o aumento

de chance da ocorrência de índices mais altos nestas estações, sendo que lesões dentárias classificadas com índices maiores de 3 sugerem fluorose grave (RIET-CORREA *et al.*, 1986).

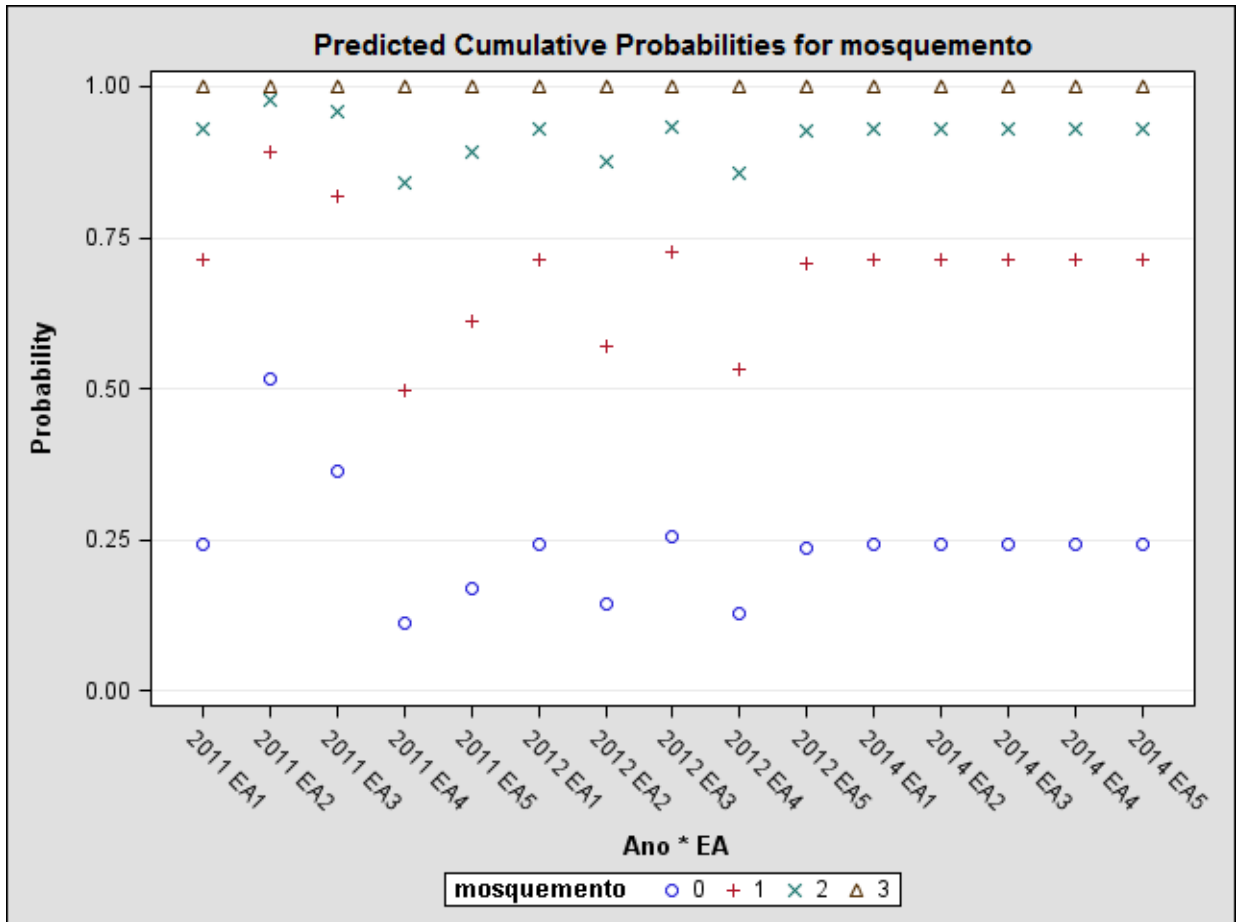
Usando parâmetros semelhantes, Riet-Correa *et al.* (1983) confirmaram a presença de lesões dentárias em bovinos decorrentes da exposição crônica ao flúor, bem como o aumento destas lesões conforme as unidades produtoras se aproximavam da fonte de poluição. Os mesmos autores, em 1986, avaliaram bovinos e ovinos na mesma região de abrangência do presente estudo confirmando, novamente, a influência das emissões de poluentes na saúde dos animais. No entanto, quando os autores compararam os resultados de ambos estudos (o primeiro em região sob influência de fábrica de adubos e o segundo em região sob influência de usina termelétrica), verificam uma diferença entre as regiões estudadas. Na região da termelétrica foi observado que o desgaste dentário era mais pronunciado do que as lesões no esmalte e os autores sugerem que tal diferença seja decorrente do material particulado (óxidos de sílica, alumínio e ferro) depositado na vegetação. Com isso, sugere-se que as alterações nos organismos dependem também do tipo de emissão da fonte poluidora.

Swaine (2000), avaliando elementos-traço durante a mineração, beneficiamento e combustão do carvão mineral, observou uma importante variação nos valores de deposição de oligoelementos com o tempo de amostragem, enfatizando a importância do tempo na amostragem em qualquer local, a fim de obter resultados significativos.

A fluorose dentária, caracterizada no presente estudo pelos índices de mosqueamento, é decorrente da ingestão de pequenas quantidades de flúor por um longo período de tempo (intoxicação crônica) e isso explicaria o aumento dos índices de mosqueamento mais altos nas estações sob influência da Usina, ao longo do período.

O modelo de comparação direta das estações experimentais teve o valor p de proporcionalidade de Odds 0,49, assumindo sua proporcionalidade. A estatística *Deviance* teve valor p de 0,5, demonstrando ajustamento. A comparação entre as estações experimentais teve interação com o ano, valor  $p < 0,001$ . Observou-se que nos anos de 2011 e 2012 houve variação nas probabilidades acumuladas de índices de mosqueamento entre as EAs. Entretanto, a EA1 se manteve com a mesma relação de probabilidades de mosqueamento ao longo dos três anos e, na EA2, a probabilidade de mosqueamento zero diminuiu de 2011 para 2012, subindo no ano de 2014. Na EA 3 o perfil de probabilidades entre os mosqueamentos se manteve semelhante entre os anos 2012 e 2014. Em relação às EA 4 e 5, as probabilidades foram parecidas nos anos de 2011 e 2012, subindo a probabilidade de mosqueamento zero em 2014 (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Perfil de probabilidades acumuladas dos índices de mosqueamento em cada EA e ano.



Fonte: os próprios autores

O estudo do perfil de probabilidades reafirma a relação da distância entre a fonte poluidora e a existência das lesões dentárias, bem como a estabilidade do ambiente da estação localizada fora do perímetro de influência da Usina, cumprindo com o objetivo de um programa de monitoramento, que é o de obter informações sobre as características de um problema no tempo e no espaço. Observou-se a modificação desses perfis ao longo do período com aparentes melhorias do ambiente, sugeridas pela redução de índices altos ou aumentos de índices baixos de mosqueamento. O período de 2014 apresentou uma aparente estabilidade no ambiente das estações amostrais e isso pode ser decorrente das ações mitigadoras de impactos ambientais buscadas constantemente pela Usina com a instalação de precipitadores eletrostáticos, tratamento de efluentes, recuperação da mata ciliar, entre outros ou, pela troca dos animais por parte dos produtores, sendo estes oriundos de regiões sem a interferência da Usina, conforme relatado por alguns.

No presente estudo, aparentemente, a distância em relação à fonte poluidora não foi o principal fator responsável pelo aumento das lesões dentárias, tendo em vista que as estações

mais próximas da Usina (EA3 e EA4, distantes a 5 km da fonte) apresentaram comportamentos diferentes em relação à gravidade das lesões, sugerindo, então, a interferência de outras variáveis não estudadas sobre os índices de mosqueamento. Fatores como a topografia e os ventos podem ser importantes nesse sentido.

A localização geográfica em relação à fonte poluidora, o relevo e os ventos podem interferir na distribuição dos poluentes na atmosfera e, conseqüentemente, na sua deposição no solo e nas pastagens, influenciando de diferentes formas a saúde dos animais. Swaine (2000), estudando elementos-traço decorrentes da combustão do carvão, verificou que diferentes quantidades desses elementos são depositadas nos arredores das usinas apresentado uma redução dessas quantidades conforme o ponto de amostragem se distancia da fonte poluidora. O autor verificou, ainda, que as variações dependem, além da distância, de mudanças na força e direção dos ventos. Da mesma forma, Nedel (2003), ao estudar a dispersão de poluentes na região da Usina Termelétrica de Candiota, observou que os valores máximos de concentração de poluentes ocorrem próximos a fonte de emissão (Usina). Para os autores isso se dá, principalmente, pela influência direta da topografia na circulação local da região e a baixa velocidade dos ventos.

Quanto à topografia da região em estudo, Alves (1996) chama atenção para a presença de um vale a nordeste da fonte de emissão com altura de 150 metros e a existência à sudoeste da fonte, da máxima elevação do terreno da região, sendo a direção predominante do vento à nordeste.

Quanto às análises de solo e pastagem, os níveis de flúor mensurados no solo e na pastagem foram inferiores a  $10 \text{ mg.kg}^{-1}$  em todas as coletas. Martins *et al.* (1992), analisando a concentração de flúor em diferentes espécies de pastagens da região carboelétrica de Candiota, observou valores de flúor superiores aos observados em amostras de referência (fora da área de influência da Usina), inclusive na espécie alvo do presente estudo (*Paspalum notatum*), que apresentaram concentrações médias de 2,45 ppm em novembro de 1989 e 5,20 ppm em outubro 1990. Mesmo que os autores, a partir das medições, não afirmem que o flúor possa causar prejuízos à vegetação e aos animais, eles admitem a possibilidade de interação deste elemento com a ocorrência de efeitos sinérgicos nesses organismos. Conforme Radostits *et al.* (2000) a ingestão de flúor de 0,5-1,7 ppm na forma de fluoreto de sódio produz lesões dentárias em animais em crescimento. A ingestão contínua por novilhas de  $1,5 \text{ mg.kg}^{-1}$  PV por dia é suficiente para causar fluorose dental grave. Considerando as evidências de lesões dentárias nos animais estudados, compatíveis com intoxicação crônica por flúor, bem como a evidência da presença deste metal em espécies de pastagem da região em estudos anteriores,

vê-se a necessidade da busca por laboratórios de análises que tenham métodos mais sensíveis para mensuração deste elemento nas amostras analisadas.

As concentrações de sílica no solo e pastagens estão apresentadas na Tabela 5. Observam-se alterações das concentrações da sílica na pastagem durante o período do estudo na região, sendo o ano de 2012 caracterizado pelos maiores índices em todas as estações amostrais (Gráfico 2).

As concentrações de sílica no solo e pastagens e a média anual de sílica na pastagem estão apresentadas na Tabela 5 e Gráfico 2, respectivamente.

Tabela 5 - Concentrações de sílica no solo e pastagens por estação amostral.

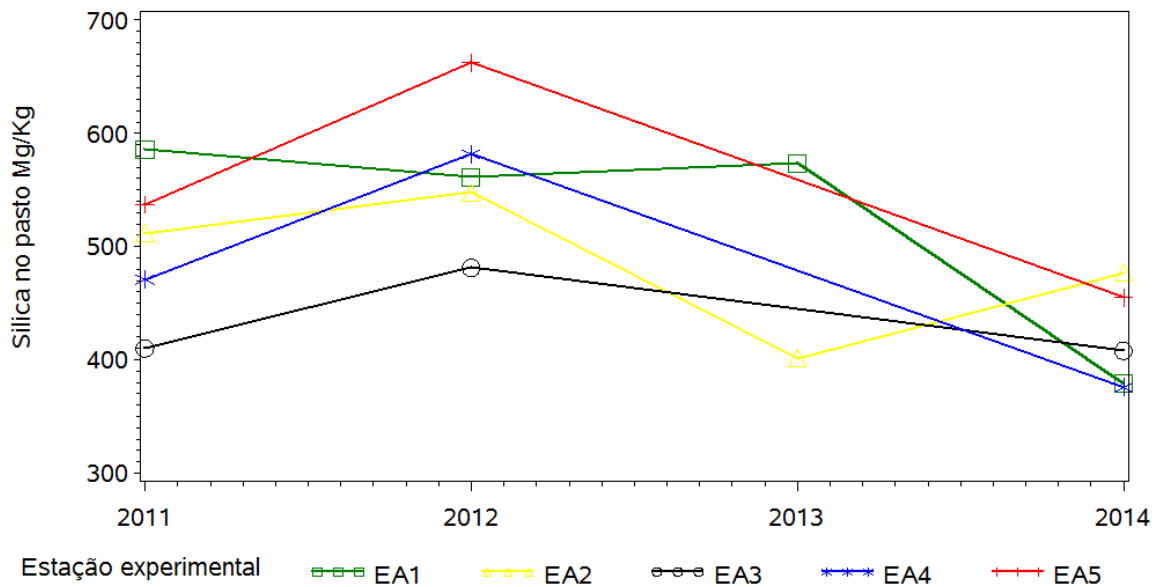
	SOLO (sílica mg.kg <sup>-1</sup> )			PASTAGEM (sílica mg.kg <sup>-1</sup> )		
	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média
EA1	121	1058,6	510,49	318	844	539,98
EA2	100	949	492,14	287	803	565,12
EA3	100	1399	525,7	260	1513	645,95
EA4	163	983	488,44	299	833,2	544,79
EA5	169	917	493,49	304	1021,5	620,45

Fonte: o próprio autor

A sílica é um constituinte comum do solo e de plantas e desempenha papel importante nos ossos, nas cartilagens e no tecido conjuntivo (CARLISE, 1988). Sua concentração em gramíneas forrageiras pode superar 50,000 mg.kg<sup>-1</sup> e a ingestão deste mineral pode aumentar a taxa de desgaste dos dentes, reduzindo o tempo de vida produtiva dos animais de pasto (MAYLAND; SHEWMAKER, 2001). Apesar de sua contribuição para formação de tecidos, segundo Mayland (1999), a sílica reduz a digestibilidade da forragem reduzindo a acessibilidade da microflora ruminal, pela formação de uma espécie de verniz na parede da célula da planta; se complementa com oligoelementos como o Zn reduzindo a sua disponibilidade para a microflora do rúmen, ou forma complexos com algumas das enzimas que são integralmente envolvido no metabolismo do rúmen.

A média anual de sílica na pastagem está apresentada no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Média anual de sílica na pastagem por estação amostral.



Fonte: os próprios autores

Mesmo não sendo possível relacionar os níveis de sílica com o desgaste dentário observado, a presença de lesões compatíveis com fluorose dentária é um fator para preocupação com os níveis de elementos abrasivos na pastagem como é o caso da sílica, tendo em vista que intoxicação por flúor fragiliza o esmalte dentário deixando os dentes mais susceptíveis ao desgaste. Conforme Riet-correa *et al.* (1986) e Divan Júnior *et al.* (2010), óxidos de sílico, alumínio e ferro são elementos abrasivos liberados pelas chaminés das termelétricas e se depositam na pastagem aumentando o desgaste dentário e reduzindo a vida produtiva dos animais.



#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados do estudo apontam para a necessidade da manutenção do monitoramento ambiental na região, considerando que os animais estudados dentro do perímetro de influência da Usina apresentam mais chances de terem índices mais altos de mosqueamento ( $<3$ ), indicativo de intoxicação crônica por flúor, bem como as oscilações de sílica na pastagem durante os anos, sugerindo alterações no ambiente que devem ser investigadas. Cabe salientar que a Usina não é a única fonte poluidora na região, tendo ainda nas proximidades das estações amostrais, uma fábrica de cimento, usina de calcário e a mina de carvão, além dos caminhões utilizados para escoamento das produções.

Apesar de o modelo bovino ser considerado adequado como um bioindicador de qualidade ambiental, devido à proximidade de convivência e a similaridade em termos fisiológicos com o ser humano, além da coincidência de *habitats* de vida, bem como sua sensibilidade aos poluentes depositados na pastagem, como é o caso do flúor, o sistema de criação (terminação) utilizado na maioria das propriedades da região implica em que este não seja o modelo de bioindicação mais adequado para a região.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2. ed. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm>> Acesso em: 6 mar. 2014
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236p. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/visualizar\\_texto.cfm?idtxt=1689](http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689)> Acesso em: 23 jun. 2014.
- ALVES, R.C.M. Estudo da dispersão do SO<sub>2</sub> emitido pela Usina Termoeletrica Presidente Médici, Candiota- RS, Brasil. 1996, 129 f. **Dissertação** (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 01**, de 23 de fevereiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>> Acesso em: 03 jul. 2014
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>> Acesso em: 03 jul. 2014
- BRASIL. **Programa Nacional do Meio Ambiente II**– PNMA II, Fase 2, 2009 - 2014. Brasília: Departamento de Coordenação do Sisnama, 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/pnma/\\_arquivos/04\\_02\\_manual\\_monitor\\_amb\\_jul09\\_6.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/pnma/_arquivos/04_02_manual_monitor_amb_jul09_6.pdf)> Acesso em: 21 jun. 2014.
- BITAR, O. Y.; ORTEGA, R. D. Gestão ambiental. In: OLIVIEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap. 32, p. 499-508.
- CAIRNS Jr., J.; MCCORNICK, P. V.; NIEDERLEHNER, B. R. A proposed framework for developing indicators of ecosystem health. **Hydrobiologia**. London, v. 263, n. 1, p. 1-44, July 1993.
- CARLISLE, E. M. Silicon as a trace nutrient. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 73, n. 1-2, p. 95-106, July 1998.
- CARRERAS, H. A.; PIGNATA.M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usneaam blyoclata*. **Environmental pollution**, Barking, v. 11, n. 1, p.45-52, 2001.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A. **Metodologia científica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.
- COELHO, A. M. **Amostragem de solos**: a base para aplicação de corretivos e fertilizantes. Embrapa - Comunicado Técnico nº 73, Minas Gerais, 2003.

DELGADO, T. *et al.* Caracterização petrográfica e química dos carvões usados nas usinas termelétricas no sul do Brasil e a avaliação dos impactos ambientais através das cinzas geradas no processo de combustão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARVÃO MINERAL, 4., Gramado, 2013. **Anais...** Criciúma: Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina, 2013, p. 769-786.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Balço mineral brasileiro**. Brasília: DNPM, 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=65>>. Acesso em: 19 maio 2014.

DIVAN JÚNIOR, A. M. *et al.* Influence of a coal-fired power plant on terrestrial biota ar Candiota, South of Brazil, Short Communication. In.: GRACE, C. T. Editor. **Coal Combustion Research**, 2010

FIDANCI, U. R.; SEL, T. The industrial fluorosis caused a coal-burning power station and its effects on sheep. **Turkish Journal Veterinary and Animal Science**, Ankara, v.25, n. 5, p. 735-741, 2000.

GOMES, A. J. P.; CRUZ, P. R.; BORGES, L. P. Recursos minerais energéticos: carvão e urânio. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**, Brasília: CPRM, 2003. 692p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=790&sid=9> Acesso em: 22 jun. 2014

GUINEI, X. An investigation of fluorosis of cattle and goats in Western Inner Mongolia. In: MASTERS, D. G. *et al.* (Ed.). **Mineral problems in sheep in Northern China and other regions of Asia**. Camberra: Australian Center for International Agricultural Research, 1996. p. 56-60.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da pecuária municipal 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=430435&idtema=121&search=ri-o-grande-do-sul|candiota|pecuaria-2012>>. Acesso em: 19 abr. 2014

JARDIM, W. R. **Curso de bovinocultura**. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 1985, 525p. 6. ed.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Elements of group VII. In:\_\_\_\_\_. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC Press, 1984. cap.12, p. 209-229.

KAPUSTA, S. C.; BÜNDCHEN, M.; FREITAS, S. M. F. Indicadores biológicos como instrumento para o monitoramento ambiental. In: SCHWANKE, C. (Org.). **Ambiente: tecnologias**, Porto Alegre: Bookmann, 2013. cap. 4, p. 75-91.

KRONBERG, B. I. *et al.* Distributions of trace elements in Western Canadian coal ashes. **Fuel**, v. 60, n. 1, p. 59-63, Jan. 1981.

LIMA, J. S. O biomonitoramento como ferramenta complementar na avaliação de impactos ambientais: discutindo conceitos. **Eco Terra Brasil**, Curitiba, jun. 2000.

<<http://www.ecoterrabrasil.com.br/home/index.php?pg=temas&tipo=temas&cd=92#>>

Acesso em: 18 jun. 2014

MARTIN, O. *et al.* Irregular tooth wear and longevity in captive wild ruminants: a pilot survey of necropsy reports. **Journal of Zoo and Wild life Medicine**, Lawrence, v. 39, n. 1, p. 69-75, Mar. 2008.

MARTINS, A. F. *et al.* Concentração de flúor em diferentes espécies de pastagens da região carboelétrica de Candiota, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p. 119-132, nov. 1992.

MARÇAL, W. S. *et al.* Animais pecuários como indicadores do biomonitoramento de poluentes ambientais em propriedades rurais. In: ZOOTEC 2007: A zootecnia frente a novos desafios, Londrina, 2007. **Anais**. Londrina: Associação Brasileira de Zootecistas, 2007. Disponível em: <<http://www.abz.org.br/publicacoes-tecnicas/anais-zootec/artigos-cientificos/ensino-extensao/3099-Animais-pecuarios-como-indicadores-biomonitoramento-poluentes-ambientais-propriedades-rurais.html>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

MAYLAND, H. F. Plant nutrient content and animal health issues. ANNUAL MEETING PACIFIC NORTHWEST ANIMAL NUTRITION CONFERENCE, 34., Portland, 1999.

**Proceedings...** Portland, 1999. p. 67-80. Disponível em: <

<http://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/1090/1/993.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2014.

MAYLAND, H. F.; SHEWMAKER, G. E. Animal health problems caused by silicon and other mineral imbalances. **Journal of Range Management**, Arizona, v. 54, n. 4, p. 441-446, July 2001.

NEDEL, A. S. **Aplicação de um modelo de dispersão atmosférico na região de Candiota-RS e sua relação com as condições meteorológicas**. 2003. 129 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/10183/5572>>. Acesso em: 11 maio 2014.

PATRA, R. C. *et al.* Industrial fluorosis in cattle and buffalo around Udaipur, India. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 253, n. 1-3, p. 145-150, May 2000.

PAULA, S. N. C. **Biomonitoramento como instrumento de detecção de contaminantes ambientais**. 2010. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Veiga de Almeida, Vitória, 2010. Disponível em: <<http://br.monografias.com/trabalhos-pdf/biomonitoramento-instrumento-deteccao-contaminantes-ambientais/biomonitoramento-instrumento-deteccao-contaminantes-ambientais.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2014.

PEREIRA, V. C. Entre o rural e o carvão: as representações sociais em Candiota, RS. **Revista Capital Científico**, Guarapuava, v. 11, n. 3, p. 1-14, set/dez 2013.

PIRES, M.; QUEROL, X.; TEIXEIRA, E. C. Caracterização do carvão de Candiota e de suas cinzas. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 113-130, 2001.

PIVETTA, F. *et al.* Monitoramento biológico: conceitos e aplicações em saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 545-554, mai-jun 2001.

RADOSTITS, O. M. *et al.* **Clínica veterinária**: um tratado de doenças de bovinos, ovinos, suínos, caprinos e equinos. 9. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000. 1737p.

RAFFI, M. B.; MÉNDEZ, M. DEL C. **Intoxicação por flúor**. In: RIET-CORREA, F. *et al.* Doenças de ruminantes e equinos, 2. ed., São Paulo: Livraria Varela, 2001. v.2, 574p.

RIET-CORREA, F. *et al.* Poluição industrial como causa de intoxicação por flúor em bovinos no município de Rio Grande, RS. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 4, p. 107-114, 1983.

RIET-CORREA, F. *et al.* Lesões dentárias em bovinos e ovinos devidas à poluição industrial causada pela combustão de carvão. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 1, p. 23-31, jan/mar 1986.

SCARAMOZZINO, P. *et al.* Surveillance model for environmental contaminants through their monitoring in animal production. **Italian Journal of Public Health**, Milan, v. 7, n. 1, p. 3-11 2010.

SAWIDIS, T. *et al.* A study of metal distribution from lignite fuel using trees as biological monitors. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, New York, v. 48, n. 1, p. 27-35, Jan 2001.

SILVA, G. A. V. **Manual de avaliação e monitoramento de integridade ecológica, com uso de bioindicadores e ecologia de paisagens**. 2010. 75f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade. Nazaré Paulista, 2010. Disponível em:  
<<http://www.ipe.org.br/english/images/stories/arquivos/produtofinalgustavo.pdf>> Acesso em: 18 jun. 2014.

SLOOF, J. E. Lichens as quantitative biomonitors for atmospheric trace-element deposition, using transplants. **Atmospheric Environment**, Amsterdam, v. 29, n. 1, p. 11-20, Jan. 1995.

SOUZA, M. V. *et al.* Metais pesados em amostras biológicas de bovinos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, p. 1774-1781, set. 2009.

STRECK, C. D. *et al.* Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia do Arroio Candiota - RS utilizando sistemas de informação geográfica. In: GIS Brasil 99 – CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 5., Salvador 1999. **Anais...** Salvador: Fator GIS, 1999.

SUTTIE, J. W. Nutritional aspects of fluoride toxicosis. **Journal of Animal Science**, Chanpaig, v. 51, n. 3, p. 759-766, Sep. 1980.

SWAINE, D. J. Why trace elements are important. **Fuel Processing Technology**, Perth, v.65-66, p. 21-33, 2000.

TOMMASI, L. R.; A monitorização do meio ambiente. In: \_\_\_\_\_, **A degradação do meio ambiente**. 4. ed., São Paulo: Nobel, p. 77-82, 1979.