

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COMISSÃO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO BANHADO GRANDE, MUNICÍPIO DE
GLORINHA - RS**

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

Porto Alegre

2014

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO BANHADO GRANDE, MUNICÍPIO DE
GLORINHA - RS**

Trabalho de Graduação, em forma de monografia, submetido a Comissão de Graduação em Geografia, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Porto Alegre

2014

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

**ANÁLISE DO PROCESSO EROSIVO NO BANHADO GRANDE, MUNICÍPIO DE
GLORINHA - RS**

Trabalho de Graduação, em forma de monografia, submetido a Comissão de Graduação em Geografia, como requisito parcial para obtenção do grau de bacharel em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

BANCA EXAMINADORA

Roberto Verdum - UFRGS

Ulisses Bremer - UFRGS

Porto Alegre

2014

Aos Meus avós,

Adelfa Oliveira, Ertemio Etchelar y Gualberto Balsamo.

Em memória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e principalmente ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), pela estrutura, ambiente e auxílio financeiro.

Ao meu Professor e Orientador Laurindo Antônio Guasselli, pelo seu convite para ser sua bolsista e trabalhar no projeto onde incluía minha área de interesse, por sua excelência de saber ensinar e orientar com total envolvimento e comprometimento.

Ao pessoal do LAGAM (Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental), Tássia, Renata, Fabi, Letícia, Guilherme, João, Pablo, Thiago, Camilo, Ednardo, Eduardo, João Gabriel e Renato. Obrigada pela paciência, ensinamentos e parcerias nestes dois anos de excelente convívio, trabalhos, churrascos e congressos.

Ao Laboratório de sedimentologia, localizado no, Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e principalmente ao Sr. Gilberto Silveira dos Santos, técnico em geologia na área sedimentar, que me ajudou nesta pesquisa com muito comprometimento e profissionalismo.

A Fundação Municipal de Meio ambiente do Município de Gravataí – RS (FMMA), e a patrulha ambiental, pelo suporte nas saídas de campo, essa estrutura foi fundamental nesta caminhada.

Aos meus colegas de graduação, muito obrigada por formarmos uma barra maravilhosa da qual me orgulho muito. Aos professores do Departamento de Geografia, um muito obrigado por todos os ensinamentos. Sem dúvida todos vocês foram muito importantes para a realização deste sonho.

Ao meu companheiro Luiz Inácio de Oliveira, que possibilitou desde o primeiro dia de vestibular até os dias de hoje a minha dedicação a graduação, e possivelmente se ele não estivesse ao meu lado, não teria sido possível a realização desse trabalho.

Aos meus pais, Adela Balsamo e Walter Etchelar, pela paciência, ensinamentos, dignidade e valores que sempre me foram passados, onde a educação sempre foi prioridade a ser passada aos seus filhos. Meus pais, exemplo de cidadãos, que sempre levaram suas profissões com muita dedicação, ética e comprometimento, uma artista plástica e um topógrafo, que sem dúvida foram inspiração na minha escolha pela Geografia.

Aos meus irmãos Ernesto e Cibell, por estarem sempre ao meu lado em minha trajetória, e entenderem a falta de tempo de estarmos juntos, amo vocês. A minha cunhada

Jaqueline Meggiato, que me auxiliou na correção de vários trabalhos e artigos e pelas palavras de apoio e incentivo. As minhas amadas sobrinhas Ana Luiza, Violeta e Mariana.

As minhas primas Natália e Pilar e meus primos Damian, Liber, Alvaro e Yamandu, que mesmo a distância estão junto comigo.

A minha sogra Lourdes Paviani e ao meu sogro Guido de Oliveira, que sempre contribuíram com inúmeros gestos de apoio.

Muito Obrigada a todos e todas que me acompanharam ao longo da graduação!

EPÍGRAFE

“Tenho saudades de um país que ainda não existe no mapa”

Eduardo Galeano

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado Grande abrange uma área formada por um conjunto de banhados. Visa compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos ecossistemas naturais ali existentes; conservar o solo e os recursos hídricos; com a implementação de estratégias de gerenciamento em nível de bacia; e recuperar as áreas degradadas com vista à regeneração dos ecossistemas naturais. No início da década de 1970, parte do rio Gravataí foi canalizado, o objetivo era drenar as áreas úmidas e viabilizar a expansão das áreas de cultivo do arroz. O Banhado Grande vem sofrendo um constante e crescente processo de degradação, como resultado vem ocorrendo um acelerado processo erosivo em parte do banhado, localizado no município de Glorinha - RS. Para melhor compreender a dinâmica deste processo erosivo no Banhado Grande este estudo propôs: (i) Analisar e quantificar o mapeamento da produção de arroz dentro da área da APA do Banhado Grande; (ii) Estabelecer relações entre dados de precipitação, relevo, fluxo de águas subterrâneas, geologia e pedologia, pois através destas variáveis, podemos compreender a dinâmica natural das áreas de banhado e as áreas úmidas em seu entorno; (iii) Mapear a partir de uma série temporal de imagens de alta resolução espacial o processo de erosão. Os resultados do mapeamento mostraram um significativo aumento da produção orizícola, com 4805 ha em 1985, 8176 ha em 1994 e 11013 ha em 2009. O mapeamento da erosão mostrou uma evolução nas dimensões da voçoroca com uma área de 1409 m² no ano de 2003; 7956 m² em 2010 e 8814 m² em 2012. Esses dados evidenciam possíveis relações entre o cultivo de arroz irrigado e a desestabilização de algumas características físicas através do canal de macrodrenagem do Banhado Grande como desencadeadores do processo erosivo.

Palavras_Chave: Banhado Grande, Rizicultura, Erosão.

ABSTRACT

The Environmental Protection Area (APA) of Banhado Grande covers an area formed by a set of wetlands. It aims to reconcile socioeconomic development with protection of natural ecosystems therein established, conserve the soil and the water resources with the implementation of management strategies at basin level and recover the degraded areas, aiming the regeneration of natural ecosystems. In the early 1970's, part of Gravataí river was channeled. The objective was to drain the wetlands and facilitate the expansion of areas of rice cultivation. Banhado Grande has undergone a steady and growing process of degradation. As a result, there has been occurred a rapid erosion process in a portion of the swamp, which is located in the municipality of Glorinha - RS. For a better understanding of the dynamics of this erosion on Banhado Grande, this study has proposed: (i) analyze and quantify the mapping of rice production within the area of the APA Banhado Grande; (ii) establish a connection between rainfall data, relief, groundwater flow, geology and pedology, because through these variables, it is possible to understand the natural dynamics of the plated areas and of the wetlands in your surroundings; (iii) Mapping the erosion process through a time series of high spatial resolution. The mapping results showed a significant increase in rice production, with 4805ha in 1985, 8176 ha in 1994 and 11013ha in 2009. The mapping of erosion showed an evolution in the dimensions of the gully with an area of 1409 m² in 2003.; 7956 m² 8814 m² in 2010 and in 2012. These data show possible connections between irrigated rice and the destabilization of some physical characteristics through the macro drainage channel of Banhado Grande as causes of the erosion process.

Code_words: Banhado Grande, rice cultivation, erosion.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de Localização. | 18 |
| Figura 2. Mapa de uso e ocupação no solo..... | 19 |
| Figura 3. Mapa da região sul, com data de 1865..... | 20 |
| Figura 4. Mapa de Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gravataí..... | 21 |
| Figura 5. Imagem ilustrativa de uma erosão por voçoroca..... | 27 |
| Figura 6. Imagem ilustrativa de uma erosão por duto..... | 27 |
| Figura 7. Perfil da voçoroca, no Banhado Grande..... | 31 |
| Figura 8. Mapa de precipitação, médias anuais da bacia hidrográfica do rio Gravataí..... | 34 |
| Figura 9. Gráfico com as médias das precipitações mensais, considerando os municípios de Taquara, Santo Antônio da Patrulha, Glorinha e Viamão, entre 2006 e 2010..... | 35 |
| Figura 10. Imagem de 20 de setembro de 2013, evidenciando a área inundada, e sobreposição da área de erosão do Banhado Grande..... | 37 |
| Figura 11. Imagem de 06 de março de 2012, em período de estiagem, e sobreposição da área de erosão do Banhado Grande..... | 38 |
| Figura 12. Mapa hipsométrico da bacia do rio Gravataí..... | 39 |
| Figura 13. Perfil longitudinal do rio Gravataí..... | 40 |
| Figura 14. Mapa do relevo da área da APA do Banhado Grande..... | 41 |
| Figura 15. Composição colorida de imagem Landsat 8, de 30 de agosto de 2013. Evidencia a inundação interligando as áreas de banhado da APA e ao longo do rio Gravataí..... | 42 |
| Figura 16. Mapa pedológico da bacia do rio Gravataí. | 44 |
| Figura 17. Mapa de velocidade de fluxo das águas subterrâneas..... | 46 |
| Figura 18. Mapa de Geomorfologia e de Geologia da área da APA do Banhado Grande..... | 48 |
| Figura 19. . Gráfico da produção de arroz (ha) nos anos de 1985, 1994 e 2009, APA do Banhado Grande..... | 49 |
| Figura 20. Mapeamento do cultivo de arroz nos anos 1985, 1994 e 2009, APA do Banhado Grande. | 52 |
| Figura 21. Mapeamento temporal da rizicultura, APA do Banhado Grande. | 53 |
| Figura 22. Dutos utilizados no sistema de irrigação da produção orizícola..... | 54 |

| | |
|---|----|
| Figura 23. Gráfico das vazões de demanda e de consumo em (L/s) da bacia hidrográfica do rio Gravataí..... | 54 |
| Figura 24. Lavoura de Arroz..... | 55 |
| Figura 25. Gráfico com índice anual de evaporação da bacia do rio Gravataí..... | 56 |
| Figura 26. Canais de irrigação para manejo de água pela rizicultura em área de APP do rio Gravataí..... | 56 |
| Figura 27. Presença da produção bovina na área do Banhado Grande e o impacto gerado pelas trilhas do gado..... | 57 |
| Figura 28. Gráfico do aumento da área da voçoroca entre os anos de 2003 à 2012 no Banhado Grande, Município de Glorinha/RS..... | 58 |
| Figura 29. Evolução espacial e temporal do avanço da voçoroca no Banhado Grande - Município de Glorinha/RS..... | 60 |
| Figura 31. Segmento de maior alargamento da voçoroca do banhado..... | 61 |
| Figura 32. Ocorrências de dutos na área de processos erosivos..... | 63 |
| Figura 33. Esquema das formações circulares na vertente da voçoroca..... | 63 |
| Figura 34. Dutos próximos da área de erosão..... | 64 |
| Figura 35. Presença de formigas na área de erosão..... | 66 |

LISTA DE ABREVEATURAS

APA - Área de Preservação Ambiental

CECO - Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

CEPSRM - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FMMA- Fundação Municipal de Meio Ambiente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH - Instituto de pesquisas Hidráulicas

IRGA - Instituto Rio Grandense de Arroz

LAGAM - Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental

METROPLAN - Fundação Metropolitana de Planejamento

PROTEGER - Programa Técnico Para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre

RMPA - Região Metropolitana de Porto Alegre

RS - Rio Grande do Sul

SEMA- Secretaria Estadual de Meio Ambiente

UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL..... | 16 |
| 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 16 |
| 1.3 JUSTIFICATIVA..... | 16 |
| 1.4 RECORTE ESPACIAL..... | 17 |
| 2 REFERENCIALTEÓRICO | 22 |
| 2.1 BANHADOS..... | 22 |
| 2.2 ARROZ IRRIGADO..... | 23 |
| 2.3 EROSÃO..... | 24 |
| 2.3.1 Voçoroca..... | 25 |
| 2.3.2 Duto..... | 26 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 3.1 MAPEAMENTO DO ARROZ NA ÁREA DA APA DO BANHADO GRANDE..... | 28 |
| 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS FÍSICOS SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ..... | 29 |
| 3.3 MAPEAMENTO DA EVOLUÇÃO DO PROCESSO EROSIVO NO BANHADO GRANDE..... | 32 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 33 |
| 4.1 VARIÁVEIS FÍSICAS..... | 33 |
| 4.1.1 Precipitação..... | 33 |
| 4.1.2 Relevo..... | 39 |
| 4.1.3 Pedologia..... | 42 |
| 4.1.4 Águas subterrâneas..... | 46 |
| 4.1.5 Geologia e Geomorfologia..... | 47 |
| 4.2 RIZICULTURA..... | 49 |
| 4.3 EROSÃO..... | 57 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 67 |
| 5.1 RECOMENDAÇÕES..... | 68 |
| 6 REFERÊNCIAS | 69 |

1 INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental - APA do Banhado Grande foi criada a partir do Decreto nº 38.971, de 23 de outubro de 1998, e está contida nos limites da bacia hidrográfica do rio Gravataí, no Rio Grande do Sul. O decreto prevê: preservar o conjunto de banhados; compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos ecossistemas naturais ali existentes; conservar o solo e os recursos hídricos, com a implementação de estratégias de gerenciamento em nível de bacia; e recuperar as áreas degradadas com vista à regeneração dos ecossistemas naturais. Conforme o seu Parágrafo Único considera-se Banhado Grande, Banhado Chico Lomã e Banhado dos Pachecos o conjunto de banhados formadores do Rio Gravataí.

O jornal Correio do Povo, no dia 06 de março de 2014, divulgou uma liminar do Tribunal de Justiça, determinando que o Estado e a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM), tomassem providências para a implantação, gestão e manutenção com vistas à realização do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande e do Refúgio da Vida Silvestre Banhado dos Pachecos. Nessa decisão, foi determinada a proibição, pela administração da Unidade de Conservação de Uso Sustentável da APA, da concessão de autorização para instalação de empreendimentos, obras ou atividades que causem potencial degradação ambiental no interior da APA, ou no seu entorno, até o limite de 10 mil metros. A determinação ainda prevê a revisão imediata de todas as licenças ambientais expedidas pela Fepam, sejam elas prévias, de instalação ou de operação para mineração de areia a céu aberto sem beneficiamento, situadas na APA do Banhado Grande. O despacho também determina que, em até 60 dias, seja implantado o Plano de Sinalização Emergencial para a instalação de placas de identificação da APA.

Entretanto, segundo Guasselli *et al.* (2013), as áreas úmidas da bacia do rio Gravataí, inseridas na APA do Banhado Grande, encontram-se significativamente alteradas. Desde a década de 1940, a bacia tem sido densamente ocupada por áreas agrícolas para o cultivo de arroz, drenando suas áreas inundáveis, transformando os cursos d'água em uma malha de canais de irrigação. A rizicultura ocupa uma área com cerca de 23.832 ha na área da APA do Banhado Grande, e se concentra predominantemente na área denominada Sistema Banhado Grande.

A região metropolitana de Porto Alegre (RMPA) foi uma das pioneiras na produção de arroz irrigado no Estado do Rio Grande do Sul. As áreas de cultivo ocorriam principalmente em Guaíba e Gravataí no início do século XX, e adotavam técnicas de irrigação empregada por empresas agrícolas alemãs, que seriam difundidas em todas as regiões do estado, em especial nas zonas de maior disponibilidade hídrica. O primeiro grande arrozal irrigado na RMPA se estabeleceu no município de Gravataí, em 1905 (Mertz, 2002).

De acordo com dados apresentados no site da Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM, 2014), o rio Gravataí é incapaz de realizar a regulação natural de sua vazão, pois é considerado o mais sensível rio da sua região. O Banhado Grande, que funciona como uma esponja regulando as vazões a montante foi bastante impactado pelas lavouras de arroz irrigado, reduzindo a capacidade de acumulação de água.

Um exemplo das significativas transformações é o canal em parte do rio Gravataí, construído pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS). Esta obra foi realizada no início da década de 1970, e estende da velha olaria até o limite da área do banhado grande, onde percorre uma distância de aproximadamente 20 km (FEPAM, 2014). Esta obra, neste trecho, fez com que o rio mudasse o fluxo de drenagem do tipo meandrante para uma drenagem tipo retificada. Essa retificação pode ter levado a um aceleração da vazão do rio, assim mudando sua dinâmica de drenagem.

Além destas modificações, a partir deste canal, redes de drenagem foram realizadas pelos produtores de arroz, este processo auxiliou na macrodrenagem do banhado e das áreas úmidas do seu entorno. Nessas áreas vem ocorrendo na última década um rápido processo de erosão acelerada, que pode levar a uma perda significativa de solo e o consequente processo de voçorocamento, observado às margens do canal de drenagem junto ao Banhado Grande.

A erosão é um processo de degradação do solo que está fortemente ligado ao avanço da agricultura. Onde o homem investe em tecnologias para a produção de alimentos, porém não tem se preocupado em associar este desenvolvimento com a conservação dos solos. Alguns centímetros de espessura de solo agricultável de alta qualidade requerem 500 anos para amadurecer, no entanto, essa mesma espessura de solo é perdida anualmente pela erosão (Christopherson, 2012).

1.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo tem como objetivo analisar a evolução da área de rizicultura de 1985 a 2009 e do processo erosivo no Banhado Grande no município de Glorinha/RS, no período de 2003 a 2012, assim como as possíveis relações entre variáveis do meio físico na evolução deste processo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar e quantificar o mapeamento da produção de arroz dentro da área da APA do Banhado Grande nos anos de 1985, 1994 e 2009;
- Estabelecer relações entre dados de precipitação, relevo, fluxo de águas subterrâneas geologia e pedologia;
- Mapear a partir de uma série temporal de imagens o processo de erosão no período de 2003 a 2012.

1.3 JUSTIFICATIVA

As áreas úmidas são importantes sistemas que desempenham o papel de abrigar inúmeras espécies, com núcleos diversificados da biodiversidade, além da função reguladora do sistema hidrológico. Como o Gravataí é um rio onde sua nascente compreende uma área úmida com banhados, e existe um crescente interesse destes ecossistemas, que contrastam com o aumento das pressões e intervenções sobre elas, torna-se conveniente compreendermos melhor a dinâmica do Banhado Grande.

A presença de áreas úmidas é fundamental para a dinâmica de toda a bacia hidrográfica. Porém, as modificações que nelas têm ocorrido comprometem suas funções, provocando consequências que afetam tanto os ecossistemas como as atividades humanas ali existentes. Para compreender a situação atual dessa área, é útil conhecer a estrutura de sua paisagem, verificando suas mudanças ao longo do tempo (Loretti, 2008).

Ao se tratar de uma área de banhado, de topografia plana, onde não é de costume que ocorram processos erosivos, existe um déficit de literaturas e pesquisas relacionadas a este processo. Há apenas um breve estudo sobre esta área, que foi executado no ano de 2010 pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), encomendado pela gerência da APA do Banhado Grande para responder a uma demanda do Ministério Público Estadual.

Historicamente o arroz irrigado, encontrou nas áreas úmidas da bacia hidrográfica do rio Gravataí, as condições ideais para a expansão de sua produção, com terrenos planos e grande disponibilidade hídrica. Em trabalhos realizados nos anos de 2012 e 2013 no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através de quantificações se verifica que a produção orizícola, segue em escala crescente nesta região. Assim, os impactos sobre essas terras agricultáveis, tendem a acompanhar esta ascensão.

1.4 RECORTE ESPACIAL

A bacia hidrográfica do rio Gravataí está localizada na região leste do estado do Rio Grande do Sul. Estende-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a oeste, e a zona de lagunas da costa do Atlântico a leste. Ao norte faz limite com a bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e ao sul com os banhados e arroios que escoam para a Lagoa dos Patos. A área ocupada pela bacia é de aproximadamente 2020 km² (Rubbo, 2004).

A área da APA do Banhado Grande está inserida na Região Metropolitana de Porto Alegre (RMPA), onde se concentra a maior população do Estado do Rio Grande do Sul. Embora, economicamente sejam predominantes atividades urbanas vinculadas ao setor secundário e terciário, observa-se a permanência de um espaço rural amplo, em que a produção de arroz é bastante relevante na economia de vários municípios.

Inserida na bacia do rio Gravataí, que integra a Região Hidrográfica do Guaíba, a APA do Banhado Grande possui 136.935 ha, distribuídos entre os municípios de Santo Antônio da Patrulha, Gravataí, Viamão e Glorinha. A APA abrange parte dos Biomas Pampa e Mata Atlântica e ocupa 2/3 da bacia do rio Gravataí. Na parte central da APA se encontra uma extensa e importante área de banhado denso, composta principalmente pelos banhados dos Pachecos, do Chico Lomã e do Banhado Grande. Juntos estes banhados fazem parte do

chamado Sistema Banhado Grande (Meneghetti, 1998; Acordi & Hartz, 2006), integrando um complexo de áreas alagadas que dá origem ao Rio Gravataí,

Segundo Loretto (1998), a bacia de contribuição do Banhado Grande tem aproximadamente 1.600 km², que ocupam 2/3 da parte oriental da bacia hidrográfica do rio Gravataí. Ocupa territórios das unidades geomorfológicas do Planalto Meridional, da Depressão Central, do Escudo Cristalino e da Planície costeira, compondo um mosaico de paisagens de diferentes fisionomias como serras, coxilhas e campos.

No mapa de localização, Figuras 1 estão espacializados importantes elementos deste trabalho: o processo erosivo; a área da APA do Banhado Grande; o Banhado Grande; e a localização no mapa do Rio Grande do Sul.

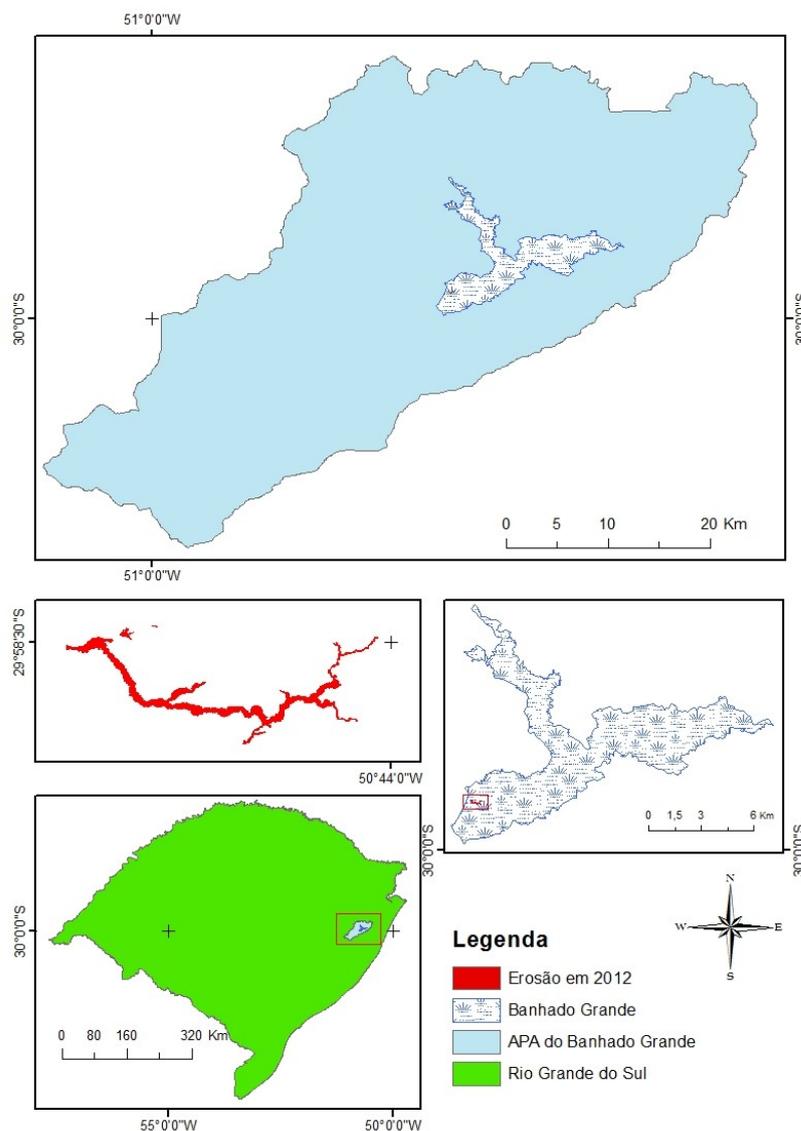
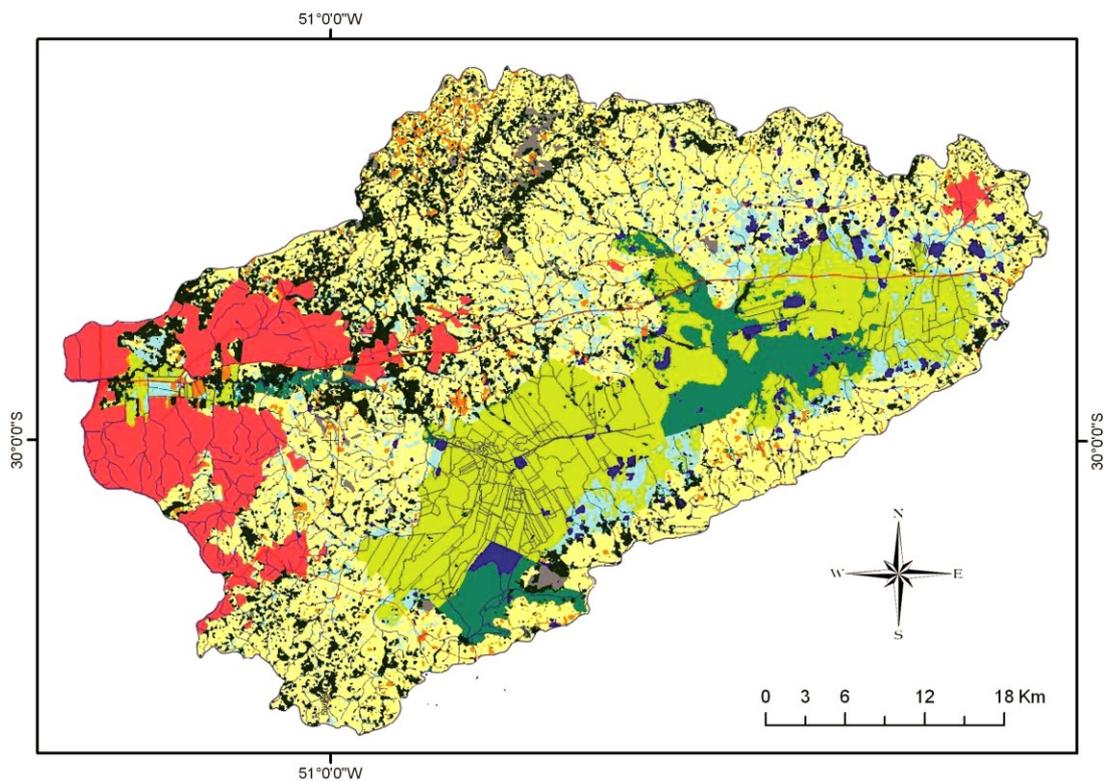


Figura 1. Mapa de Localização.

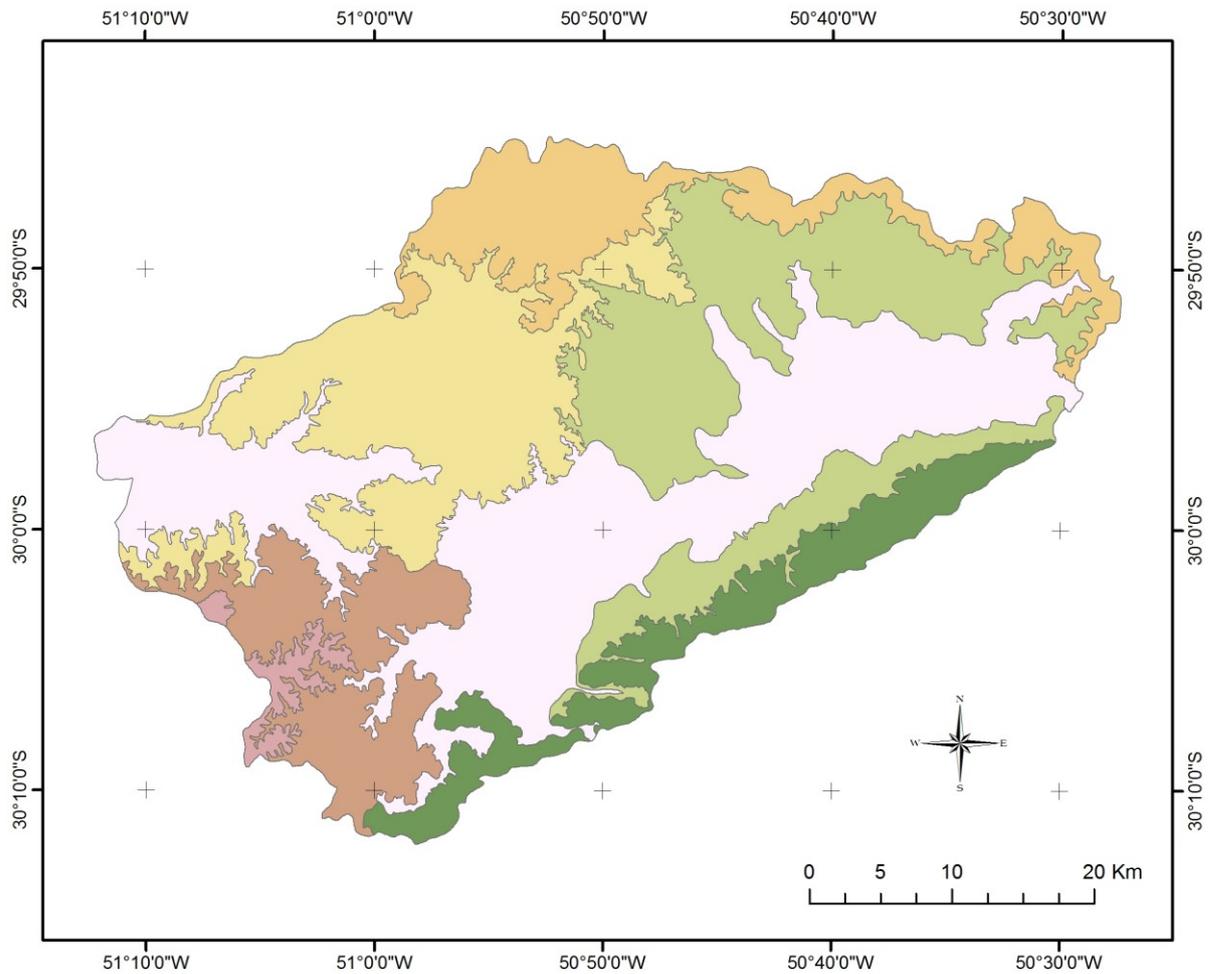
Segundo o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, o uso e cobertura do solo, Figura 2, foram identificadas as seguintes classes: campo (50,81%), lavoura (19,98%), mata (11,12%), área urbana (7,65%), banhado (3,96%), água (2,04%), campo úmido (1,06%), solo exposto (2,43%) e reflorestamento (0,89%). Na área do Baixo Gravataí predominam áreas urbanas, lavouras e campo úmido; no Médio Gravataí predominam as lavouras, matas, campo e banhado; no Alto Gravataí/Banhado Grande predominam os campos, lavouras e a própria área do Banhado Grande; e no Alto Gravataí/Formadores ocorre predomínio das lavouras e de campo (Rio Grande do Sul, 2012).



Legenda

| | | | |
|---|-------------|---|------------------|
|  | Água |  | Reflorestamento |
|  | Campo |  | Lavoura de arroz |
|  | Campo úmido |  | Solo descoberto |
|  | Banhado |  | Área urbana |
|  | Mata | | |

Figura 2. Mapa de uso e ocupação no solo: Fonte: Modificado (Rio Grande do Sul, 2012).



Legenda

Unidades Geomorfologicas

- Coxilha das Lombas
- Depressao fluvio coluvionar
- Depressao do rio Jacui
- Patamares da Serra Geral
- Planalto rebaixado marginal
- Planalto residual Cangucu
- Planícies e terracos lagunares

Figura 4. Mapa de Geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Gravataí. Fonte: Modificado de PROTEGER/94.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a elaboração do referencial teórico deste trabalho, três eixos de pesquisa foram revisados separadamente buscando facilitar a compreensão do todo analisado. O primeiro visa compreender a compreensão do conceito de **Banhado**. O segundo deles aborda os processos utilizados na produção do **Arroz Irrigado**. O terceiro explana sobre o conceito de **Erosão e Voçoroca**.

2.1 BANHADOS

Banhados, são áreas alagadas permanente ou temporariamente, conhecidos na maior parte do país como brejos, são também denominados de pântanos, pantanal, charcos, varjões e alagados, entre outros (Burger, 2000).

Confundem-se as definições entre banhados e áreas úmidas, que são complexos ecossistemas que englobam as áreas marinhas, costeiras e continentais totalizando 42 diferentes tipos de zonas úmidas. A definição do conceito de área úmida surgiu na Convenção de Ramsar, tratado intergovernamental celebrado no Irã, em 1971, que marcou o início das ações nacionais e internacionais para a conservação e o uso sustentável das zonas úmidas e dos seus recursos naturais. Incluindo o Brasil, 150 países são signatários do tratado (WWF, 2006).

Banhados estão denominados como ecossistemas de áreas úmidas, que são zonas onde a água é o principal controlador do meio e da vida vegetal e animal associada a ele. De tal modo, que estas áreas úmidas, são locais com ressurgência do lençol freático na superfície ou subsuperfície, ou onde a terra esta coberta por águas pouco profundas. Entende-se por áreas úmidas:

“las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”(Ramsar, 2013).

Segundo Carvalho *et al.* (2007), os banhados, se formam em regiões planas com origem de sedimentação ou acordoamentos paralelos à linha de costa, onde a água doce é represada e flui lentamente. A água que os banhados são nutridos deriva de corpos hídricos que circundam como lagoas, lagunas, rios, afloramentos de lençol freático e precipitações pluviométricas. Os banhados podem ser conectados com outros corpos hídricos, como planície de inundação, ou atrelados a lagoas e rios no período de cheias, ou permanecerem isolados.

No Brasil, os estudos realizados pouco discutem os aspectos conceituais relacionados à palavra banhado, que é utilizada principalmente no Rio Grande do Sul, onde estes ecossistemas ocupam, ou ocupavam grandes extensões da zona costeira e também de regiões mais internas. A palavra banhado provem do termo espanhol “bañado”, devido à influência dos países vizinhos (Burger, 2000).

Embora os banhados sejam sistemas pouco explorados de forma integral, é na região sul do Brasil que ocorre a maior parte de estudos sobre este importante ecossistema. Tal fato pode estar relacionado com a pouca atenção dada a estes sistemas mediante a sua grande importância ecológica (Carvalho *et al.* 2007).

2.2 ARROZ IRRIGADO

A produção de arroz do Rio Grande do Sul se caracteriza pelo predomínio de lavouras irrigadas e do uso intensivo de máquinas e insumos industrializados. Conforme a Sociedade Sul Brasileira de Arroz Irrigado (SOSBAI, 2010), o volume de água requerido pelo arroz irrigado por inundação do solo é o somatório da água necessária para saturar o solo, formar uma lâmina, compensar a evapotranspiração e repor as perdas por percolação e fluxo lateral. No cálculo da necessidade de água de uma lavoura, devem-se incluir ainda as perdas nos canais de irrigação. Assim, a quantidade depende, principalmente, das condições climáticas, do manejo da cultura, das características físicas do solo, das dimensões e revestimento dos canais, do ciclo da cultivar, da localização da fonte e da profundidade do lençol freático.

No caso do sistema produtivo do arroz irrigado, existe uma perda significativa da água por evaporação, já que lâmina de água fica exposta ao clima nos meses de verão, período em que a radiação solar e a temperatura alcançam seus maiores índices, e justamente quando o

ciclo da cultura deverá permanecer inundada. Desta forma a demanda hídrica é maior em anos com temperaturas elevadas e umidade relativa do ar baixa ou com baixa precipitação.

No sistema de semeadura com sementes pré-germinadas, o período de irrigação é proporcionalmente maior, iniciando-se já no preparo do solo. Para o preparo do solo, aplica-se uma lâmina de água de 4 a 5 centímetros sobre a superfície, mais a lâmina necessária para saturar o solo, porém pode-se aproveitar a água de precipitações pluviais para esta finalidade. A quantidade de água para saturar o solo depende da profundidade do lençol freático e/ou da camada impermeável, do teor de umidade e do espaço poroso do solo. Normalmente são necessários de 1.000 a 2.000 metros cúbicos por hectare para essa fase (SOBAI, 2010).

Os impactos provocados pelo cultivo do arroz irrigado sobre banhados e outros sistemas de áreas úmidas são tantos, que serão relacionados a seguir: 1. Redução de ecossistemas naturais (drenagem do solo e retirada da vegetação, principalmente por queimadas); 2. compactação, redução de porosidade e salinização do solo; 3. variação do nível do lençol freático; 4. eutrofização; 5. erosão e/ou assoreamento de recursos hídricos; 6. riscos de contaminação por derrame de combustível e outros produtos; 7. contaminação por agrotóxicos (no ambiente e nos seres humanos); 8. riscos decorrentes da monocultura; 9. escassez da oferta de água; 10. contaminação ambiental (localizada e em grandes áreas); 11. dispêndio excessivo de energia; 12. dispêndio excessivo de água; 13. redução do potencial de uso agrícola da área; 14. redução do potencial de outros usos da área (p.ex., turismo, lazer, pesca, entre outros) (Chomenko, 1997 *apud* Burguer 2000).

2.3 EROSÃO

Segundo definição do manual Técnico de Geomorfologia elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), uma das mais extraordinárias formas de alterações ambientais que envolvem troca de matéria e energia é a erosão. O fenômeno da erosão estabelece um conjunto de agentes dinâmicos através do qual atuam de maneira combinada todos os processos de degradação da superfície terrestre. Incluem o intemperismo, o transporte, a ação mecânica e a química da água corrente e de outros agentes erosivos, responsáveis pela destruição das saliências ou reentrâncias do relevo, sendo por isso mesmo um importante agente modelador da superfície terrestre.

Conforme Strahler *et al.* (2005), a erosão por ação fluvial começa em terras das bacias hidrográficas, onde a água que percorre sobre a superfície do solo, arranca partículas de matéria mineral cujo tamanho vai desde a fina argila até uma areia grossa ou muito grossa, dependendo da força da corrente e do grau de agregação das partículas. Também a erosão poderá ser enormemente acelerada por atividades de origem humana, e outros raros casos de origem natural, originando um estado de erosão acelerada.

Na erosão acelerada, o solo é arrastado em um ritmo maior que a própria formação do mesmo, geralmente esta ação está relacionada a condições como: cobertura vegetal e estrutura física do e as atividades de origem antrópica realizadas na superfície do terreno.

Mundialmente a erosão é o fenômeno que mais afeta os solos com seu poder de destruição. Segundo Guerra *et al.* (1999), o processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, onde o processo se intensifica quando as chuvas se concentram em certas estações do ano. Este processo tende a acelerar quando as terras são desmatadas para exploração madeireira ou produção agrícola, uma vez que a terra fica desprotegida da cobertura vegetal, assim conseqüentemente, as chuvas incidem diretamente sobre a superfície do solo.

Para a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2011), o controle da erosão exige a caracterização dos fatores e mecanismos relacionados às causas do desenvolvimento dos processos erosivos. Como locais onde há maior concentração de erosões e zonas de convergência dos fluxos superficial e subterrânea, havendo assim uma interação sinérgica favorável aos processos causadores de incisões sobre vertentes. Em função dessa característica, áreas de drenagem devem ser consideradas como áreas de risco de erosão e, portanto, de formação de voçorocas.

2.3.1 Voçoroca

A voçoroca é um processo de escavação profunda, que ocorre na maioria das vezes em terrenos arenosos, originada de um processo erosivo, devido à ação da erosão superficial e ou mais frequentemente a erosão subsuperficial ou subterrânea. Este processo pode alcançar profundidades de várias dezenas de metros e extensão de centenas de metros (IBGE, 2004).

A referência à erosão por voçorocas se relaciona ao termo erosão acelerada dos solos, que deriva da concepção de que ravinas e voçorocas resultam da intervenção causada pelas atividades humanas, conforme Neboit (1983, *apud* Guerra *et al.*, 1999).

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões resultantes de uma organização do sistema natural em atingir seu estado de equilíbrio, entre a energia disponível e a eficácia de dissipar esta energia. No caso dos solos, tanto a variação na quantidade de energia disponível, dada pela intensidade e frequência das chuvas e umidade do solo, quanto a mudança do sistema em si, como o uso do solo, a cobertura vegetal e o grau de estruturação, entre outros, levam a uma situação de desequilíbrio entre energia disponível e a capacidade de dissipação de energia, Guerra *et al.* (1999).

Oliveira e Meis (1985, *apud* Guerra *et al.*, 1999), baseados na ocorrência de alguns casos de incisões erosivas no vale do rio Paraíba do Sul, definiram uma tipologia para as voçorocas. Três tipos foram classificados, onde os principais modelos apresentados são: Voçoroca conectada à rede hidrográfica, voçoroca desconectada da rede hidrográfica e a voçoroca originada pela integração entre os dois tipos.

As voçorocas podem ser originadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas, ou por erosão causada pelo escoamento subsuperficial, o qual dá origem a dutos, *piping* ou pipes. Neste estudo, utilizaremos a expressão dutos para referenciar a este processo. Voçorocas têm paredes laterais íngremes, e em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos, como se vê na Figura 5. Ao aprofundarem seus canais, as voçorocas atingem o lençol freático. Constituem um processo de erosão acelerada e de instabilidade nas paisagens (Suertegaray *et al.*, 2008).

2.3.2 Duto

A erosão em túneis ocorre sob o efeito de água de escoamento superficial e subsuperficial que penetra em furos biogênicos, ou fendas de diversas origens. Se a água atinge o túnel por via subsuperficial, predominam as forças e fatores que atuam na erosão por vazamento, se a água se origina por fluxos superficiais predomina a atuação de fluxos turbulentos, assim, a erosão por dutos, constitui um excelente exemplo de interação entre diferentes mecanismos fundamentais que podem gerar feições erosivas, Guerra *et al.* (1999).

Este tipo de processo erosivo denominado por dutos, Figura 6, são canais em forma de túneis esculpidos em subsuperfície, com grande oscilação de tamanhos e extensão, com diâmetros que variam de poucos centímetros a vários metros. O fluxo d' água que percola por esses dutos, transporta grandes quantidades de material em subsuperfície. À medida que esse material vai sendo removido, o canal aumenta, podendo resultar no colapso do solo situado acima. Assim, levando a uma significativa evolução de uma voçoroca (Suertegaray *et al.*, 2008).



Figura 5. Imagem ilustrativa de uma erosão por voçoroca. Fonte: Suertegaray, 2008.



Figura 6. Imagem ilustrativa de uma erosão por duto. Fonte: Suertegaray, 2008.

3 MATERIAS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos nesse trabalho, inicialmente se realizou uma revisão bibliográfica sobre as temáticas envolvidas. Foram realizados trabalhos de campo na área de estudo, o que compreendeu percursos terrestres e trechos fluviais, que complementaram as informações obtidas em gabinete. O registro fotográfico constituiu ferramenta igualmente importante na obtenção de informações de campo, especialmente para a descrição da paisagem e de apoio na interpretação de imagem de satélite.

O trabalho foi realizado no Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM) do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM). A colaboração da Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMMA) e da Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), tornou possível o acesso à área de estudo, que se localiza em área de propriedade privada na APA do Banhado Grande. Todas as instituições envolvidas têm interesses em comum, como o de estimular pesquisas e estudos que auxiliem no planejamento, conservação e preservação da APA do Banhado Grande.

3.1 MAPEAMENTO DO ARROZ NA ÁREA DA APA DO BANHADO GRANDE

Para o mapeamento das áreas de arroz foram utilizadas imagens de três datas do satélite Landsat TM5 (Thematic Mapper), ano 1985, 1994 e 2009, órbita/ponto 221/81, disponíveis através do catálogo de imagens no sítio www.inpe.br. Essas imagens foram registradas a partir de uma imagem de 16 de abril de 2010. Para o georreferenciamento dessa imagem foram utilizados como referência pontos da grade de coordenadas das imagens do Google Earth e posterior conversão dos pontos selecionados em arquivo do tipo shape através do programa KML 2 SHP Converter - disponível em: <http://www.zonums.com/online/kml2shp.php>, no ArcGis. As demais imagens foram registradas a partir dessa imagem georreferenciada através do programa ENVI.

Considerando a época de maturação do arroz, foram utilizadas imagens dos meses de janeiro e fevereiro que contemplam esta fase da cultura. O mapeamento foi elaborado por interpretação visual das imagens, analisando além do comportamento espectral, padrões como a forma, a textura e a cor. Foram empregadas também composições coloridas com diferentes realces e combinações de bandas, a fim de melhor visualizar as áreas de arroz e diferenciá-las

das outras culturas e das áreas de banhado, se optou por trabalhar com a composição colorida R4G5B3. A partir da série temporal de imagens Landsat TM dos meses de janeiro e fevereiro foram delimitadas as áreas de arroz e feita a sua quantificação.

Dados do estudo realizado pelo IPH (2002), relacionados à demanda hídrica destinada para a irrigação das lavouras de arroz, foram utilizados para entendimento dos impactos ambientais decorrentes da prática desta cultura. Também foram consultados artigos sobre a produtividade de arroz no Estado do Rio Grande do Sul, disponíveis em forma digital na plataforma de dados do IRGA, em: <http://www.irga.rs.gov.br/>.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS FÍSICOS SOBRE A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ.

Foram organizadas séries históricas de precipitação dos municípios de Glorinha, Santo Antonio da Patrulha, Taquara e Viamão. Os dados de precipitação foram extraídos a partir de estações meteorológicas e pluviômetros existentes no perímetro de maior influência da área de estudo.

O mapeamento que demonstra a área do banhado Grande com aspecto de estiagem foi gerado da seguinte forma: A partir de uma imagem WorldView-2, banda pancromática de 50cm, multiespectrais de 2m, órbita de altitude 770 km, tipo heliossíncrona, 13:30 am, passagem descendente, período: 100 minutos, processada no software ENVI 4,5 para a fusão de imagens, que consiste em unir os dados do sensor com melhor resolução espacial com outro sensor que possui a melhor resolução espectral. Esta imagem com data de 06/03/2012, que evidencia um período de estiagem correspondente ao verão, onde através do programa ArcMap do Arcgis 9.2 se alcançou a vetorização do processo erosivo.

Para o mapeamento do banhado em período de cheia e fluxo de água superficial, se elaborou um mosaico de imagens com data de 20/09/2012, corresponde ao mês de maior precipitação no local. Como a área do processo erosivo se encontra coberta por uma lâmina de água, foi sobreposto o shape do processo erosivo vetorizado do período de estiagem. Assim se gerou um quadro comparativo entre períodos de estiagem e cheia da região.

Para o mapa de hipsometria da bacia hidrográfica do rio Gravataí foi utilizado os dados do SRTM (2000). Os dados referentes ao fluxo de águas subterrâneas e seu

mapeamento, foram extraídos do estudo realizado pelo Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí.

Os mapas de pedologia e geomorfologia foram gerados a partir de bases disponíveis na página do LABGEO da Ecologia da UFRGS. Estes dados da bacia do rio Gravataí foram produzidos a partir de 1991, através de um convênio firmado entre a Fundação Metropolitana de Planejamento (METROPLAN) e a então Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, atualmente Serviço Geológico do Brasil) para desenvolver o Programa Técnico para o Gerenciamento da Região Metropolitana de Porto Alegre - PROTEGER. Estes dados foram processados através do programa Arcgis 9.2

Em saída de campo, foram coletadas amostras de solo, no mês de Janeiro de 2014, nas coordenadas 29°58'29.65"S e 50°44'19.71", no interior da voçoroca. Essas amostras foram analisadas no Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (CECO), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através do programa PANICOM/SAG, com orientação do Sr. Gilberto Silveira dos Santos, técnico em geologia na área sedimentar. Esta análise granulométrica possibilitou verificar as porcentagens de Areia, Silte e Argila de cada horizonte do perfil.

Após remover o solo alterado do perfil em forma de uma caneleta, foram identificados quatro horizontes bem definidos, Figura 7. Assim com uma pá de jardim, foi coletada uma quantidade de aproximadamente 500 gramas de solo, que foram armazenados em sacos plásticos, e após devidamente identificados, foram encaminhadas para análise em laboratório. As amostras foram denominadas de perfil 1, 2, 3 e 4 em uma seqüência de topo para base.

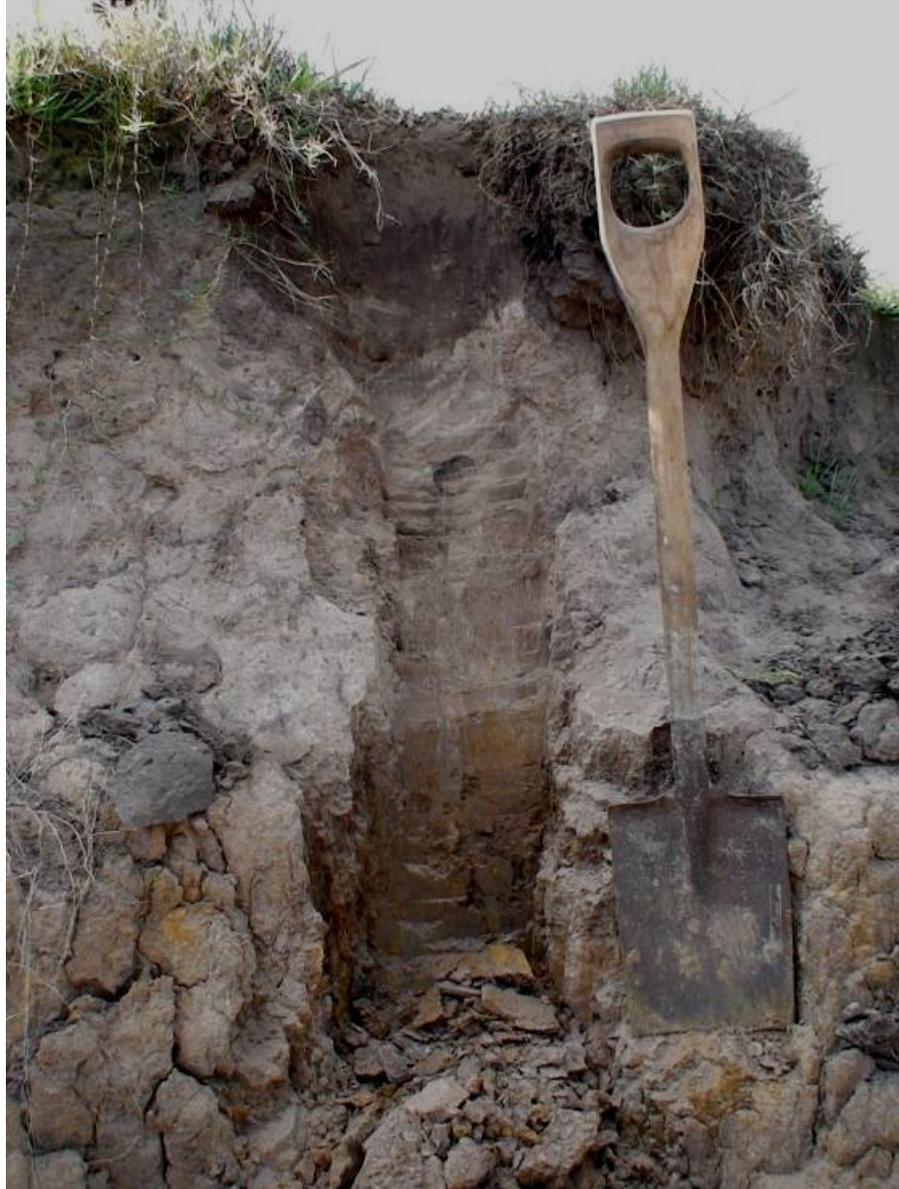


Figura 7. Perfil da voçoroca, no Banhado Grande. Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 27 de Janeiro de 2014.

Em saída de campo realizada no dia 17/05/2014, foram identificados dutos de erosão subsuperficial com saída para o canal de drenagem construído pelos arroteiros locais, canal este, que forma um ‘V’ invertido, que avança desde o canal construído pelo DNOS até a área do banhado. Os mesmos dutos já teriam sido identificados em saídas de campo anteriores, porém, não havíamos realizado um registro fotográfico detalhado deste fenômeno.

3.3 MAPEAMENTO DA EVOLUÇÃO DO PROCESSO EROSIVO NO BANHADO GRANDE

A partir do banco de imagens de satélite disponíveis no software Google Earth, foi possível obter imagens históricas para o mapeamento da evolução do processo erosivo na área do Banhado Grande. Foi utilizada uma série temporal de datas disponíveis, a partir da qual foram elaborados mosaicos com das seguintes datas: (i) 14/11/2003; (ii) 18/03/2010; e (iii) 05/03/2012.

Foram obtidos recortes de imagens definindo uma área de sobreposição de 25% para elaboração dos mosaicos. Para a formação do mosaico o processo deve ser executado sobre imagens com mesma rotação, mesma escala de valores (tamanho de *pixel*), mesmo tipo (composição colorida ou monocromática) e com mesma orientação de linha de varredura, IBGE (2009). O ponto de altitude para a melhor visualização da área foi fixado em 200 metros, para obter o melhor detalhamento das feições para o mapeamento. Foram utilizados aproximadamente 105 recortes da imagem QUICKBIRD 2, fornecida pela empresa DigitalGlobe, visualizada no banco de dados do Google Earth, onde foram processadas no Suíte de Aplicativos Gráficos Corel Draw 15, resultando em um mosaico, que exportada como uma imagem em formato TIFF para posterior georreferenciamento no software ArcGis 9.2, com a base de coordenadas geográficas obtidas no Google Earth.

Através do Arc Maps, foram realizadas as vetorizações dos processos erosivos, a partir dos mosaicos já georreferenciados das imagens. Na imagem da data 14/11/2003, o processo erosivo está representado pela presença de água, em uma drenagem inserida na paisagem do banhado, assim, a referência para a vetorização deste mosaico é a presença de água com tonalidade escura na imagem. Os mosaicos das datas 18/03/2010 e 05/03/2012 a vetorização do processo erosivo se dá pela delimitação entre a vegetação do banhado, solo exposto e presença de água dentro do processo erosivo demonstrado nas imagens.

A partir da série temporal dos mosaicos dos anos de 2003, 2010 e 2012 foram delimitadas as áreas de erosão e realizada a quantificação de cada processo. Com a sobreposição dos shapes de erosão, foi possível analisar o avanço gradual significativo do processo erosivo na área do banhado Grande.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Buscando entender a dinâmica dos elementos que podem contribuir para a ocorrência do processo erosivo no Banhado Grande, os resultados estão estruturados em três partes: O mapeamento das áreas de cultivo de arroz; a relação das variáveis físicas e o mapeamento do processo erosivo.

4.1 VARIÁVEIS FÍSICAS

Buscando estabelecer relações entre dados de precipitação, de relevo, do fluxo de águas subterrâneas, de geologia e do tipo de solo, e os processos erosivos no Banhado Grande detalhamos cada um desses elementos.

4.1.1. Precipitação

A distribuição das precipitações médias anuais da bacia hidrográfica do rio Gravataí demonstra, ao contrário do que pensávamos inicialmente, que as chuvas não se concentram na área do Banhado Grande e sim nas suas cabeceiras. A Figura 8 mostra que as chuvas se concentram na região dos patamares da serra, na área centro norte da bacia, principalmente nas nascentes do arroio Demétrio, um importante afluente do rio Gravataí. Outro ponto onde se concentram os maiores índices de precipitações é a área de preservação ambiental Parque Saint Hilaire, na divisa dos municípios de Porto Alegre e Viamão onde se encontra a barragem Lomba do Sabão.

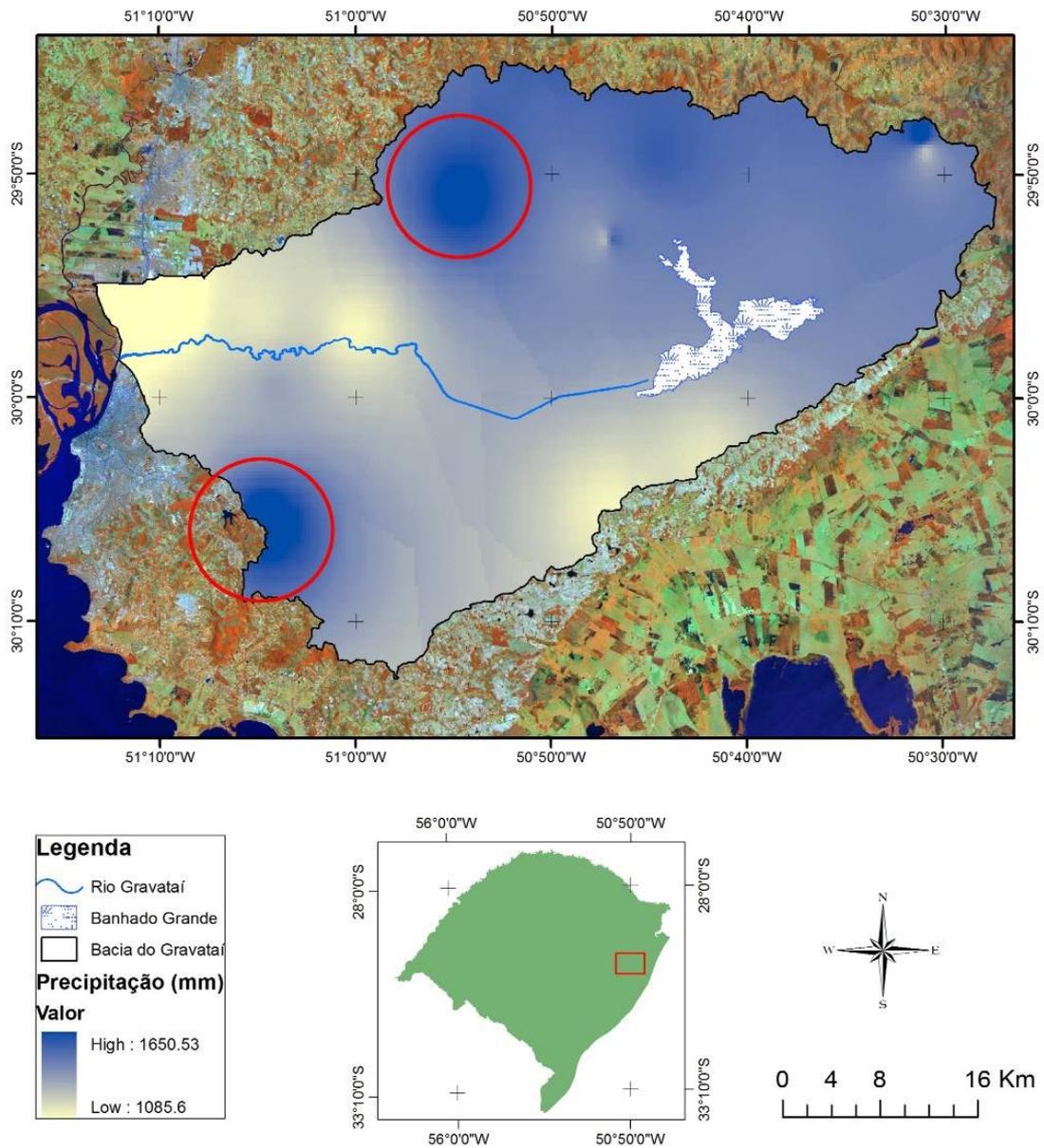


Figura 8. Mapa de precipitação, médias anuais da bacia hidrográfica do rio Gravataí. Modificado CEPSRM, 2012.

Segundo Rossato (2011), na área da bacia do Gravataí ocorre o tipo de clima denominado clima subtropical II, caracterizado por grande influência dos sistemas polares, porém com interferência crescente dos sistemas tropicais marítimo principalmente na porção leste. Esta região sofre influência do relevo, continentalidade e maritimidade. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. O volume médio da precipitação anual, gira em torno de 1500-1700 mm, e o volume médio de precipitação mensal varia de

115-155 mm na maior parte dos meses. No verão a umidade relativa do ar pode ser inferior a 65%, e no inverno pode ultrapassar a 85%. A temperatura média anual varia entre 17-20°C

Conforme dados apresentados na Figura 9, o gráfico demonstra a média das precipitações mensais, considerando dados dos municípios de Taquara, Santo Antônio da Patrulha, Glorinha e Viamão, para os anos de 2006 à 2010, apresentando considerável variabilidade no volume de chuva durante os meses do ano.

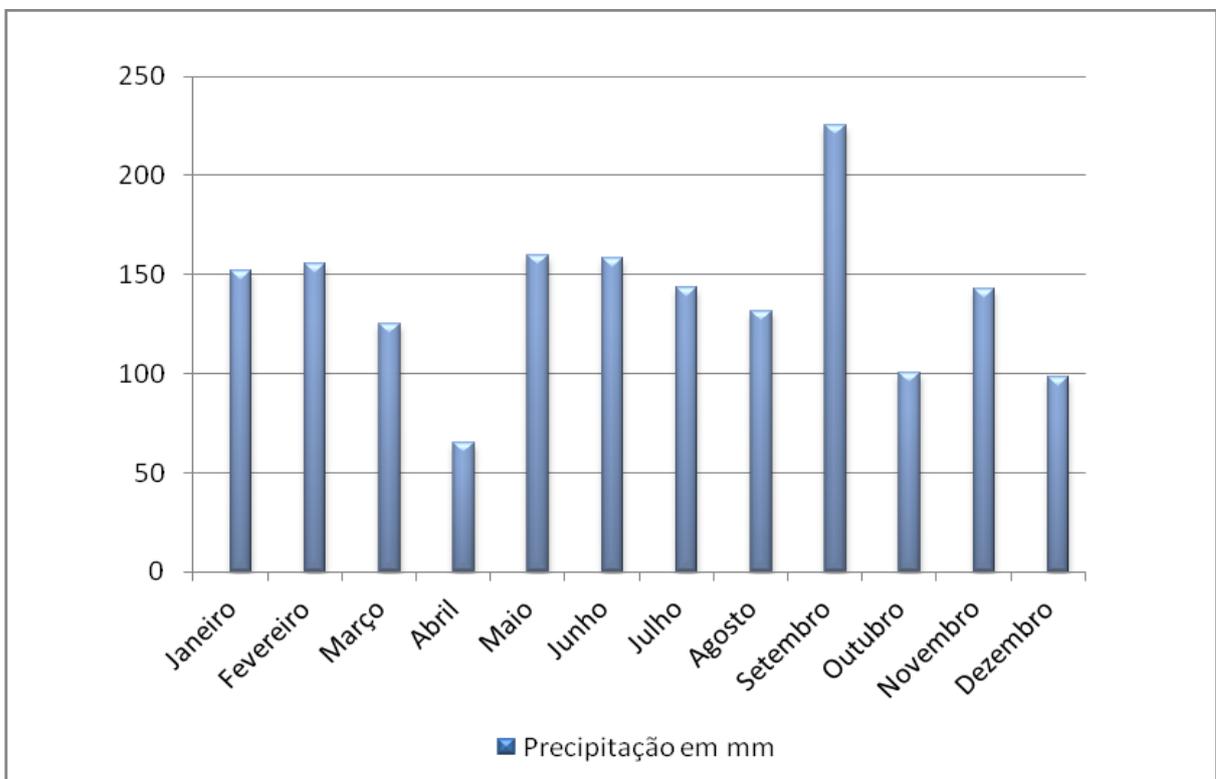


Figura 9. Gráfico com as médias das precipitações mensais, considerando os municípios de Taquara, Santo Antônio da Patrulha, Glorinha e Viamão, entre 2006 e 2010. Organizado: Cecília Balsamo Etchelar.

O mês de setembro apresenta o maior índice de precipitação em relação aos demais meses. Normalmente nesse período as áreas úmidas da bacia do rio Gravataí ficam inundadas. Já os meses de Abril e Dezembro apresentam os menores índices de precipitação. Os demais meses mantêm índices aproximados com a classificação denominada clima subtropical II.

A imagem da Figura 10, de 20/09/2013 mostra parte da área do Banhado Grande com uma lâmina de água sobre a vegetação. Também pode ser observado que o escoamento

superficial das águas da inundação mantém um fluxo preferencial em direção ao canal do rio Gravataí. Este fluxo pode ser observado neste ponto, pois a vegetação encontra-se inundada, típico de áreas de banhado. O direcionamento do escoamento deste volume hídrico se dá para o canal de macro drenagem, onde em torno se evidencia o uso e ocupação deste espaço com a produtividade orizícola.

No mês de setembro de 2013 a média de precipitação das estações pluviométricas de Porto Alegre foi de 124,16mm, uma precipitação inferior a média do mês de setembro pra este mês. Mas segundo dados históricos obtidos no Metroclima, em agosto de 2013 foi o mês mais chuvoso das últimas décadas em diversas cidades do Rio Grande do Sul. A média das estações pluviométricas do município de Porto Alegre foi de 252,50 mm, esta alta precipitação levou a ruptura de um dique do sistema de proteção de Porto Alegre contra enchentes junto à planície de inundação do Rio Gravataí, provocando graves alagamentos na região norte do município.

Assim, apesar da média do mês de setembro de 2013 não haver superado a média de precipitação para este mês, os dias 26, 27 e 28 de agosto de 2013 concentram a maior parte do volume total da precipitação para este mês.

A Figura 11, de março de 2010, mostra uma imagem da área em período mais seco. O mês de março antecede o mês com o menor índice de precipitação na área da bacia. Nesta imagem satelital, se observa que a área sofreu grandes alterações por intervenções antrópicas. O canal de macrodrenagem, construído pelos rizicultores locais, é um limite da área de produção de arroz, com a área do banhado.

É importante salientar, que a colheita do arroz nesta área que circunda o banhado Grande, se dá no meses de março e abril, assim, o solo exposto após sua retirada, fica mais suscetível a elevação da temperatura e evaporação de água, deste modo, alterando estrutura do solo e aumentando a demanda hídrica que está afetada pela baixa precipitação desta época.

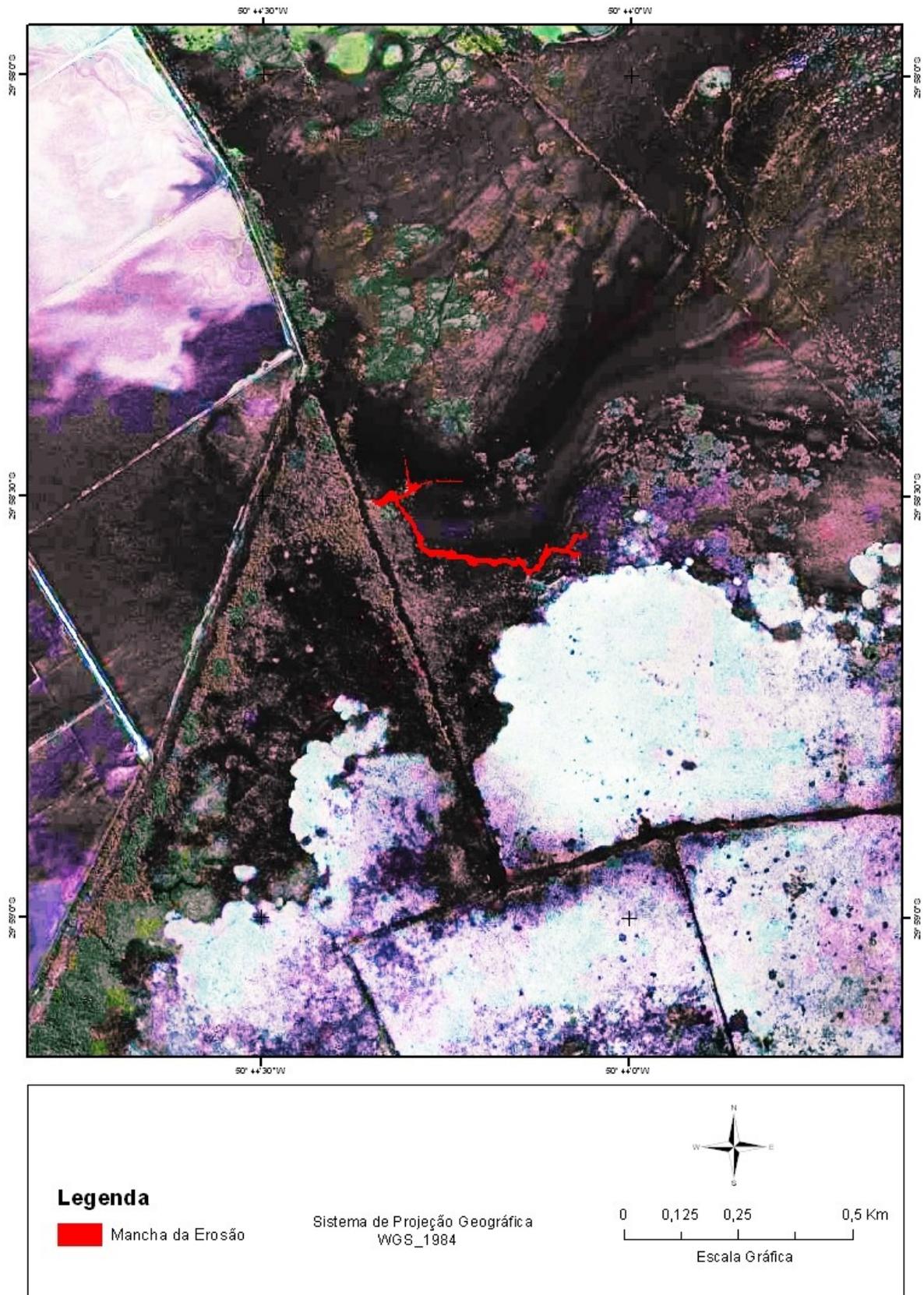


Figura 10. Imagem de 20 de setembro de 2013, evidenciando a área inundada, e sobreposição da área de erosão do Banhado Grande.

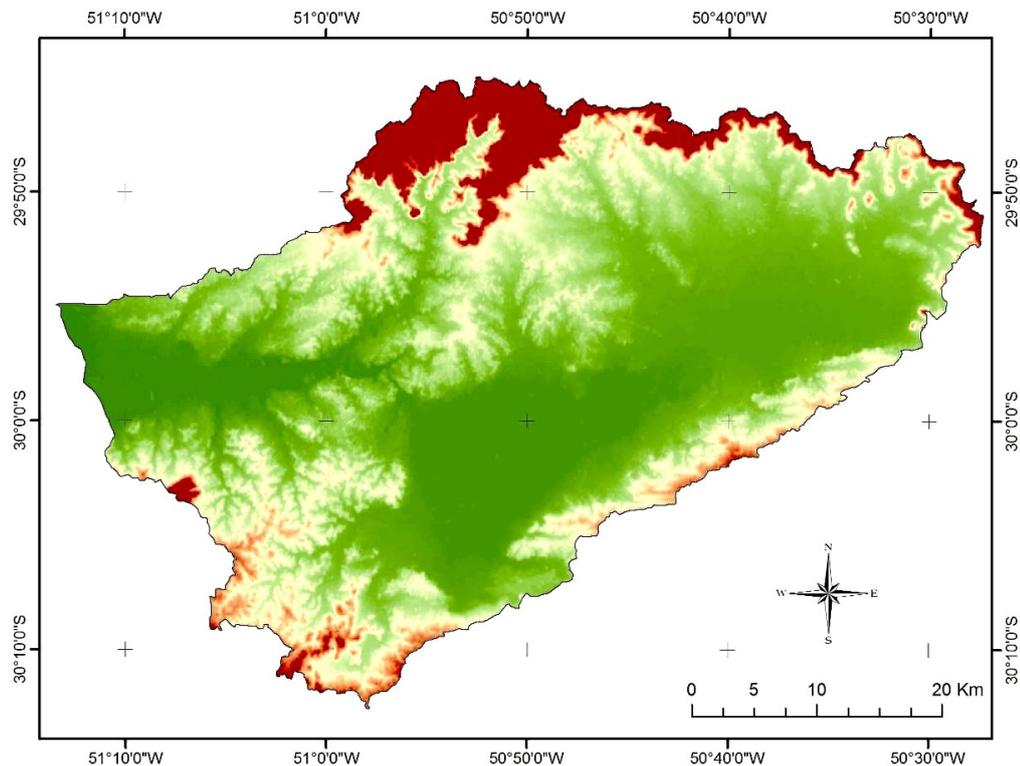


Figura 11. Imagem de 06 de março de 2012, em período de estiagem, e sobreposição da área de erosão do Banhado Grande.

4.1.2 Relevo

A bacia hidrográfica do rio Gravataí apresenta áreas mais elevadas ao norte, sul e oeste, envolvendo uma planície central, no sentido sudoeste-nordeste, e alcançam altitudes de 300 m, com encostas íngremes e topos planos. Ao sul e sudeste (Coxilha das Lombas), as altitudes são menores, com cerca de 150 e 100 m, respectivamente. (IPH, 2002)

Observa-se na Figura 12 que entre estas duas elevações, na área central da bacia permanece uma ampla área plana, normalmente alagadiça, que corresponde as áreas úmidas e aos banhados: Grande, dos Pachecos e Chico Lomã. Cerca de 30% da área da bacia é plana ou com baixa declividade.



Legenda

 Bacia Hidrográfica do rio Gravataí

Elevação em metros

Value



Figura 12. Mapa hipsométrico da bacia do rio Gravataí. Fonte: CEPSSMR, 2012.

O perfil longitudinal do rio Gravataí, elaborado pelo IPH (2002), apresentado na Figura 13, mostra as cotas do fundo do rio ao longo do seu curso. As distâncias são medidas a partir da foz, acompanhando as curvas do rio. Pode-se observar no perfil longitudinal que existe um trecho que apresenta alta declividade, que vai da saída do Banhado Grande até, aproximadamente, o local denominado Passo dos Negros.

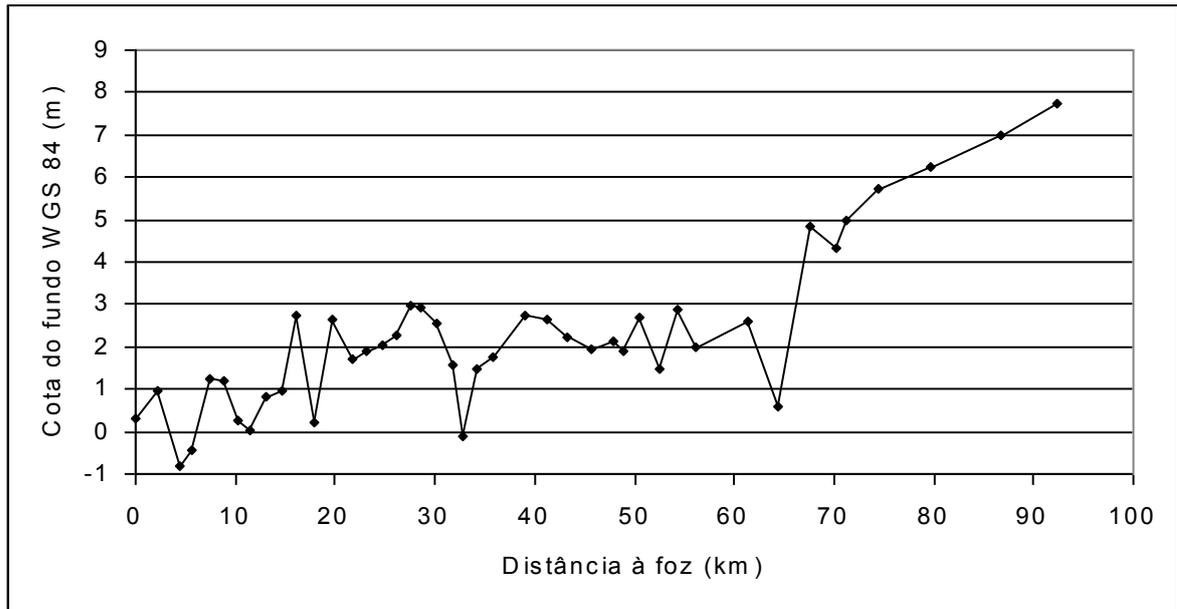
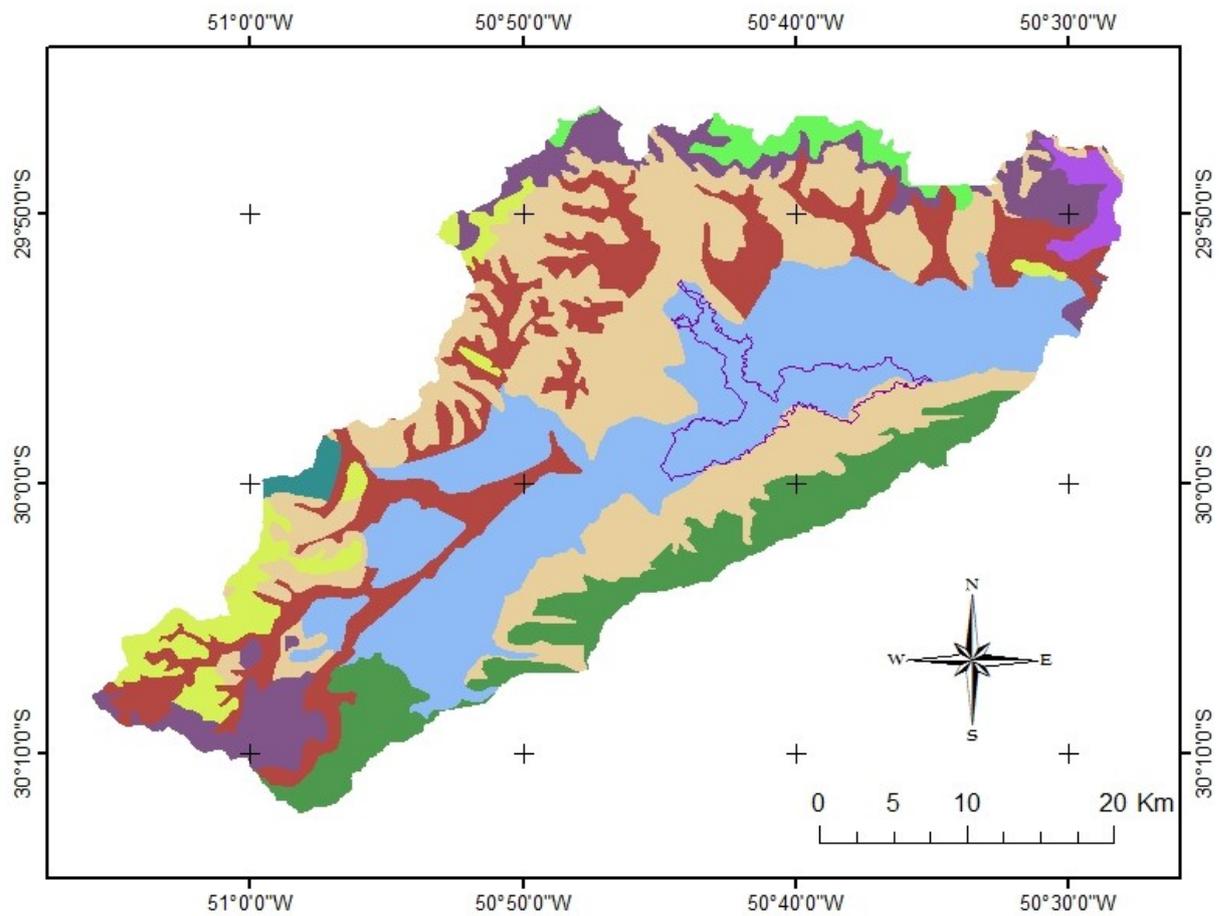


Figura 13. Perfil longitudinal do rio Gravataí. Fonte: IPH, 2002.

Este levantamento da cota do fundo do rio Gravataí mostra que, apesar do Banhado Grande estar inserido em uma área plana de relevo do tipo planícies fluvio-marinhas e fluvio-lagunares, existe uma declividade acentuada no fundo da calha do rio próximo ao processo erosivo.

Como já destacado no mapa de relevo e no mapa hipsométrico a área central da bacia do rio Gravataí, associamos sua pedologia, onde os solos pertencentes às áreas de várzea do rio são identificados como solos do tipo hidromórficos, ou seja, solos de mal a muito mal drenados.



Legenda

Banhado Grande

Relevo

- Campos de Dunas
- Domínio de Colinas Amplas e Suaves
- Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos
- Domínio de Morros e de Serras Baixas
- Escarpas Serranas
- Planaltos e Baixos Platôs
- Planícies Fluviais ou Fluvioacustres
- Planícies Fluvio marinhas e Fluvio lagunares
- Vertentes Recobertas por Depósitos de Encosta

Figura 14. Mapa do relevo da área da APA do Banhado Grande. Fonte: Modificado de CPRM, 2008.

A imagem Landsat de 30 de agosto de 2013, Figura 15, mostra a planície de inundação da bacia hidrográfica do rio Gravataí em período de cheia, evidenciado pelas áreas escuras na imagem. Esse setor da bacia compreende uma área muito plana, de baixa declividade, como já descrito na Figura 14. Estas características físicas, que condicionam as áreas úmidas, levam a alguns autores acreditar que toda esta área, compreende a um sistema único de banhados. Porém os banhados têm estrutura geológica, geomorfológica e pedológica diferente das áreas úmidas, que na bacia do rio Gravataí, apenas interliga os banhados.



Figura 15. Composição colorida de imagem Landsat 8, de 30 de agosto de 2013. Evidencia a inundação interligando as áreas de banhado da APA e ao longo do rio Gravataí Disponível em www.glovis.usgs.gov.

4.1.3 Pedologia

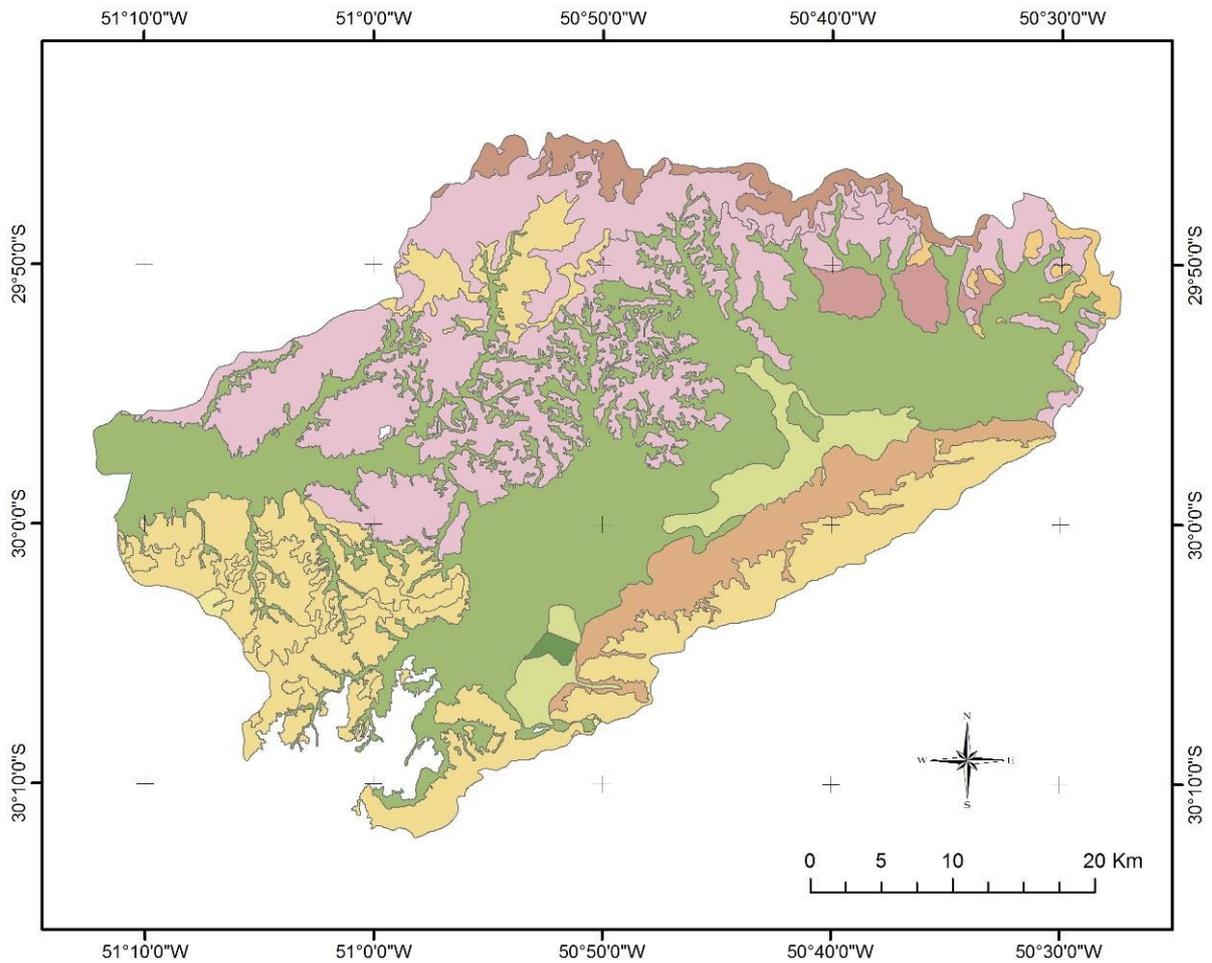
As propriedades do solo representam o conjunto de características que, e com a interação de outros fatores, afetam sua erosão, e determinam a sua maior ou menor suscetibilidade erosiva. A natureza do solo é um dos fatores que exerce maior influência sobre o material erodido e esta depende essencialmente das propriedades físicas e químicas, especialmente textura, estrutura e permeabilidade, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH. Assim a erodibilidade pode ser definida como a resistência do solo tanto à remoção como ao transporte. (IBGE, 2009).

Conforme o mapa de pedologia, Figura 16, as classes de solo que abrangem a área de estudo, compreende os solos Gleissolo e Planossolo. Estas classes de solo têm as seguintes características:

Gleissolo: Textura argilosa a muito argilosa, com relevo plano e substrato fluvio lagunares. Este solo ocupa significativa área da bacia do rio Gravataí, em especial nas zonas dos banhados Grande e dos Pachecos. Estão associados a áreas mal drenadas, com lençol freático aflorante na maior parte do ano. São solos que passam pelo processo de gleização, pelo excesso de matéria orgânica (PROTEGER, 1994).

Planossolo: Textura média a argilosa, com relevo plano e substrato de depósitos flúvio lagunares. Estes solos estão relacionados às zonas que apresentam má drenagem, favorecendo os processos de hidromorfismo destes materiais. Apresentam predominantemente cores acinzentadas típicas de redução de ferro. Os planossolos apresentam sequências de horizontes A, Bt E C, muitas vezes possuindo horizonte E, de máxima iluviação de argila para os horizontes inferiores. O solo Planossolo circunda os solos dos banhados, compreendendo as áreas úmidas que aportam as lavouras de arroz (PROTEGER, 1994).

As variáveis físicas como geologia, geomorfologia e relevo, estão associadas ao padrão observado no mapa de pedologia, e ratificam a formação dos respectivos tipos de solo da área da bacia do Gravataí. Há clara delimitação de áreas de banhado com o tipo de solo Gleissolo e atribuindo os solos Planossolos nas áreas de terras úmidas que circundam as áreas limítrofes de banhado. Esta relação é fundamental para estabelecer padrões corretos entre áreas de banhado e áreas úmidas.



Legenda

Pedologia

CLASSE

| | |
|--|---|
| | Água |
| | Glei humico |
| | Planossolo/Glei pouco humico |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo/Planossolo |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho-Escuro |
| | Podzólico Vermelho-Amarelo/Podzólico Vermelho-Escuro e Planossolo/Glei pouco humico |
| | Podzólico Vermelho-Escuro |
| | Solos litólicos/Cambissolos/Afloramentos de rochas |
| | Terra Roxa Estruturada/Brunizem Avermelhado |

Figura 16. Mapa pedológico da bacia do rio Gravataí. Fonte: Modificado de PROTEGER, 1994.

Para o melhor entendimento dos solos que abrangem a área de estudo, em Janeiro de 2014, foram coletadas 04 amostras de solo na área em que ocorre maior alargamento da voçoroca. Foi coletada uma amostra de cada horizonte correspondente a um perfil da vertente.

Conforme análise de solos realizada no laboratório do CECO do Instituto de Geociências, as três primeiras amostras do perfil, ordenando de topo para base, demonstraram predomínio de solo arenoso, conforme Tabela 1, a quarta amostra demonstra uma grande porcentagem de argila, neste horizonte se alcança o nível de base da voçoroca.

Pode-se dizer que por apresentar uma fração granulométrica mais arenosa, representaria um tipo de solo mais suscetível à ação dos processos erosivos, pois quanto maior o tamanho da partícula, maior a desagregação do solo. Assim, justifica-se o processo erosivo atingir o nível de base, quando atinge o horizonte referente à amostra 4 da Tabela 1, denominado Argilosiltearenoso.

Tabela 1: Análise granulométrica do solo

| | Amostra 01 Arenossilteargiloso | Amostra 02 Arenoargilosiltoso | Amostra 03 Arenossilteargiloso | Amostra 04 Argilosilearenoso |
|----------|--|---|--|--|
| Cascalho | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Areia | 63,9605% | 74,8062% | 52,2424% | 16,7553% |
| Silte | 29,8769% | 10,3912% | 18,1198% | 22,6188% |
| Argila | 6,1626% | 14,8026% | 29,6378% | 60,6259% |

Conforme Rossato (2011), no inverno as temperaturas mínimas absolutas chegam a marcar -4°C e -1°C , e as máximas absolutas no período do verão chegam a 38°C e 41°C na área de estudo. A exposição do solo sem cobertura vegetal na porção da vertente da voçoroca, que fica exposta a esta amplitude térmica anual, provoca uma redução da atividade biológica do solo. Assim, alterando sua porosidade e diminuindo o processo de formação do mesmo.

Segundo Rubbo *et al.* (2002), no Banhado Grande, o padrão de escoamento subterrâneo é convergente para esta região mostrando a influência, pelo menos, da porção livre dos aquíferos no suprimento de água para estes mananciais. Desta forma, a modelagem do fluxo expõe um quadro onde às descargas subterrâneas ocorre junto à calha do rio Gravataí, aos tributários principais e na região do Banhado Grande. As zonas de recargas são representadas pelas áreas próximas ao divisor de águas da bacia hidrográfica e junto às encostas superiores dos vales formados pelos principais tributários do rio Gravataí.

4.1.5 Geologia e Geomorfologia

O domínio morfoestrutural dos depósitos sedimentares corresponde aos terrenos da planície costeira interna, abrangendo sedimentos quaternários de origem continental e marinha, englobando depósitos aluvionares, material detrítico-coluvial e depósitos eólicos subatuais. Nesta unidade encontram-se planícies e terraços marinhos e lagunares junto às áreas planas resultantes da convergência de leques coluviais e depósitos de enxurradas (Rio Grande do Sul, 2012).

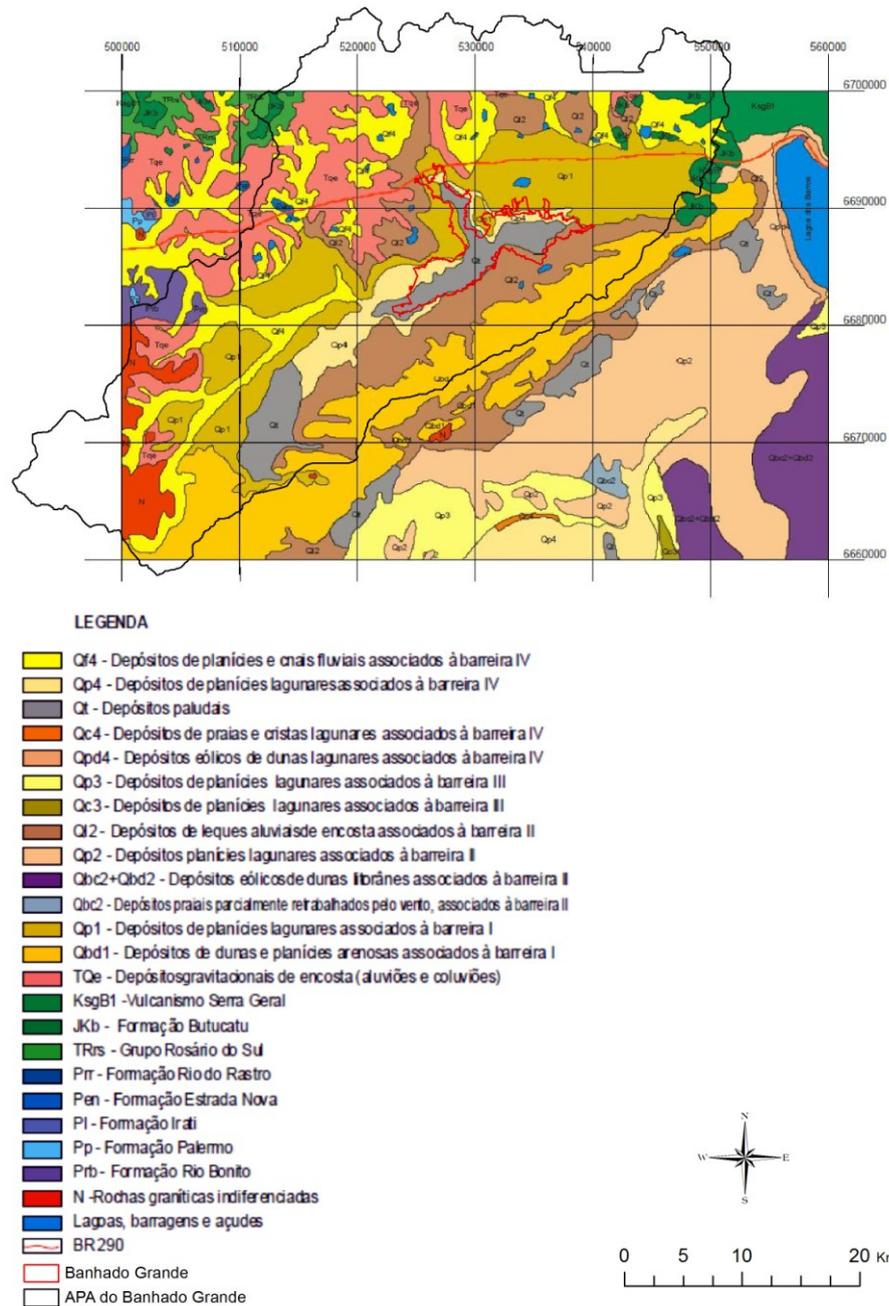
A unidade lagunar que está inserida na porção central da bacia do Gravataí, faz parte da região conhecida como Banhado Grande. Apresenta relevo plano e lençol freático raso, onde os terrenos baixos estão sujeitos a inundações sazonais. Em determinados locais, principalmente nas regiões permanentemente inundadas, ocorrem depósitos de turfas. A planície lagunar desenvolveu-se após a instalação da Coxilha das Lombas, pois esta barreira represou as drenagens oriundas das terras altas situadas a norte, formando o Banhado Grande, (Rio Grande do Sul, 2012).

É comum ouvir relatos da população e mesmo do meio científico que dão conta de que há uma grande perda dos limites da área de banhado. Porém, uma análise a partir do mapa geológico, Figura 18, mostra, entretanto, que essas áreas de banhado, na área da APA, estão associadas a ambientes que correspondem às áreas de depósitos paludais.

Nessas áreas, normalmente, a prática agrícola é dificultada devido às propriedades inadequadas do solo, e ao custo de sua drenagem. Outros exemplos podem ser encontrados no Assentamento Filhos de Sepé em Viamão, onde a área de arroz sobre uma área de ambiente paludal foi abandonada, e nas áreas do Banhado do Taím e do Banhado Grande onde se tinha

objetivo de drenar para cultivo de arroz e não viável financeiramente. Sem falar é claro dos custos ambientais.

De tal modo, as áreas que tem sofrido maior impacto no que diz respeito à redução destas terras, estão associadas às áreas úmidas, que se localizam em torno dos banhados, onde a produção de arroz segue dispondo indiscriminadamente tanto dos solos como dos recursos



hídricos.

Figura 18. Mapa de Geomorfologia e de Geologia da área da APA do Banhado Grande. Fonte: Modificado de CPRM, 2008.

4.2 RIZICULTURA

O mapeamento das áreas de cultivo de arroz, se faz importante devido à pressão pela demanda de água para o cultivo do arroz irrigado, que ocupa extensas áreas na bacia. A expansão orizícola dentro dos limites da APA do Banhado Grande é um dos principais problemas neste ambiente, o Banhado Grande e as áreas úmidas estão sendo impactados, para sustentar as lavouras de arroz.

Os dados apresentados na quantificação das áreas das safras de arroz na área da APA do Banhado Grande nos anos de 1985, 1994 e 2009, mostram que houve um considerável aumento de área cultivada, Figuras 19 e 20. Portanto a demanda hídrica para irrigação sofreu um aumento crescente, que refletiu no aumento da produtividade orizícola.

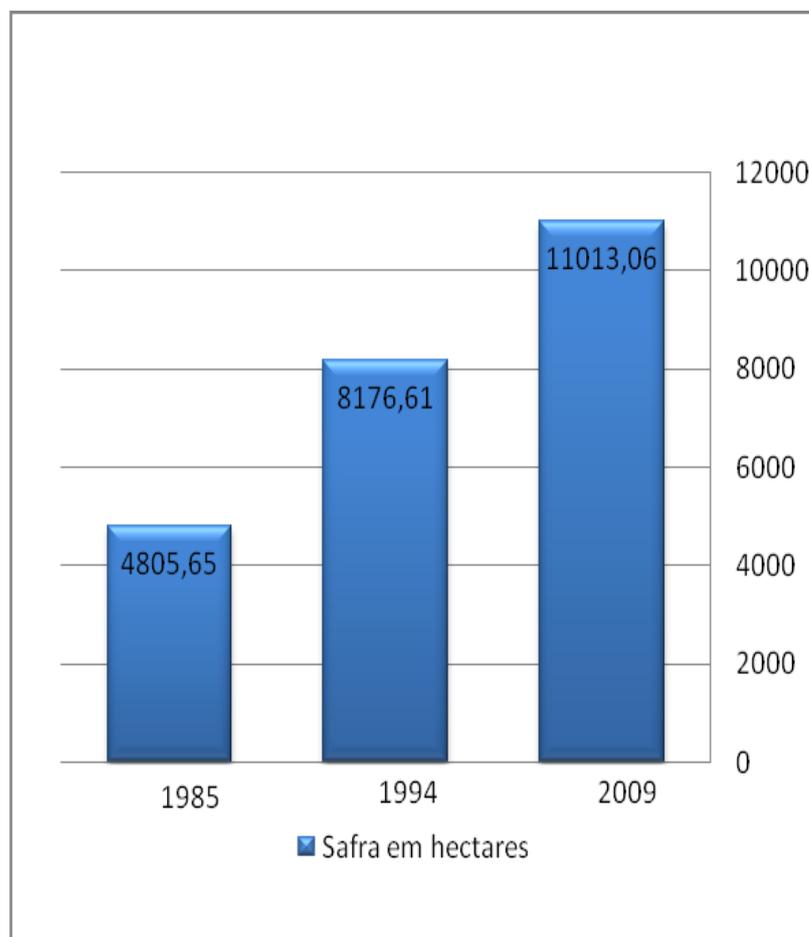


Figura 19. Gráfico da produção de arroz (ha) nos anos de 1985, 1994 e 2009, APA do Banhado Grande.

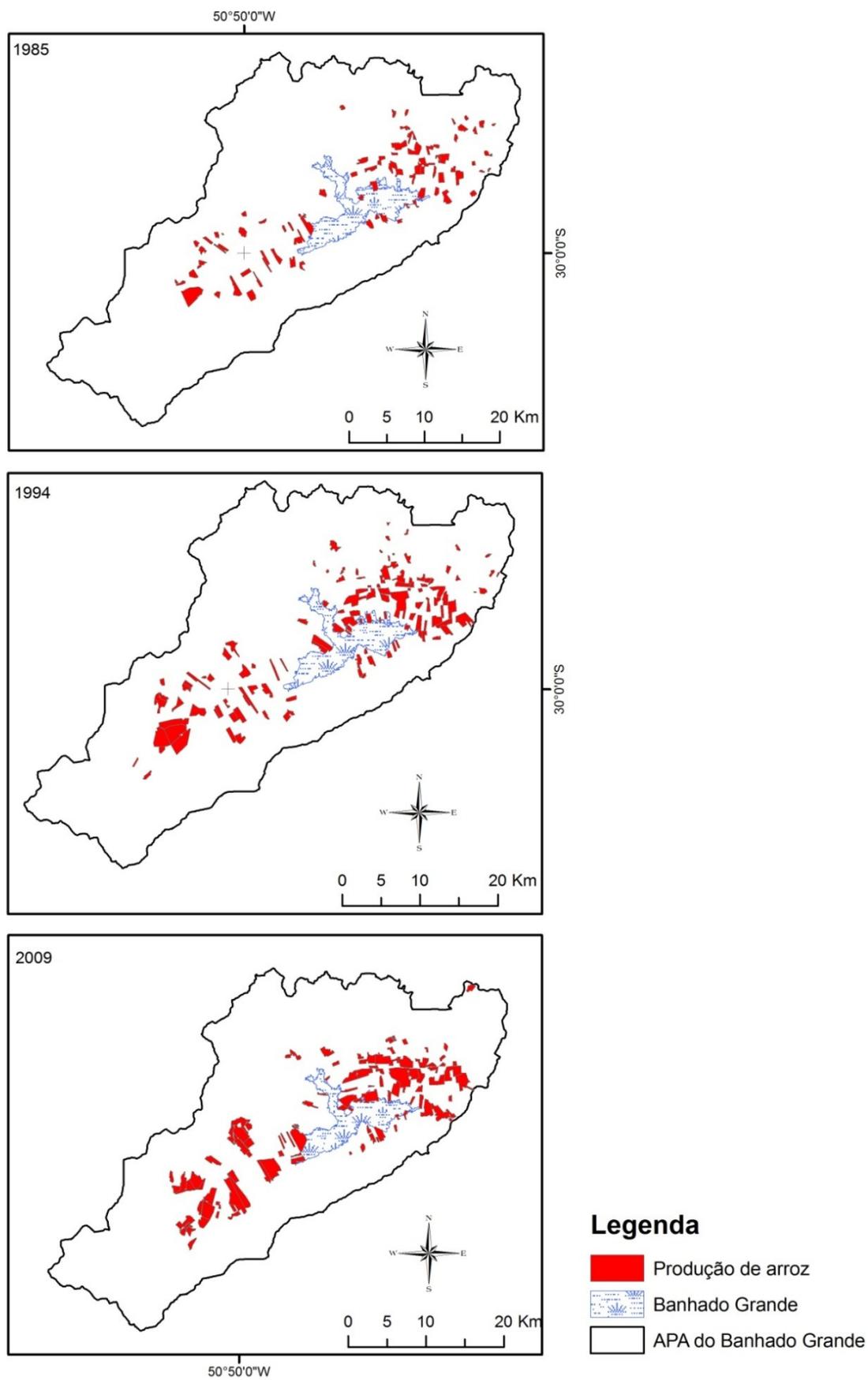


Figura 20. Mapeamento do cultivo de arroz nos anos 1985, 1994 e 2009, APA do Banhado Grande.

No mapeamento do cultivo de arroz nos anos 1985, 1994 e 2009, Figura 20, destaca-se o crescimento da rizicultura nos limites na área da APA do Banhado Grande. Observa-se também a rotação da cultura de ano para ano.

A rotação de culturas consiste em alternar, anualmente, espécies vegetais, numa mesma área agrícola. Segundo, (WWF, 2014), implica em introduzir a adubação verde no inverno ou verão, intercalada com o plantio da cultura principal, visando formar palha ou cobertura morta, que é uma grande arma contra o desencadeamento da erosão e favorece a retenção de água no solo por mais tempo.

No caso do cultivo do arroz na APA não ocorre alternância de espécies vegetais e sim o descanso e preparo do solo para a próxima safra. Porém em algumas propriedades, o manejo se dá, pelo plantio de pastagem para a criação de bovinos.

Guasselli *et al.*(2013), Figura 21, elaboraram um mapeamento em que apresentam quatro classes para as áreas de rizicultura na APA do Banhado Grande. A classe “Arroz fora do limite do Sistema Banhado Grande” é a classe que apresenta menor impacto sobre as áreas úmidas, pois na sua maioria são irrigadas por um grande conjunto de açudes. Dentro do limite do Sistema Banhado Grande existem três classes com diferentes impactos sobre as áreas úmidas.

Ainda na Figura 21, mostra áreas onde as áreas úmidas já foram drenadas, existindo atualmente um grande conjunto de canais de irrigação. A classe de arroz dentro da área do Banhado Grande é atualmente a área mais preocupante, e ocupa áreas de transição do banhado principalmente relacionadas com os pulsos de inundação que ocorrem na área. Este mapeamento também evidencia que a rizicultura ocupa uma área plana na área da APA do Banhado Grande. Na APA o cultivo de arroz se concentra predominantemente na área denominada por Menegheti (1998) de Sistema Banhado Grande.

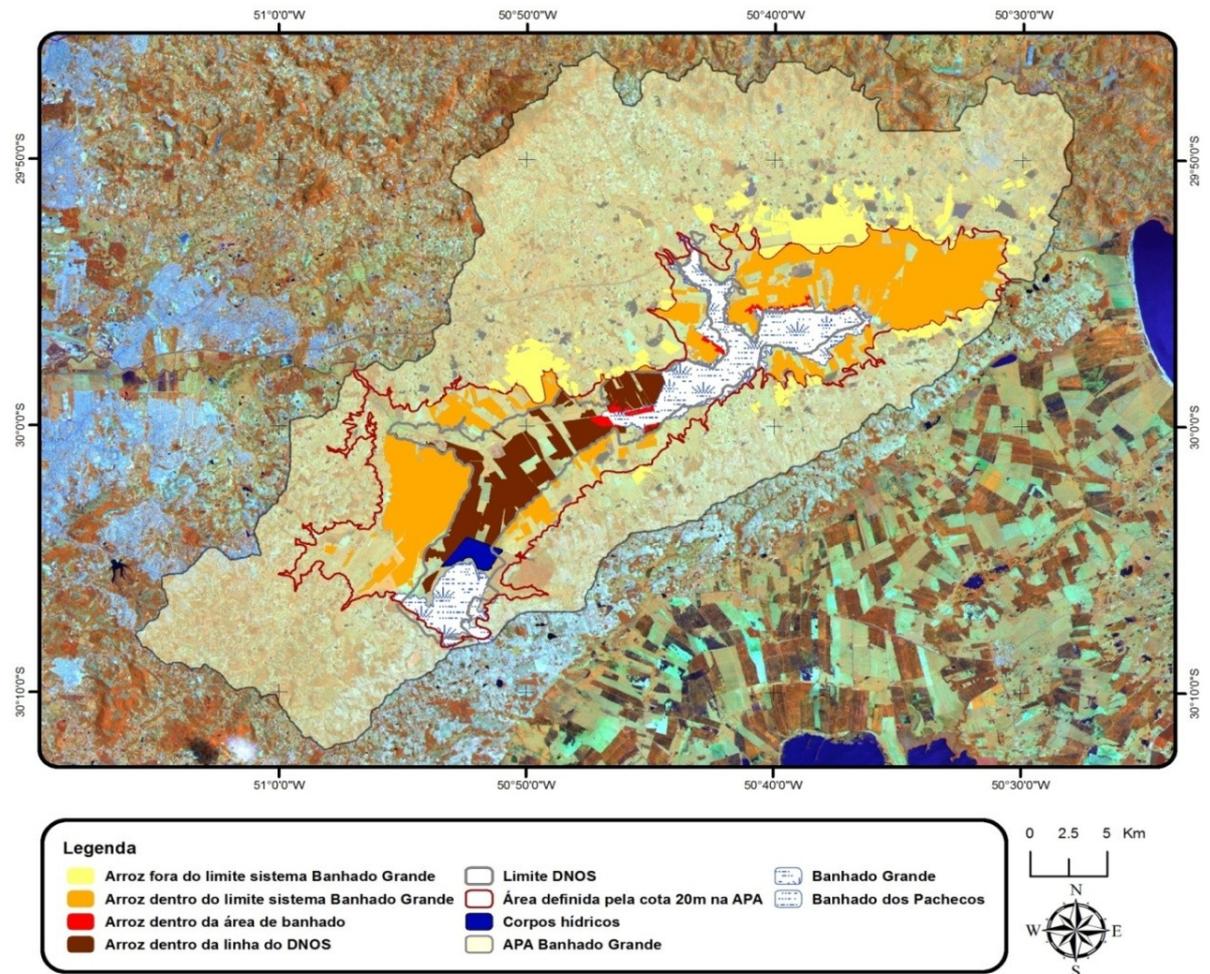


Figura 21. Mapeamento temporal da rizicultura, APA do Banhado Grande. Fonte: Guasselli et al. (2013).

O início da produção orizícola da região da APA do Banhado Grande, se dá no começo de século XX, nas terras úmidas e planas da bacia hidrográfica. Essa prática agrícola está associada ao processo de irrigação. O que se observa na paisagem local, é a presença de uma série de canais de irrigação, barragens e também a presença de diversos dutos retirando água do canal principal do rio Gravataí, como mostra a Figura 22.



Figura 22. Dutos utilizados no sistema de irrigação da produção orizícola. Foto: Cecília Balsamo Etchelar. Data da imagem: 15 de Julho de 2013.

Na Figura 23, o gráfico mostra a elevada demanda e consumo do setor de irrigação, atingindo 84% da demanda total. Quando analisados os consumos hídricos, esta concentração chega a 95% (Rio Grande do Sul, 2012). Os usos predominantes das águas são para irrigação das lavouras de arroz, onde este recurso é captado no entorno do Banhado Grande e no canal do DNOS. Para o abastecimento público o trecho de captação de água corresponde ao curso inferior, este local também serve como corpo receptor de grande carga de despejos domésticos e industriais.

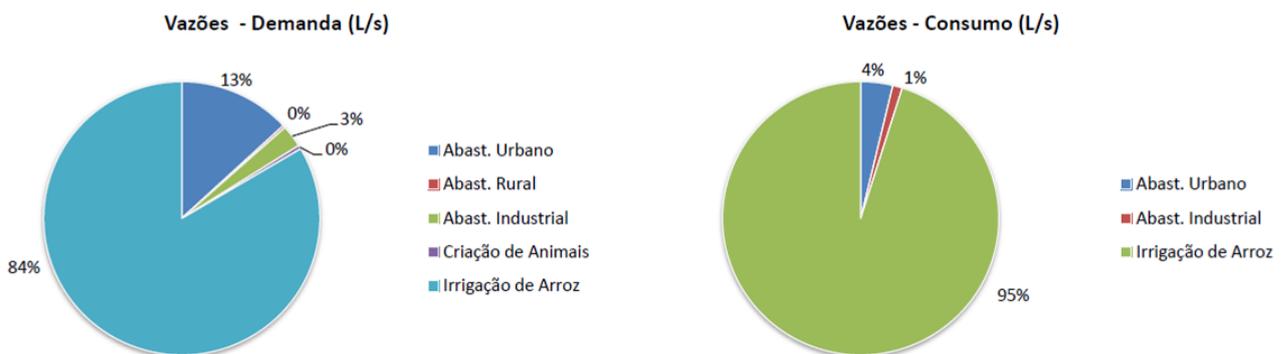


Figura 23. Gráfico das vazões de demanda e de consumo em (L/s) da bacia hidrográfica do rio Gravataí. Fonte: (Rio Grande do Sul, 2012).

Grande parte as lavouras de arroz são irrigadas no período entre a primavera e o verão, com águas procedentes da bacia do rio Gravataí. Normalmente é quando ocorrem os períodos com estiagem e grande evaporação da bacia, entre os meses de Novembro e Março. Esta prática tem causado uma série de conflitos, devido à alta demanda da irrigação da lavoura,

entre o abastecimento de água para o consumo da população, a pecuária e as atividades industriais.

A alta demanda para a irrigação das lavouras pode ser observada nas considerações de Mundstock *et al.* (2011), segundo o qual o manejo da água é uma das etapas mais importantes na boa condução da lavoura de arroz. A produtividade depende de um determinado volume hídrico para a irrigação durante o ciclo da safra. Para irrigar 1 ha são necessários cerca de 8.000 a 14.000 m³ de água, considerando as perdas na sua condução e distribuição nos canais. Assim é recomendado manter uma altura da lâmina de água 2,5 cm nos talhões.

Considerando o nivelamento dos terrenos, esta distribuição da lâmina de água poderá ser desuniforme, aumentando a demanda hídrica dos mesmos. Outra questão a ser discutida é a suscetibilidade ao processo de evaporação da água, pois os talhões aumentam a disposição de contato da água com a atmosfera, além do aquecimento pela delgada camada existente para inundar o arroz em crescimento, em um período de grande aporte energético por insolação, Figura 24.



Figura 24. Lavoura de Arroz. Fonte: IRGA, 2014.

A evaporação média anual da bacia do rio Gravataí é de 983 mm/ano. No mês de dezembro é registrada a maior evaporação, onde ocorrem déficits da ordem de 124 mm, enquanto que no mês de junho se registra a evaporação mínima que é de apenas 45,1 mm. Dezembro é um dos meses que iniciam os processos de inundação dos talhões para a produção Orizícola. A Figura 25, o gráfico mostra o desenvolvimento da evaporação média mensal no decorrer do ano (Rio Grande do Sul, 2012).

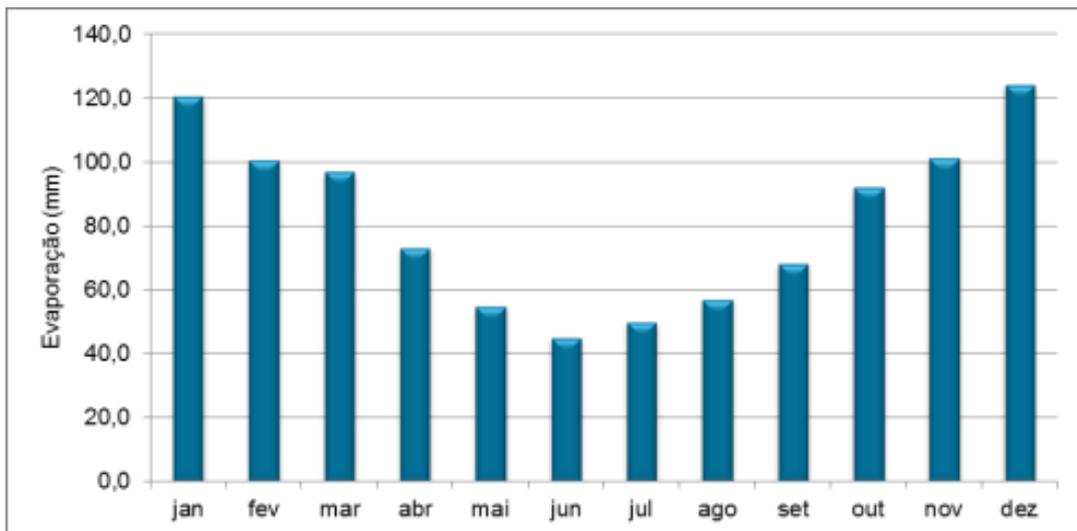


Figura 25. Gráfico com índice anual de evaporação da bacia do rio Gravataí. Fonte: (Rio Grande do Sul, 2012).

Na Resolução CONAMA nº 1, de 23 de janeiro de 1986, prevê que:

Art. 2º. Dependerá de elaboração de estudo de impacto ambiental e respectivo relatório de impacto ambiental - RIMA, a ser submetido à aprovação do órgão estadual competente, e do IBAMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como, no Artigo VII, dispõe que: Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques.

Um exemplo pode ser evidenciado na Figura 26, que apesar de estar previsto na legislação, alguns produtores continuam dispondo dos recursos hídricos de forma indiscriminada, pois seguem realizando intervenções sem respaldo legal. Executam construções de talhões e diques em área de proteção permanente (APP), realizando aberturas dos canais de irrigação e a manipulação do solo, sem que esta área passe por estudo ou relatório de impacto ambiental. Conforme relatos de um funcionário da Fundação Municipal de Meio Ambiente (FMMA), o produtor foi multado por esta intervenção na área de APP. Estas práticas vêm impactando os recursos naturais do rio Gravataí ao longo do tempo.



Figura 26. Canais de irrigação para manejo de água pela rizicultura em área de APP do rio Gravataí.
Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 15 de Julho de 2013.

Nos primórdios da cultura de arroz, o solo era em sua maioria preparado por tração animal, e a adubação era fosfatada com emprego da farinha de osso animal, fato que reforçava a interação pecuária-rizicultura Mertz (2002, *apud* Pimentel, 1949). Tradicionalmente ocorre a presença da criação de gado junto à rizicultura para o manejo do solo, onde existe um rodízio entre pastagem e produção de arroz.

Mas nessa cadeia produtiva de bovinos, também se desencadeiam processos impactantes para a fauna e flora, para os solos e os recursos hídricos através no pisoteio do gado, associado à retirada da cobertura vegetal, e pela intensificação das trilhas geradas pelos percursos repetitivos dos animais. A partir desta fragilidade que se estabelece, ocasionada pela intensa presença do gado, se ativa a possibilidade de processos erosivos, demonstrado na Figura 27.



Figura 27. Presença da produção bovina na área do Banhado Grande e o impacto gerado pelas trilhas do gado. Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Fotos datadas em 165 de Julho de 2013 e 17 de maio de 2014, respectivamente.

Na área da APA do Banhado Grande, o processo de degradação dos solos e da qualidade da água, associado à falta de boas práticas agrícolas e em função da crescente produtividade de arroz, não foram diferentes em processos de degradação ambiental pela agricultura, vistas em outras partes do mundo.

Para Weil *et al.* (2013), a partir dos anos 1960, a agricultura mais que dobrou a produção mundial de alimentos para atender o constante crescimento demográfico. Este processo inclui desmatar, queimar florestas e arar campos naturais para cultivar extensas áreas de lavouras, colaborando para a excessiva exploração do pastoreio de campos naturais, conduzindo ao empobrecimento do solo e a um acelerado processo erosivo. O processo do constante desenvolvimento da agricultura mundial se iguala ao crescimento do cultivo de arroz na área do Banhado Grande, assim, como os impactos negativos desta cultura.

4.3 EROSÃO

A partir dos mosaicos de imagens da área de estudo dos anos de 2003, 2010 e 2012, foi possível fazer uma análise temporal e a quantificação das áreas das voçorocas, Figura 28. A quantificação resultou em uma área de 1.409,77 m² no ano de 2003, 7.956,98 m² no ano de 2010 e 8.814,27 m² no ano de 2012. Através do mapeamento constata-se a formação e o avanço deste processo de erosivo na área de banhado, como ratificado no gráfico da Figura 28.

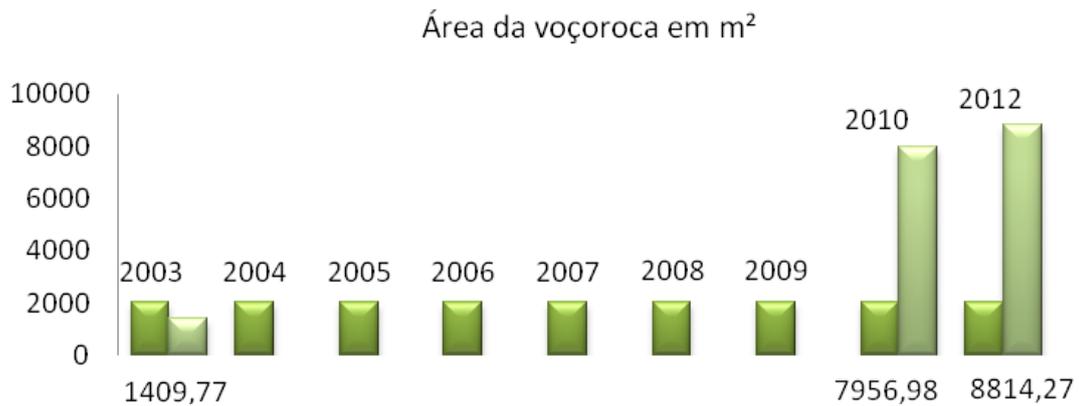


Figura 28. Gráfico do aumento da área da voçoroca entre os anos de 2003 à 2012 no Banhado Grande, Município de Glorinha/RS.

Na Figura 29, se identifica através da imagem a espacialização e o avanço do processo erosivo através da análise temporal, bem como a ampliação dos segmentos do processo erosivo, e também a estabilização dos mesmos.

Percebe-se que a forma do processo erosivo, está associada ao formato e direção do fluxo de água superficial que se forma nos meses com grandes precipitações. Apresentado no capítulo anterior na Figura 10. Também podemos associar a forma e a origem da voçoroca com a percolação de água subterrânea e da água superficial neste ponto do banhado.

Ainda podemos destacar um significativo avanço da vegetação arbustiva, identificados em campo como Maricás (*Mimosa Bimucronata*), que se desenvolveram na área em torno do processo erosivo. Em comparação, as datas de 2010 e 2012 da Figura 29, na porção oeste da voçoroca onde existe um apêndice para a direção norte, nota-se que houve uma estabilização na erosão, neste ponto, se verifica o desenvolvimento de maricás em seu entorno.

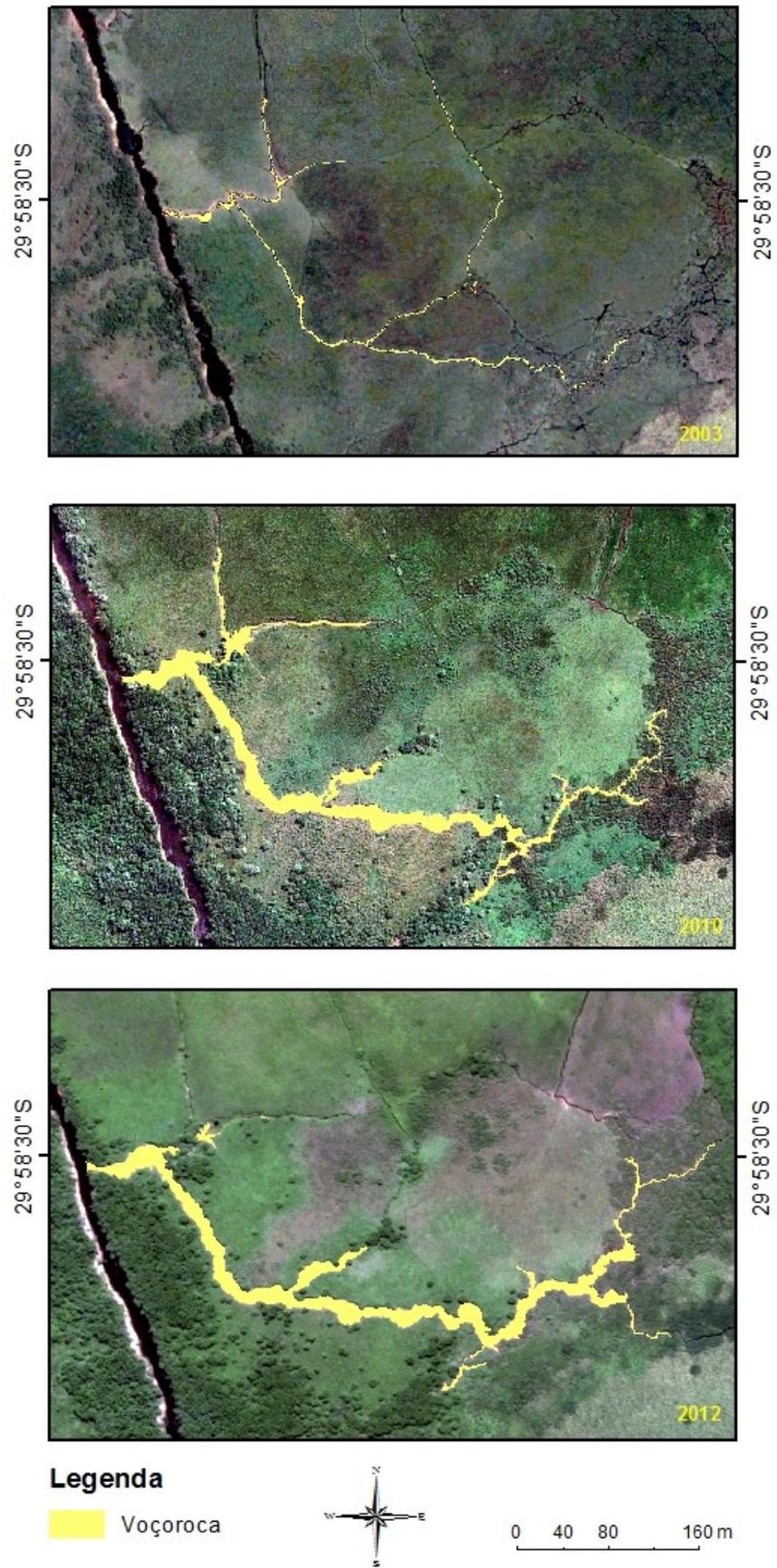


Figura 29. Evolução espacial e temporal do avanço da voçoroca no Banhado Grande - Município de Glorinha/RS.

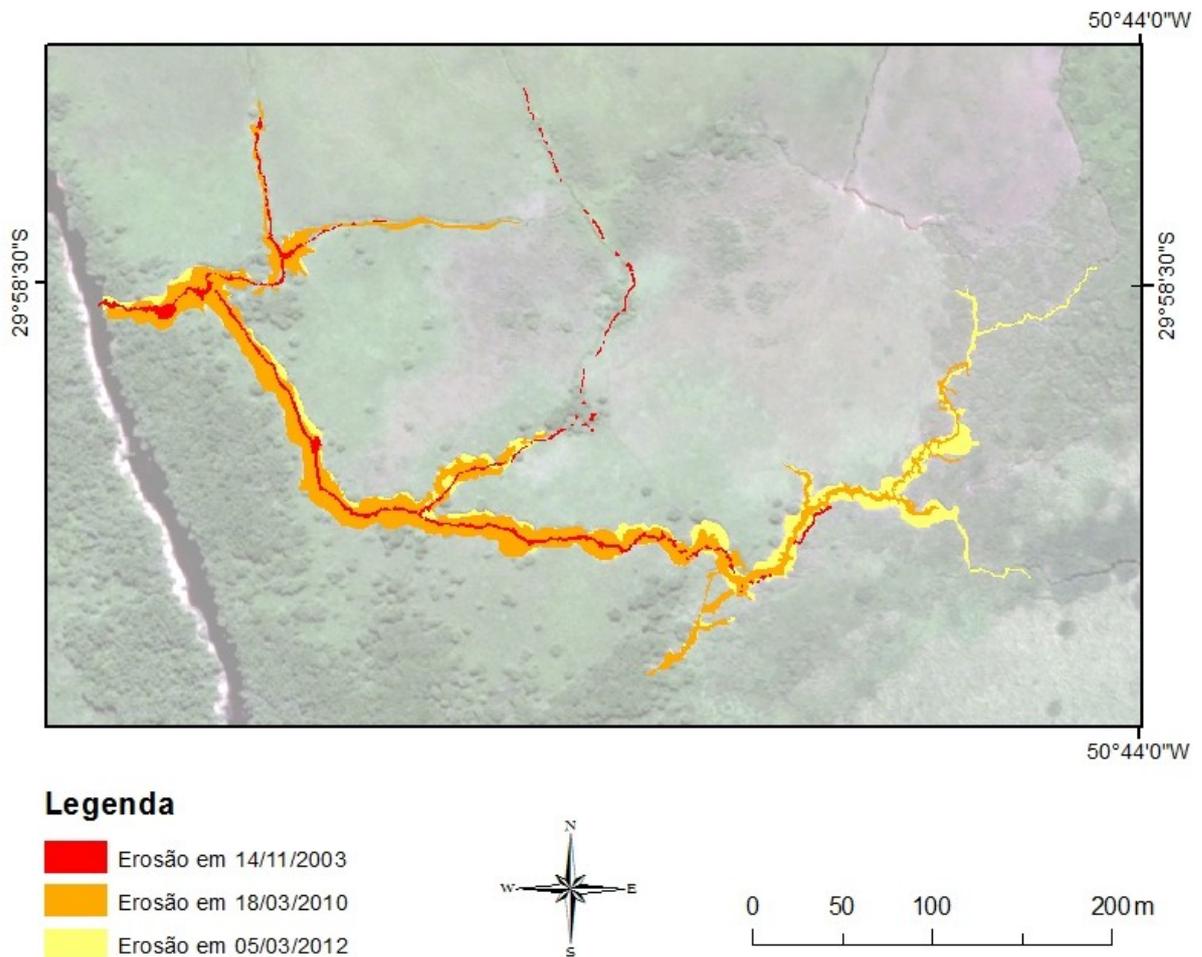


Figura 30. Evolução da área das voçorocas dos anos de 2003, 2010 e 2012, no Banhado Grande - Município de Glorinha/RS.

A partir da sobreposição dos limites da voçoroca dos anos de 2003, 2010 e 2012, Figura 30, é possível afirmar que existe um intenso processo do alargamento lateral da voçoroca, conforme a imagem, o processo encontra-se em pleno processo de evolução. É importante destacar que também apresenta estabilização em alguns pontos.

Percebe-se que o processo erosivo em forma de voçoroca no Banhado Grande, localiza-se na área de limite entre duas estruturas geológicas e pedológicas, onde a abertura do canal de drenagem para irrigação passa a desestabilizar o sistema ali existente. Afetando a dinâmica de drenagem com a elevação dos índices de vazão, alteração da percolação da água subterrânea, resultando na alteração do ciclo de umidade e seca do solo.

Pela análise das características físicas e levando em consideração que voçoroca está conectada à rede hidrográfica do rio Gravataí, conforme Oliveira (1999), para haver erosão, é preciso que uma descarga crítica que se desenvolve próximo a área de afloramento da água que atravessa um meio poroso. O arraste de partículas por percolação ocorre associado a perturbações que acarretam variações do lençol freático, como, por exemplo, aumento das precipitações. Essas e demais variáveis são encontradas nesta região do Banhado Grande, onde o processo erosivo já representa uma área de grande proporção, Figura 31.



Figura 31. Segmento de maior alargamento da voçoroca do banhado. Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 17 de maio de 2014.

Em trabalho de campo também foram observadas formações de dutos junto ao canal de drenagem, Figura 32. Esses dutos se formam onde existe o escoamento superficial e subsuperficial em sua direção. Estão localizados perpendicularmente ao ponto de saída do processo erosivo em forma de voçoroca. O que nos leva a crer que a gênese deste processo erosivo pode estar relacionada com este tipo de processo erosivo em forma de duto.



▲ Local de ocorrência do duto.

Figura 32. Ocorrências de dutos na área de processos erosivos. Fonte: imagem Google Earth. Organizado e Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 17 de maio de 2014.

Ainda na Figura 32, notam-se formações circulares no trajeto da erosão. Este processo pode estar relacionado à erosão interna da voçoroca, ou seja, o horizonte com solo arenoso, por sua característica granulométrica, em contato com um horizonte mais argiloso e referido como o nível de base. Através desta dinâmica interna, inicia-se um processo erosivo horizontal, pelo fluxo hídrico da própria voçoroca. Este processo erosivo horizontalizado leva ao alargamento da voçoroca, como demonstrado no esquema exposto na Figura 33.

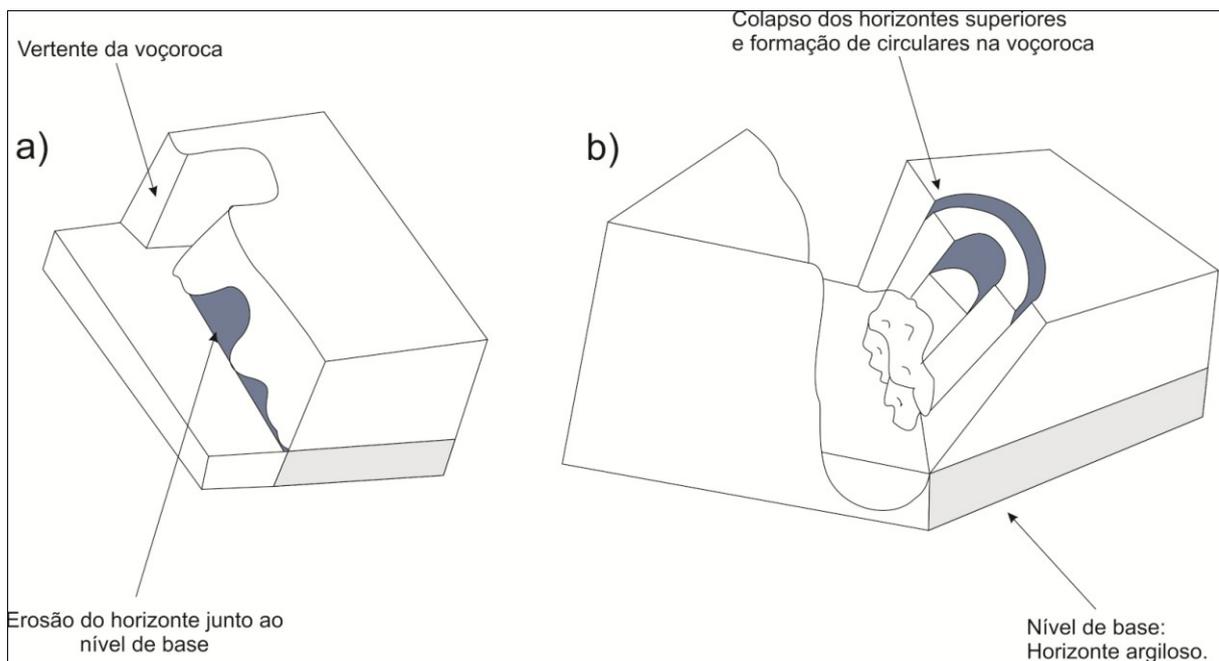


Figura 33. Esquema das formações circulares na vertente da voçoroca. Organizado: Cecilia Balsamo Etchelar. Modificado de Bigarella, 2007.

Essas formações circulares estão associadas a um fluxo de água permanente na calha da voçoroca, independente do regime de precipitação, inclusive em períodos de estiagem, pois o lençol freático tem ressurgência em todos os períodos do ano, típico de áreas de banhado. Com estas variáveis físicas, é possível que ocorra um contínuo arrastamento do solo, onde em períodos de grande precipitação seja intensificado este arraste de partículas de solo.

Para Bigarella (2007), O processo de desmoronamento das cabeceiras, acompanhado de liquefação do material arenoso das vertentes, é responsável pela velocidade considerável da erosão nas voçorocas.

As características físicas como o de fluxo de água subterrânea e os períodos de elevada precipitação, passam a ser agente com grande potencialidade erosiva, uma vez iniciada a voçoroca. Pois a alteração e desestruturação do solo exposto nas vertentes da voçoroca ficam suscetíveis à ação mecânica que a água exerce.

Conforme Neto *et al.* (2001), a presença do lençol freático, interceptada pela voçoroca, produz o aparecimento de surgências d'água. Assim este fluxo d'água do fundo e das paredes da voçoroca pode haver um prosseguimento para o interior do solo, carregando material em profundidade, formando vazios no interior do solo, levando ao processo de erosão interna tipo duto, avançando para o interior do solo na forma de tubos.

Segundo Agustin *et al.* (2006), esses dutos podem ser detectados utilizando Geo-radar, com ou sem a ocorrência de colapso do teto. Os autores mostram que o duto pode estar também presente na iniciação do processo erosivo, e seus mecanismos ainda são pouco compreendidos, embora seja possível se estabelecer relação entre o desenvolvimento dos dutos e a concentração de água subsuperficial.

A foto da Figura 34 mostra a formação de cinco dutos com o diâmetro de 12 centímetros em média. Estes dutos foram detectados em outro segmento do canal de drenagem, ou seja, onde está localizada a produção de arroz. Nessa área a água subterrânea e superficial é manipulada de forma mais direta, com a abertura e represamento dos canais de irrigação para a inundação do arroz. Na área do canal, se identificaram muitos dutos, e também um importante processo de erosão onde resultou o alargamento deste canal.



Figura 34. Dutos próximos da área de erosão. foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 17 de maio de 2014.

No estudo realizado pelo IPH em 2010 a pedido do ministério público, a análise do processo erosivo do Banhado Grande, é dividida em duas possibilidades: erosão por escoamento de água superficial e erosão por escoamento de água subsuperficial.

***Escoamento de água superficial:** A água acumulada na superfície da área de banhado encontra-se em cota mais elevada que a margem da voçoroca, escoando sobre suas bordas. Como o talude da voçoroca é verticalizado, a velocidade de escoamento é elevada, arrastando as partículas do solo e gerando pontos preferenciais de escoamento. Estes, por sua vez, recebendo mais vazão, sofrem um processo mais intenso de rebaixamento, criando, inicialmente uma ravina e depois uma voçoroca, atingindo um nível de base quando atinge a camada argilosa do solo (IPH, 2010).*

***Escoamento de água subsuperficial:** Um processo observado é a erosão pelo escoamento subsuperficial. Sendo que o teor de areia aumenta com a profundidade, há, em alguns casos, um acréscimo da porosidade drenável. Quando a voçoroca atinge uma profundidade igual ou superior à da camada impermeável (90 cm), favorece o fluxo da água horizontal em direção aos taludes. Este fluxo também desloca e carrega partículas de solo, gerando cada vez mais condições para o processo de drenagem interna do perfil, formando caminhos preferenciais para a água, que surge de forma notável na lateral da voçoroca e do canal. Este processo, denominado de pipping, causa a erosão interna do solo, favorecendo o colapso de blocos e o conseqüente avanço da voçoroca em direção ao banhado (IPH, 2010).*

Apesar de ser observado um grande número de dutos próximos e na própria voçoroca, o estudo realizado pelo IPH, não se aprofunda neste tema. Porém, Agustin *et al.* (2006), destacam a ocorrência de quatro diferentes tipos de dutos (pipes) encontrados nessa área e atribuem sua participação no voçorocamento. A formação dos dutos seriam responsáveis pelo processo erosivo, onde, os vazios criados pelos dutos, tornam-se significativos no interior do solo e podem dar origem a colapsos do, gerando uma voçoroca.

Outra questão levantada após as observações em trabalho de campo é a presença em grande quantidade de agentes biológicos como formigas (Figura 35) e cupins, identificados também nas paredes da voçoroca. Em Janeiro de 2014, período de estiagem, quando se identificou a ação dos insetos, se identificou esta atividade biológica, que propicia a alteração na estrutura do solo, aumentando sua porosidade. Forsyth *et al.* (2013), estimam que os cupins podem mover, anualmente, de 300 a 1200 Kg/ha de solo em sua atividade de construção dos montes. Essas atividades têm impactos significativos na formação do solo, bem como sobre a sua fertilidade e produtividade.

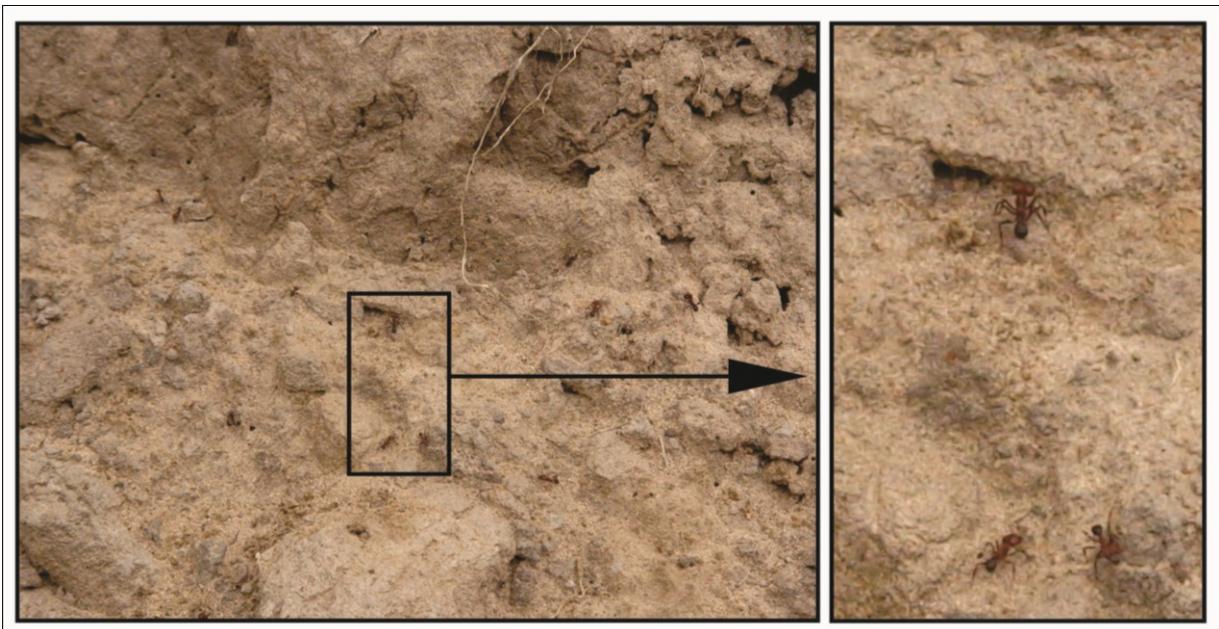


Figura 35. Presença de formigas na área de erosão. Foto: Cecilia Balsamo Etchelar. Data: 27 de Janeiro de 2014.

De acordo com o testemunho de um pescador e morador da região há mais de 60 anos, o canal de drenagem (DNOS) foi aberto com uma retro escavadeira. Era um canal de pequenas dimensões segundo o IPH (2010). Esse morador também afirma que a área erodida era um banhado com “palhal” vigoroso, e que ficava inundado a maior parte do ano. A abertura do dreno fez com que a vegetação secasse e fosse destruída por queimadas.

Nessa área de erosão o banhado se mantém mais seco, em função da alteração de sua drenagem. O desenvolvimento da vegetação de campo para pastagem se fortifica, onde, a partir da alteração da vegetação, e descaracterização da cobertura do solo se desencadeia uma importante variável para o processo erosivo.

A alteração da cobertura do solo, com a reversão da cobertura natural da vegetação pela produção orizícola ou em campos de pastagem para a criação bovina, potencializa a alteração de estrutura do solo, levando a sua desagregação. Este processo induz que as partículas de solo, possam ser carregadas com maior facilidade, onde a contribuição da ação de variáveis físicas como precipitação e fluxo de águas subterrâneas, acelera o processo erosivo.

Construído perpendicularmente em relação à direção do fluxo das águas superficiais e fluxo de águas subterrâneas, o canal para irrigação aberto pelos rizicultores em região limítrofe entre as áreas de produção de arroz e o Banhado Grande, demonstra ter alterado a vazão do banhado. Com o aumento da drenagem hídrica desta área do banhado que modifica a dinâmica natural desta área, também se a desestabilização da estrutura do solo e a possibilidade da conversão da vegetação característica de banhado por pastagens que nutrem a produção bovina. Estas variáveis levam aos processos erosivos percebidos nesta área, principalmente a voçoroca analisada neste estudo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da quantificação da produção orizícola na área da APA do Banhado Grande em um período de quase 30 anos, foi possível identificar uma significativa expansão da área cultivada, passando de 4800 ha em 1985 para 11000 ha em 2009. Esse crescimento está associado ao aumento dos impactos que acompanham o desenvolvimento desta produção, devido à necessidade de um grande aporte hídrico para aumentar a produtividade do arroz, já que o arroz irrigado é responsável por 95% do consumo da vazão do rio Gravataí.

Destaca-se também a descaracterização da paisagem através da substituição da cobertura vegetal natural por talhões de arroz e uma extensa malha de canais para a produção do arroz irrigado.

A partir das características físicas da área da APA do Banhado Grande e da bacia hidrográfica do rio Gravataí, destaca-se o relevo plano associado a extensas áreas de terras úmidas com banhados associados. Naturalmente, são locais não suscetíveis a processos erosivos. Porém, formas de planejamento inadequado, como a canalização de parte do rio Gravataí, e a falta estudos sobre o manejo adequado do solo e da água, fazem com que a área passe a ter um potencial de erodibilidade.

Com o mapeamento temporal da área da voçoroca, pode-se dimensionar e acompanhar a evolução deste processo erosivo. Em 2003 a área da erosão era de 1409 m², com um salto para 8814 m² no ano de 2012. Destaca-se a velocidade do comportamento deste processo, assim como a sua forma, nesses últimos 10 anos.

Uma peculiaridade do processo erosivo em área de banhado é saber que uma vez iniciada a voçoroca, as características físicas como o de fluxo de água subterrânea e a precipitação, passam a ser agentes com grande potencialidade erosiva. Além da alteração e desestruturação do solo exposto nas vertentes da voçoroca, que passam a serem suscetíveis às erosões.

A configuração do processo erosivo está associada ao contorno que o fluxo de água superficial forma nos meses com grandes precipitações. O alargamento da erosão está associado ao carregamento das partículas de solo por influência do fluxo de água permanente originada do lençol freático.

Também fica estabelecido que a abertura no canal de drenagem para o arroz irrigado, na área limite do Banhado Grande com as áreas úmidas de seu entorno tem influencia direta na formação da voçoroca e seu acelerado processo de expansão.

5.1 RECOMENDAÇÕES

Este estudo abre possibilidades para averiguações futuras, onde a compreensão e entendimento deste valioso ecossistema que abriga grande biodiversidade possam ser preservados de forma íntegra e sustentável tanto para atividades econômicas como para a vida silvestre ali existente.

Sugere-se para um melhor detalhamento da relação entre os dutos e a voçoroca um levantamento por Geo-Radar. Pois, embora haja a presença de dutos junto e próximo ao processo de voçorocamento, os dados já obtidos não permitem quantificar nem qualificar se estes dutos podem ter ou não contribuição com a voçoroca no Banhado Grande.

Recomenda-se a tomada de medidas mitigadoras para a restauração deste importante ecossistema, tendo em vista que além da função reguladora do rio Gravataí, o Banhado Grande serve de abrigo para uma grande diversidade da fauna e flora, com algumas espécies ameaçadas de extinção.

6 REFERÊNCIAS

ACCORDI, I. A., HARTZ S. M. **Distribuição espacial e sazonal da avifauna em uma área úmida costeira do sul do Brasil.** Revista de Ornitologia p.117-135. Junho de 2006, p.118.

AUGUSTIN R. R. H. C. ARANHA A. R. P. **Piping em área de voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais.** Revista Brasileira De Geomorfologia - Ano 7, nº 1 (2006)

BIGARELLA, J.J. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Contribuição Everton Passos (et al.) Vol. 3: Ed. da UFSC, Florianópolis, 2003, p.877-1436

BRADY, N.C.; BUCKMAN, H.O. **Elementos da natureza e propriedades dos Solos** 3. ed. Porto Alegre, Bookman. 2012, 686p.

BRASIL, República Federativa. **Resolução CONAMA nº 001**, de 23 de janeiro de 1986.

BURGER, M. I. 2000. **Situação e ações prioritárias para conservação de banhados e áreas úmidas da Zona Costeira.** Disponível em (http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round7/round7/guias_r7/sismica_r7/refere/banhados.pdf) Acesso em: 20/05/2014

CARVALHO, A. B. P. OZORIO, C. P. **Avalização sobre os banhados do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.1, p. 83-95, 2007.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** 2. Ed. Editora Blucher, São Paulo, 1980. 188p.

CHRISTOPHERSON, Robert W. **Geossistemas, Uma introdução à geografia física.** 7 ed. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2012. 728 p. CD-Rom.

CORREIO DO POVO, disponível em : (http://www.cliptvnews.com.br/mma/amplia.php?id_noticia=43589). Acesso em 10/05/2014.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias - **Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos.** Circular Técnica 22. Jaguariúna/São Paulo, 2011. 7p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS (<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>) Acesso em 02/05/2014

FELIPPI, E. E.; FAUTH M. E.; SCUSSEL, B.C.M.; MERTZ, M. M.; KUHN J.M. **Agricultura na região metropolitana de Porto Alegre - Aspectos históricos e contemporâneos.** Org. Miguel, A. L.; Grandó Z. M. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2002 157p.

GUASSELLI, A. L. ETCHELAR, B. C. BELLOLLI, F. T. **Os impactos do cultivo de arroz irrigado sobre as áreas úmidas da Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande do rio Gravataí – RS.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M.; **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340 p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico - **Manual técnico de geomorfologia /** Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. – 2. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2009. 182 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisas agropecuárias.** 2. ed. Rio de Janeiro. IBGE, 2002. 92p

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico – Vocabulário básico de recursos naturais e meio ambiente. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 332p

IHGRGS - Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul, disponível em: (http://www.ihgrgs.org.br/FatosEntrev/Guaiba_IHGRGS.htm). Acesso em 15/05/2014

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/IPH. **Estudo do processo erosivo em área de banhado na bacia hidrográfica do Rio Gravataí.** Porto Alegre, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS/IPH. **Identificação das alternativas possíveis e prováveis para regularização das vazões do rio Gravataí.** Porto Alegre: IPH/CPRM, 2002. 207p.

IRGA: Instituto Rio Grandense de arroz. Imagem do plantio de arroz disponível em : (http://www.agricultura.rs.gov.br/conteudo/3022/?Come%C3%A7a_oficialmente_o_plantio_de_arroz_no_Rio_Grande_do_Sul). Acesso em 07/06/2014.

JUNGBLUT, M. **Pedologia da bacia do rio Gravataí - RS.** Projeto PROTEGER. Porto Alegre: METROPLAN e CPRM, 1994.

LORETTI, Porto Fé de Mello. **Percepção da paisagem e conservação ambiental do Banhado do Rio Gravataí/RS**. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MARTINS, R. M. C. **Caracterização da Região Metropolitana de Porto Alegre Porto Alegre**, Textos para Discussão FEE N° 112. Janeiro de 2013. 24p

MENEGHETI, J.O. **Lagunas uruguayas y sur de Brasil. Los humedales de America del Sur, uma agenda para la conservación de La biodiversidad y políticas de desarrollo** In: CAVENARI, P.; DAVIDSON, I.; BLANCO, D.; CASTRO, G.; BUCHER, E. (eds).. Buenos Aires: Wetlands International, 1998.

METROCLIMA Dados de precipitação disponível em:
(http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/metroclima/default.php?p_secao=13) Acesso em 23/05/2014.

MUNDSTOCK C. M. (*et al.*) **Manual de boas práticas agrícolas: Guia para a sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande Do Sul**. Instituto Rio Grandense do Arroz/IRGA. Porto Alegre, 2011. 80 p.

NETO, S. F.; ROBAINA, L.E. PAULA, P. M.; BERGER, M. **Processo de vossorocamento em Cacequi/RS – Vossoroça do “Macaco Branco”**. VII Simpósio Nacional De Controle De Erosão Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.

NIELSEN, S.D.; JUNGBLUT, M.; GIUGNO, B. N. **Geomerfologia da bacia do rio Gravataí/RS**. Projeto PROTEGER. Porto Alegre: METROPLAN e CPRM, 1994.

RAMSAR: **Manual de la convencion Ramsar – Guia de la convención sobre los Humedades** (Ramsar, Irán, 1971) 6ª edicion. Suiza, 2013. 120p.

ROSSATO, M. S. **Os Climias no rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologia**. Programa de Pós-Graduação em Geografia (Tese de Doutorado), Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

RUBBO, Marta. **Análise do potencial hidrogeológico do aquífero cenozoico Da bacia hidrográfica do Rio Gravataí – RS**. Dissertação (Mestrado Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) UFRGS, Porto Alegre, 2004.

RUBBO, M.; MARQUEZA, G. R.; CAICEDO, L. N.; LEÃO, I. M. **Diagnóstico quali-quantitativo do aquífero freático da bacia do rio Gravataí-RS**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto nº38.971 23 de outubro de 1998, cria a área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, e dá outras providências.** Leis Federais nºs. 6.902, de 27 de abril de 1981 e 6.938, de 31 de agosto de 1981, alteradas pelas Leis nºs. 7.804, de 18 de julho de 1989 e 8.028, de 12 de abril de 1990.

RIO GRANDE DO SUL. **Plano de recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Gravataí.** Secretaria do meio Ambiente. 2012.

SEMA–**Secretaria Estadual de Meio Ambiente**, disponível em:
(http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=174). Acesso em 14/05/2014.

SOSBAI. **Recomendações técnicas da pesquisa para o sul do Brasil.** Reunião Técnica da Cultura do Arroz Irrigado, 11 a 13 de agosto de 2010, Bento Gonçalves, RS. - Porto Alegre, 2010. 188 p.

STRAHLER, A. N.; STRAHLER, A. N. **Geografia Física.** Barcelona, 2005. 550p.

SUERTEGARAY, D. M. A.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L. A.; SILVA, C. R.; ROSSATO, M. S. **Terra - Feições Ilustradas.** 3. ed. Editora UFRGS. 2008. 264p.

WWF: **Rotação de culturas**, Disponível em:
(http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/agricultura/agr_acoes_resultados/agr_solucoes_cases_rotacao/) Acesso em 06/06/2014.

WWF: **Áreas Úmidas**: Disponível em:
(http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/areas_umidas). Acesso em 17/11/2013.