

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

**PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS ÚMIDAS,
APA DO BANHADO GRANDE - RS**

Porto Alegre
(2017)

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

**PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS ÚMIDAS,
APA DO BANHADO GRANDE - RS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Elba C. Teixeira
ORIENTADOR: Prof. Dr. Laurindo A. Guasselli

Porto Alegre
(2017)

CECILIA BALSAMO ETCHELAR

**PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS ÚMIDAS,
APA DO BANHADO GRANDE – RS**

Orientadora: _____

Prof^ª. Dr^ª. Elba Calesso Teixeira, UFRGS.

Orientador: _____

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli, UFRGS.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Jackson Muller, FMMA

Fundação Municipal do Meio Ambiente de Gravataí/RS

Prof^ª. Dr^ª. Tatiana Silva da Silva, UFRGS.

Programa de Pós-Graduação em Geociências e Sensoriamento Remoto – Porto Alegre/RS.

Prof. Dr. Ulisses Franz Bremer, UFRGS.

Programa de Pós-Graduação em Geografia e Sensoriamento Remoto – Porto Alegre/RS.

Coordenadora do PPGSRM: _____

Prof^ª. Dr^ª. Tatiana da Silva da Silva

Porto Alegre, Setembro de 2017.

Etchelar, Cecilia Balsamo
PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS ÚMIDAS,
APA DO BANHADO GRANDE - RS/ Cecilia Balsamo
Etchelar. -- 2017.

106 f.

Orientadores: Elba Calesso Teixeira, Laurindo
Antonio Guasselli.

Trabalho de conclusão de curso (Especialização) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro
Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e
Meteorologia, Mestrado em Sensoriamento Remoto,

Porto Alegre, BR-RS, 2017.

1. Áreas Úmidas. 2. Banhados. 3. Erosão. 4.
Classificação. 5. Laser Scanner. I. Teixeira, Elba
Calesso, orient. II. Guasselli, Laurindo Antonio,
orient. III. Título.

A nossa civilização montou um desafio mentiroso sempre dirigido pela acumulação e pelo mercado. Esta civilização nos acena uma vida de abundâncias e esbanjamento, mas produz, na verdade, uma conta regressiva contra a natureza e contra o futuro da humanidade. É uma civilização contra a simplicidade, contra a sobriedade e contra todos os ciclos naturais. Pior, ainda, uma civilização que é contra a liberdade e que supõe ter tempo livre para viver as relações humanas. As únicas coisas transcendentais que temos: amor, amizade, aventura, solidariedade e família.

Pepe Mujica



*Ao meu sempre companheiro Luiz Inácio de Oliveira;
Aos meus pais Adela e Walter;
Aos meus irmãos Cibél e Ernesto.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, pela estrutura e ambiente acolhedor. Ao Departamento de Pós-Graduação em Geografia da UFRGS, um muito obrigado pelas cadeiras lá realizadas e pelo empréstimo do Laser Terrestre Scanner.

Aos meus orientadores, prof^ª. Elba e prof. Laurindo, minha eterna gratidão por terem me acolhido, me dado liberdade de realizar este trabalho da forma que eu quis, pela paciência, pelo convívio e por acreditarem em mim e no meu trabalho.

A Fundação Municipal de Meio Ambiente do Município de Gravataí/RS, pelo suporte nas saídas a campo. Em especial ao Paulo pela condução do barco e sua experiência de vida com o rio Gravataí. Aos funcionários da Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande (Denise, Cecília, Leticia e o guarda parque Leonardo) agradeço pelo reconhecimento do nosso trabalho e o apoio dado desde sempre. Ambos foram fundamentais nesta caminhada.

Ao meu companheiro Lula, a Tássia e a Viviane, devo toda minha gratidão por encerrar grandes dificuldades em verões escaldantes e invernos congelantes nas saídas a campo ao Banhado Grande.

Aos amigos do Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental, (Camilo, Guilherme, Guilherme Oliveira, João Brubacher, João Simioni, Letícia, Pâmela, Renato e Thiago) sinto gratidão pela paciência, ensinamentos e parcerias de excelente convívio, trabalhos, congressos e churrascos.

A Renata e a Fabi, duas queridas das quais eu sempre recebo palavras de carinho, desabafos e apoio. Ao colega Rodrigo que dedicou tempo de sua vida para me ensinar a trabalhar com o Laser Scanner. Ao Luís Fernando pela ajuda no processamento da nuvem de pontos. A Betânia que desde a graduação sempre me apoiou nos momentos de desespero! Um muito obrigado sempre.

Aos meus pais, Adela e Walter, e aos meus irmãos Ernesto e Cibél pelo amor incondicional e saber que posso sempre contar com vocês. A minha cunhada Jaqueline, que sempre se preocupou com minha pesquisa. Aos meus sogros Lourdes e Guido, por toda a ajuda de hoje e de sempre, pelo zelo e atenção comigo. A Noely pelas conversas e pelo apoio. Aos meus queridos primos.

Enfim, muito obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta dissertação!

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande na Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, inserida na região metropolitana de Porto Alegre, abriga uma extensa Área Úmida em sua porção central. A partir de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para a análise das variáveis físicas como, geologia, cota altimétrica, pedologia e índices de vegetação como o NDVI e o NDWI, foi possível classificar compartimentos de Unidades de Paisagem associados às Áreas Úmidas em: Unidade de Paisagem Turfeira e Unidade de Paisagem / Planície de Inundação. A delimitação destas áreas, visa o planejamento do uso racional destes ambientes para a sua manutenção e preservação. No início da década de 1970, um trecho do rio Gravataí foi canalizado, com objetivo de drenar as Áreas Úmidas e viabilizar a expansão das áreas de cultivo do arroz, esta intervenção ocasionou um processo erosivo em forma de voçoroca no Banhado Grande, no município de Glorinha. A partir de uma série temporal de imagens satelitais foi possível mapear e quantificar a evolução do processo erosivo da voçoroca entre os anos de 2003 a 2015. Os resultados do mapeamento mostraram um aumento de quatro vezes na área da voçoroca de 2909,62 m² em 2003 para 12097,70 m² em 2015. No mapeamento da voçoroca e no monitoramento dos processos erosivos no banhado foram o uso das técnicas como: a) monitoramento por estaqueamento; b) mapeamento por imagens de satélite; b) mapeamento por varredura de Laser Scanner Terrestre. O Laser Scanner Terrestre mostrou-se uma ferramenta potencial para o mapeamento da voçoroca em virtude de sua alta precisão e rapidez na coleta de dados no campo, gerando modelos digitais de elevação com alta precisão. O uso do modelo permitiu identificar áreas de erosão deposição e de sedimentos, a partir do perfil topográfico. É necessário o monitoramento contínuo do processo erosivo na área do Banhado Grande, combinando métodos para modelar a sua dinâmica. Essas ferramentas de apoio são fundamentais para a elaboração do Plano de Manejo e estudos que visam a restauração das Áreas Úmidas do rio Gravataí.

Palavras-chave: Banhados, Erosão; Sensoriamento Remoto; Voçoroca; Laser Scanner; Glorinha.

ABSTRACT

The Banhado Grande Environmental Protected Area in the Gravataí river basin, located in the metropolitan area of Porto Alegre, has an extensive wetland area in its central portion. From remote sensing and geoprocessing techniques for the analysis of physical variables such as geology, topography, pedology and vegetation indices such as NDVI and NDWI, it was possible to classify compartments of Landscape Units associated to Wetlands in: Peat Landscape Unit and Landscape Unit / Flood Plain. The delimitation of these areas, aims at planning the rational use of these environments for their maintenance and preservation. In the beginning of the 1970s, a section of the Gravataí river was channeled, with the objective of draining the wetlands and making possible the expansion of rice cultivation areas, this intervention caused an erosive process in the form of gully in Banhado Grande, in the municipality of Glorinha. From a time series of satellite images, it was possible to map and quantify the evolution of the erosion process of the voçoroca between the years 2003 to 2015. The results of the mapping showed a significant increase in the gully of 2909.62 m² in 2003 to 12097.70 m² in 2015. In the mapping of gully and in the monitoring of the erosive processes in the swamp, were used techniques such as: a) stacking monitoring; b) mapping by satellite images; b) scanning mapping of terrestrial Laser Scanner. The terrestrial Laser Scanner has proved to be a potential tool for the mapping of the gully because of its high precision and rapid data collection in the field, generating digital elevation models with high precision. The use of the model allowed identifying areas of erosion deposition and sediment from the topographic profile. It is necessary, however, to choose suitable techniques for the continuous monitoring of the erosive process in the area of the Grande Banhado, combining methods to model the dynamics. These support tools are fundamental for the elaboration of the Management Plan and studies that aim at the restoration of the wetlands of the Gravataí river flood plain.

Keywords: Swamp; Remote Sensing; gully; Laser Scanner; Glorinha.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	14
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS.....	21
1.2.1 OBJETIVO GERAL	21
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.3 ÁREA DE ESTUDO.....	22
1.4 REFERENCIAL TEÓRICO	26
1.4.1 Utilização de produtos satelitais.....	26
1.4.2 Laser Scanner Terrestre (LST).....	30
1.5 REFERÊNCIAS.....	31
2. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS EM UNIDADES DE PAISAGEM, NA APA DO BANHADO GRANDE, BHRG - RS	37
2.1 INTRODUÇÃO	38
2.1.1 Referências Bibliográficas	39
2.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	42
2.3 MATERIAIS E MÉTODOS	43
2.4 RESULTADOS	45
2.5 CONCLUSÕES.....	57
3. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA VOÇOROCA, APA DO BANHADO GRANDE, MUNICÍPIO DE GLORINHA – RS, BRASIL	62
3.1 INTRODUÇÃO	63
3.2 ÁREA DE ESTUDO	65
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	67
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
3.6 REFERÊNCIAS	77
4. METODOLOGIAS PARA MONITORAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO BANHADO GRANDE - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ	81
4.1 INTRODUÇÃO	82
4.2 ÁREA DE ESTUDO.....	84
4.3 MATERIAIS E MÉTODOS	86
4.4 RESULTADOS	89
4.4.1 Monitoramento por estacas	90
4.4.2 Monitoramento e análise temporal por imagens de satélite	91
4.4.3 Monitoramento e análise por “Laser Scanner” Terrestre.....	92
4.5 CONCLUSÃO.....	99
4.6 REFERÊNCIAS	100
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
ANEXO: A	105

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1

Figura 1.1 Imagem do satélite Landsat TM5, 1994	22
Figura 1.2 Aves sobrevoando o rio Gravataí	23
Figura 1.3 Sistema Banhado Grande	24
Figura 1.4 Expansão urbana na planície de Inundação do rio Gravataí	26
Figura 1.5 Representação da varredura com LST	30

Capítulo 2

Figura 2.1 Localização da APABG/BHRG, sobre Landsat TM 2007	42
Figura 2.2 Mapa altimétrico das áreas entre 0 e 20 metros na BHRG	46
Figura 2.3 Mosaico de fotografia aérea de 1970	47
Figura 2.4 Bacias Sedimentares nos limites da APABG/BHRG	48
Figura 2.5 Geologia da APABG/BHRG	49
Figura 2.6 Pedologia na APABG/BHRG	51
Figura 2.7 Mapeamento NDWI, 30 de agosto de 2013	52
Figura 2.8 Mapeamento NDVI, 30 de agosto de 2013	53
Figura 2.9 Macrófitas aquáticas, rio do Guará, Banhado Grande	54
Figura 3.0 Mapeamento das UPs e tipificação das AUs	56

Capítulo 3

Figura 3.1 Localização das áreas de erosão APABG	66
Figura 3.2 Análise temporal da voçoroca entre 2003 e 2015	68
Figura 3.3 Imagem em período de inundação no Banhado Grande	70
Figura 3.4 Esquema de formação circular na vertente da voçoroca	72
Figura 3.5 Presença da produção bovina e o impacto das trilhas do gado	74
Figura 3.6 Mapa síntese da evolução temporal da voçoroca	75
Figura 3.7 Estabilização da erosão ao sul da voçoroca entre 2010 e 2015	76

Capítulo 4

Figura 4.1 Mapa de localização da voçoroca	85
Figura 4.2 Fluxograma de funcionamento e aplicação do LST	87
Figura 4.3 LST modelo RENISHAW (MDL) Quarryman Pro LR 3D	88
Figura 4.4 Experimento de estaqueamento para monitorar a voçoroca	90
Figura 4.5 Análise temporal de trecho do canal e da voçoroca	92
Figura 4.6 Dinâmica do banhado em distintos períodos	93
Figura 4.7 Levantamento com LST e sonar em área com processo erosivo	93
Figura 4.8 Imagem da área de estudo e o resultado do VLST	94
Figura 4.9 Comparação do escaneamento com registro fotográfico	95
Figura 5.0 Dados de elevação da nuvem de pontos	96
Figura 5.1 Perfil topográfico sobre MDT	98

LISTA DE TABELAS E GRÁFICOS

Capítulo 3

Tabela 3.1. Análise granulométrica do solo71

Gráfico 1. Área da voçoroca entre 2003 e 201573

Gráfico 2. Área de erosão ao sul da voçoroca, entre 2003 e 2015, na APABG76

Capítulo 4

Tabela 4.1. Dados das nuvens de ponto89

LISTA DE ABREVIATURAS

APA: Área de Proteção Ambiental

APABG: Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande

AUs: Áreas Úmidas

BHRG: Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí

CECO: Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

CEPSRM: Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOS: Departamento Nacional de Obras e Saneamento

DSG: Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

EPA: *Environmental Protection Area*

EPABG: *The Banhado Grande Environmental Protection Area*

FEPAM: Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

FMMA: Fundação Municipal de Meio Ambiente

FZB: Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPH: Instituto de pesquisas Hidráulicas

LAGAM: Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental

LIDAR: *Light Detection and Ranging*

LST: *Laser Scanner* terrestre

MDE: Modelo Digital de Elevação

MDT: Modelo Digital do Terreno

METROPLAN: Fundação Metropolitana de Planejamento

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index*

NDPI: *Normalized Difference Pond Index*

NDWI: *Normalized difference water index*

NIR: Reflectância correspondente à banda do infravermelho próximo

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

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SRTM: *Shuttle Radar Topography Mission*

SWIR: Reflectância correspondente a banda do infravermelho médio

SVLT: Sistema de varredura “*Laser*” terrestre

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UP: Unidades de Paisagem

VLST: Varredura por “*laser scanner*” terrestre

WLs: *Wetlands*

APRESENTAÇÃO

Esta dissertação apresenta três linhas investigativas referentes à Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) na bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG) e suas Áreas Úmidas (AUs), sendo elas: (a) a análise física da Bacia para a classificação das suas AUs; (b) as questões de impacto ambiental e evolução do processo erosivo na área do banhado; (c) as técnicas para o monitoramento da erosão em forma de voçoroca.

A dissertação está organizada em formato de artigos. O primeiro capítulo contém a apresentação da área de estudo e os objetivos deste trabalho.

O capítulo 2 (artigo 1) traz as análises das características físicas da APABG/BHRG, que possibilitaram a distinção entre dois tipos de AUs: Unidade de paisagem Turfeira e a Unidade de paisagem Ribeirinha. Essa diferenciação pode proporcionar um adequado plano de manejo, visando o planejamento do uso racional destes ambientes.

O capítulo 3 (artigo 2) aborda a evolução temporal da voçoroca no banhado da APABG entre os anos de 2003 e 2015. Este artigo foi submetido à revista inglesa *Journal of Maps*, em 26 de junho de 2017 na categoria de artigo original.

O capítulo 4 (artigo 3) apresenta as ferramentas para o monitoramento da voçoroca (estaqueamento, imagens de satélite e o *laser scanner* terrestre), para auxiliar no diagnóstico do processo de erosão no banhado Grande, visando contribuir com o propósito de proteger e recuperar as AUs da BHRG.

Por fim, as considerações finais das relações pertinentes aos artigos sobre a APABG/BHRG são expostas no capítulo 5.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Edward, Mike e Duncan (1997), historicamente, as Áreas úmidas (AUs) eram vistas como locais que deviam ser saneados, associados a pântanos viscosos e que abrigavam doenças. Esta ideia levou a drenagem e a conversão de importantes AUs em locais para agricultura intensiva, aquicultura, indústria e habitação. No entanto, nos últimos anos, há maior consciência de que as AUs naturais desempenham importantes funções, como mitigar inundações, recarga de aquíferos e retenção de poluentes.

Atualmente é expressivo o número de países que adotaram políticas de contenção a destruição ou degradação das AUs, reconhecendo que estas áreas devem ser utilizadas de forma sustentável, incentivar pesquisas que qualifiquem e quantifiquem seus valores, destacando a importância de sua preservação (EDWARD, MIKE e DUNCAN, 1997).

Segundo a proposta da convenção Ramsar, realizada no Iran em 1971, a definição de AUs descreve estes ambientes como:

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).

De acordo com Covington *et al.* (2003) AUs podem ser definidas como terras com predominância de solo hídrico; inundado ou saturado por água de superfície ou subterrâneas a uma frequência e duração suficiente para suportar uma vegetação adaptada a condições de solo saturado.

Banhado é uma denominação típica do Rio Grande Sul, de terminologia em espanhol *bañado*, e é um tipo de área úmida. Os banhados formam-se onde a água doce é represada e flui lentamente, sendo que a água que abastece os banhados provém de corpos hídricos próximos, como lagoas, lagunas, rios e/ou dos afloramentos do lençol freático e das precipitações pluviométricas (BURGER, 2000; CARVALHO e OZORIO, 2007). Segundo o Código

Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (Lei Nº 12.995), os banhados são extensões de terras normalmente saturadas de água onde se desenvolvem fauna e flora típicas.

Os banhados constituem uma entre as diversas tipificações das AUs. Sua importância, entre outras, vincula-se à função de controle de vazão das águas superficiais dos corpos hídricos aos quais estão associados (LEITE e GUASSELLI, 2013).

As AUs de transição entre os ambientes terrestres e marítimos, contêm uma elevada diversidade de paisagem e micro-habitat e diversidade biológica. As lagoas costeiras e os banhados são ambientes únicos de formações botânicas para populações de aves aquáticas, incluindo espécies ameaçadas de extinção e importantes populações de aves migratórias (PEZZANI, 2007).

Nos rios, as diferenças temporárias na velocidade e duração do fluxo da água e do transporte de materiais geram fases positivas e negativas: (a) a fase positiva trata da inundação dos corpos de água como (lagos, banhados e meandros abandonados) que se interligam pelo fluxo do rio; (b) a fase negativa trata do período de seca - envolvendo o fluxo de material para o rio e o gradual isolamento dos corpos de água até uma nova fase de inundação. O padrão de variabilidade dessas fases numa sequência temporal, em determinado ponto e seção do rio, compõe o pulso de inundação (NEIFF, 1999).

Considerando os atributos hidrogeomorfológicos, o regime hidrológico próprio de cada bacia hidrográfica, através da caracterização dos pulsos de inundação e dos níveis de conectividade, permite delinear e classificar as AUs (SIMIONI, 2017).

Além da vegetação e da hidrologia, a pedologia é um importante componente físico na definição das AUs. A partir de informações da profundidade do solo, da composição mineral, do teor de matéria orgânica, do regime de umidade, do regime de temperatura e da química dos solos é possível relacionar a ocorrência de espécies de plantas e de organismos que aderem ao solo. Segundo alguns autores, é essencial considerar o solo na classificação das AUs

(COWARDIN *et al.*, 1979; BENZAQUEN *et al.*, 2013), além da caracterização do clima e a sua influência nos solos (BASTERRA, VALIENTEA e PELLEGRINO, 2013) e a ocorrência dos solos hidromórficos (ACEÑOLAZA *et al.*, 2005).

Na década de 1970 o Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) executou um projeto de drenagem que canalizou parte do rio Gravataí, com objetivo de viabilizar a ampliação das áreas de cultivo de arroz, em áreas ocupadas por banhados e, portanto, sujeitas periodicamente a inundações (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013). A construção do canal foi interrompida pelo DNOS, mas uma série de canais secundários foi construída de forma independente pelos arroteiros locais, ampliando o canal em direção ao Banhado Grande (IPH, 2010; BRENNER, 2016).

A análise da vazão do rio Gravataí, pré e pós retificação, mostra uma redução do tempo de concentração das águas na bacia, afetando a função e a dinâmica de inundação do Banhado Grande (BELLOLI, 2016; BRENNER, 2016). Com a dinâmica local comprometida, também vem ocorrendo um processo erosivo acelerado. A abertura do canal de drenagem para o arroz (ETCHELAR, 2014).

Uma comparação entre a área inundável na década de 1970 e um evento de inundação em 2009, mostra significativa diferença na área inundável na BHRG. Essas diferenças se dão pelas mudanças derivadas da urbanização na planície de inundação e das obras como os diques de contenção (SCHERER, 2014).

A ação antrópica que mais contribui para a degradação dos banhados é o cultivo de arroz irrigado, através da drenagem das áreas, do uso de agrotóxicos e fertilizantes, da retirada de água para as lavouras e o retorno dessas águas com os resíduos para os sistemas naturais (BRASIL, 2002). O arroz constitui a principal lavoura da região, cujo cultivo irrigado ocupa áreas naturalmente alagáveis (DIEGUES, 2002). Além de destruir e fragmentar habitats, esse cultivo requer um volume expressivo de água para irrigação e o emprego sistemático de adubos,

inseticidas e herbicidas, impactando substancialmente os ecossistemas naturais (DIAS e BURGER, 2005).

Conforme Belloli (2016) a área de arroz irrigado na BHRG cresceu 116% entre as safras de 1984/85 e 2015/16. Esse crescimento está associado ao aumento dos impactos que acompanham o desenvolvimento da produção, com a descaracterização da paisagem através da substituição da cobertura vegetal natural por talhões de arroz (ETCHELAR, GUASSELLI e BELLOLI, 2014).

É importante salientar que a produção de arroz irrigado na BHRG com o manejo adequado torna esta cultura, a mais indicada para esta área. Estudo da biodiversidade das culturas de arroz no Rio Grande do Sul, indica que há riqueza de plantas aquáticas, macroinvertebrados e anfíbios existentes nos arrozais e estes representam uma parcela significativa da diversidade total de espécies encontradas nas AUs dessa região (MALTCHIK *et al.*, 2010). Assim, a produção do arroz de sequeiro, o cultivo de soja que vem aumentando na região, ou outras culturas agrícolas seriam produções que impactariam a dinâmica dos ciclos de inundação destas AUs.

À medida que a conscientização sobre os serviços ecossistêmicos das AUs cresce, também aumenta o interesse público para a sua proteção. Entre os propósitos fundamentais da classificação das AUs está a melhoria na gestão dos recursos naturais. Ao entender melhor os seus atributos funcionais, é provável que a sociedade gerencie as suas AUs buscando a melhoria do manejo destes ambientes (BRISON, 2004; MITSCH e GOSSELINK, 2015).

A APABG/BHRG tem recebido atenção dos gestores ambientais em função da falta de água e de sua baixa qualidade, pelos riscos às comunidades ribeirinhas nas inundações que ocorrem nas terras baixas e pela degradação de suas AUs pelos processos erosivos (SILVA, 2016).

Estudos que empregam sensoriamento remoto como índices de vegetação e de conteúdo de água e análise de séries temporais de imagens, em conjunto com técnicas de geoprocessamento de modelagem e cruzamento de informações, são importantes ferramentas de levantamentos, de planejamento e gestão de AUs. Além disso essas ferramentas possibilitam a aquisição de informações em ambientes com difícil acesso ou acesso restrito em determinadas épocas do ano, como em períodos de grandes pulsos de inundação.

1.1 JUSTIFICATIVA

É amplamente aceito que as AUs têm uma influência significativa no ciclo hidrológico, tornando-se, portanto, elementos importantes na política de gestão de água a nível nacional, regional e internacional. Há muitos exemplos onde as AUs aumentam a recarga das águas subterrâneas e reduzem as inundações (BULLOCK e MIKE, 2003).

A APABG é uma área úmida de relevância socioambiental, inserida na região metropolitana de Porto Alegre, mas que a partir da década de 1970 vem sofrendo intenso processo de degradação. Os possíveis impactos decorrentes de sua degradação, como o aumento da ocorrência de inundações a jusante da bacia, e a escassez de água no verão, associada à irrigação do arroz, e à descaracterização dos ambientes associados às AUs requerem estudos que averiguem a sua importância.

Em 1998 foi criada a APABG através do Decreto Estadual nº 38.971 (RIO GRANDE DO SUL, 1998), com a finalidade de preservar as AUs da bacia do Gravataí e conciliar o uso sustentável da região. Os objetivos consistem em:

- I - preservar o conjunto de banhados conhecidos pelos nomes de Banhado do Chico Lomã, Banhado dos Pachecos e Banhado Grande; II - compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos ecossistemas naturais ali existentes; III - conservar o solo e os recursos hídricos, com a implementação de estratégias de gerenciamento em nível de bacia; IV - recuperar as áreas degradadas com vista à regeneração dos ecossistemas naturais; V - contribuir para a otimização da vazão do rio Gravataí; VI - proteger a flora e a fauna nativas, principalmente as

espécies da biota, raras, endêmicas, ameaçadas ou em perigo de extinção; VII - proteger os locais de reprodução e desenvolvimento da fauna e da flora nativa para proteger o conjunto de banhados (RIO GRANDE DO SUL, 1998, p. 3).

Um dos impactos decorrentes da retificação do canal do rio Gravataí foi a formação de uma voçoroca localizada ao sul do Banhado Grande, além dos processos erosivos do canal de drenagem. Logo:

A análise dos valores de vazão do rio Gravataí para os períodos pré-retificação (1940 a 1970) e pós-retificação (1970 a 2009), demonstra a redução do tempo de concentração das águas na bacia, evidenciando que a canalização do rio Gravataí afetou o seu regime. Afetou também a função e a dinâmica de inundação do Banhado Grande. Trouxe consequências para a biota adaptada a essa dinâmica e, em longo prazo, para a população da bacia, contribuindo para o agravamento das estiagens e inundações a jusante. Com a dinâmica local comprometida, também vem ocorrendo um processo erosivo acelerado no Banhado Grande (BELLOLI, 2016, p. 73).

A renaturalização de um trecho do rio Gravataí, conforme propôs Brenner (2016) diminuiria a vazão do rio e conseqüentemente amorteceria o rápido processo erosivo, além de ser uma alternativa sustentável e de baixo custo para mitigação dos impactos de obras de retificação não cimentadas, como o caso do rio Gravataí.

O monitoramento e o diagnóstico das erosões, através das análises das características físicas da bacia e do uso de geotecnologias pode fornecer subsídios para a correta estabilização das voçorocas e auxiliar no impedimento de sua evolução. Segundo Almeida-Filho (2015) técnicas como a estabilização das voçorocas pode ser realizada por sistemas de barragens escalonadas na sua calha, o que permite a diminuição da declividade do fundo do talvegue e a estabilização do leito pelo assoreamento.

Além disso, novas ferramentas, como o “Laser Scanner” 3D, possibilitam a obtenção de informações de forma tridimensional da paisagem. É uma alternativa de aquisição de dados de forma fidedigna, permitindo o reconhecimento de feições e mensurando os processos erosivos a serem estudados.

Assim, dada a criação da APABG, existe a necessidade de se avaliar a delimitação das AUs existentes, buscando contribuir na definição de áreas de preservação, o que implica na análise integrada de elementos construtivos na delimitação de compartimentos, com diretrizes e proposições de disciplinamento, e da elaboração do Plano de Manejo buscando a sua gestão e conservação.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta dissertação é analisar as AUs na BHRG a partir das características físicas, da análise dos impactos antrópicos e de técnicas de monitoramento deste ecossistema, utilizando sensoriamento remoto e o geoprocessamento.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para responder o objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Delimitar as AUs existentes na APABG/BHRG a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento;
- b) Analisar a evolução temporal da voçoroca, na área de banhado da APABG entre os anos de 2003 e 2015;
- c) Identificar técnicas para monitoramento dos processos erosivos no Banhado Grande com vistas ao diagnóstico para recuperação das áreas de banhado.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

A BHRG, Figura 1.1, em sua porção central, tem uma área úmida constituída por um conjunto de ecossistemas de banhados, matas paludosas e campos inundáveis, denominado Sistema Banhado Grande (MENEGETTI, 1998), que desempenha importante função na hidrodinâmica desse manancial e apresenta grande diversidade biológica (FZB, 1976).

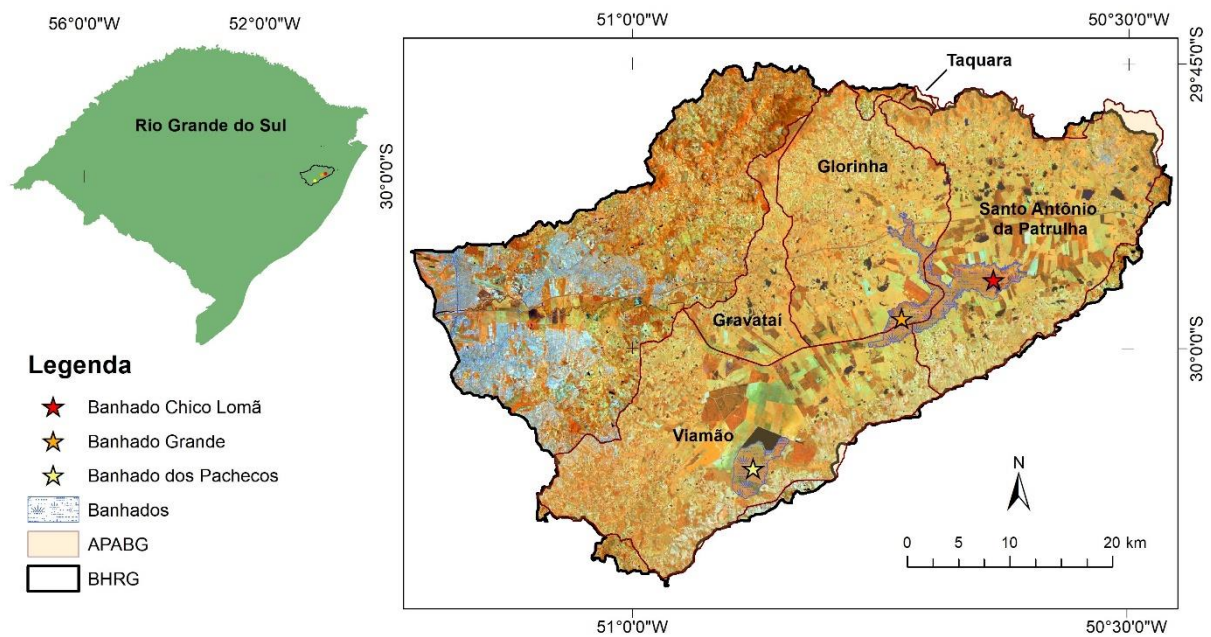


Figura 1.1. Imagem do satélite Landsat TM5 (1994), composição colorida falsa cor, da localização da APABG/BHRG. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

A APABG abrange parte dos biomas Pampa e Mata Atlântica e ocupa 2/3 da BHRG com 136.935,00 ha. A vegetação original é, predominantemente, de banhados e matas de restinga. O Banhado Grande, situado entre a Serra Geral e a Coxilha das Lombas e constitui como um sistema regulador da vazão do rio Gravataí (BACKES, 2012).

As AUs da APABG constituem um importante refúgio e local de reprodução de espécies como o jacaré-do-papo-amarelo (*Caiman latirostris*), cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*), curiango-do-banhado (*Eleothreptus anomalus*), etc. Além de ser indicada como

de importância para conservação global de aves aquáticas e como ponto de parada ou passagem para aves migratórias, Figura 1.2 (ACCORDI, 2003; BURGER e RAMOS, 2007).



Figura 1.2. Marrecos sobrevoando o rio Gravataí - junho de 2015. **Fotografia de:** Etchelar, C. B.

As chuvas na bacia se concentram na região dos patamares da serra, na área centro norte, sobre as nascentes do Arroio Demétrio, um importante afluente do rio Gravataí. Outro ponto onde se concentram os maiores índices de precipitação é a Área de Preservação Ambiental Parque Saint Hilaire, na divisa dos municípios de Porto Alegre e Viamão. Segundo Rossato (2011), esta região sofre influência do relevo, a continentalidade e da maritimidade, onde os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações. Este relevo proporciona chuvas convectivas sobre as áreas altas, consideradas zonas de recarga do aquífero Botucatu.

O rio Gravataí possui um regime hidrológico peculiar e complexo. Recebe água apenas das vertentes, alimentadas pela chuva e pelos riachos formados por essas. Não há nenhum afluente de porte. Além disso, as terras da bacia são baixas e planas, com desníveis muito

suaves. Esses fatores, junto com ventos do Sul represam as águas do Guaíba e as ondas de cheia de seus maiores afluentes (rio Jacuí e Sinos) provocam um escoamento muito lento de suas águas e constantes inversões de seu fluxo (IPH, 2002; RUBBO, 2004).

O regime hídrico do rio Gravataí apresenta seus maiores valores de vazão nos meses de julho, agosto e setembro, meses de grande quantidade de chuva na bacia. Os meses de valores da vazão mais baixos, são os de verão, em especial janeiro, fevereiro e março (MELLO, 1998; IPH, 2002; LEITE, 2011).

Na área da APABG existe uma grande área plana e alagadiça, formada por três banhados (Grande, dos Pachecos e Chico Lomã), denominado Sistema Banhado Grande (Figura 1.3), é delimitado pela cota altimétrica de 20m (Accordi e Hartz 2006). Essa planície tem em média 45 km de comprimento e 10 km de largura. Cerca de 30% da área da BHRG é plana ou com pequena declividade, incluindo-se os banhados, os terraços adjacentes e os vales (IPH, 2002).

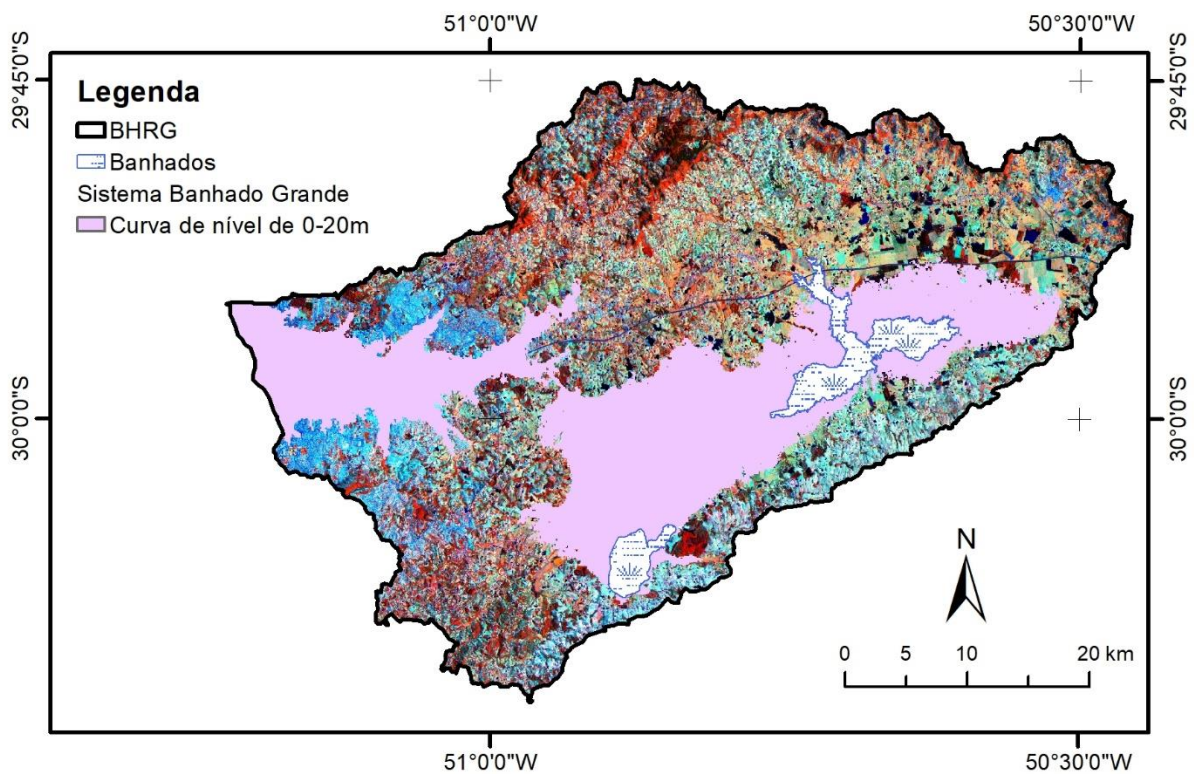


Figura 1.3. Imagem do satélite Landsat TM5 (1994), composição colorida falsa cor, BHRG e Sistema Banhado Grande, cota altimétrica de 0-20m. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

O Banhado Grande é um regulador natural do fluxo do rio Gravataí, pois funciona como "esponja" que amortece os picos de cheias provocadas pelas enxurradas de precipitação, acumula água durante as épocas de enchentes e libera durante os períodos de estiagens (IPH, 2002; RUBBO, 2004).

Segundo Simioni (2017) a ocorrência de pulsos de inundação, associados a chuvas superiores a 247 mm, cria uma extensa área de conectividade entre a planície de inundação do rio Gravataí e o corredor que liga o banhado Grande ao banhado dos Pachecos, formando um triângulo entre os diferentes compartimentos geológicos/geomorfológicos. Ocorrem dois tipos de conectividade: *wetlands-wetlands connectivity*, permitindo interações entre ambientes com depósitos paludiais e de fundo lagunar; e *wetlands-stream connectivity*, interligando os depósitos aluvionares e de planície de inundação do rio Gravataí com os de fundo lagunar e paludiais (SIMIONI, 2017).

Por estar parte inserida no bioma Pampa, a APABG/BHRG é um dos ecossistemas brasileiros que vem sofrendo historicamente com a antropização das áreas naturais, principalmente pela atividade pecuária que vem desde alguns séculos com o processo de colonização, onde a degradação ambiental da paisagem se dá em diferentes tempos históricos (SILVA, 2016).

De acordo com Scherer (2014), a expansão das áreas urbanas dos municípios de Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Gravataí e Porto Alegre (Figura 1.4), no período entre 1975, 1984 e 2009, causou a redução espacial das áreas inundáveis na BHRG, alterando os limites atingidos pela inundação e a evolução urbana sobre a planície de inundação. A área inundável recuou consideravelmente em comparação ao seu alcance natural, pois os diques construídos para conter as cheias alteraram os limites de inundação e favoreceram ao crescimento urbano sobre a planície de inundação do rio Gravataí.

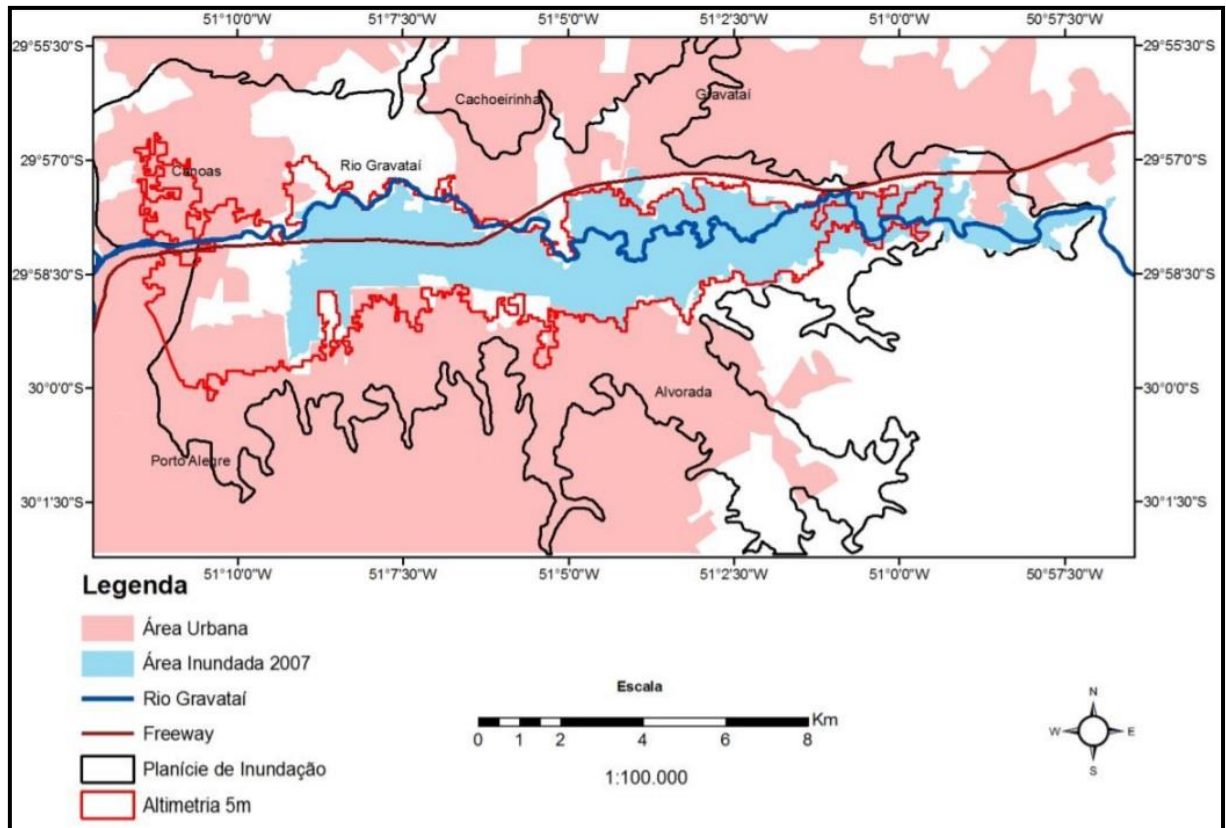


Figura 1.4. Expansão das áreas urbanas dos municípios de Alvorada, Cachoeirinha, Canoas, Gravataí e Porto Alegre. **Elaborado:** Scherer (2014).

1.4 Referencial Teórico

Esta dissertação utiliza técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como ferramentas fundamentais na geração de informações para compreender e analisar as AUs da APABH/BHRG.

1.4.1 Utilização de produtos satelitais

O reconhecimento de padrões nas imagens digitais é fundamental no monitoramento ambiental. Permite a identificação e classificação de tipos fisionômicos, tais como elementos da cobertura vegetal, corpos d'água, solos, áreas agrícolas, áreas antropizadas e áreas degradadas. O sensoriamento remoto facilita o monitoramento dos recursos, auxiliando na

conservação e gerenciamento, além da importância de inventariar e monitorar as AUs (OZESMI e BAUE, 2002).

Segundo Jensen (2011) a interação que acontece entre os dosséis vegetais e a energia eletromagnética no processo da fotossíntese está relacionada diretamente com a forma de registro dessas fisionomias pelos instrumentos de sensoriamento remoto. Cada fisionomia vegetal tem sua característica e estrutura e, responde de forma diferente à disponibilidade dos componentes envolvidos no processo de fotossíntese.

A reflectância espectral da vegetação, é mais elevada nos intervalos de comprimento de onda entre 0,6 e 1,2 μm , correspondente à faixa da onda do vermelho e infravermelho próximo. De acordo com Lillesand e Kiefer (1994), nesse intervalo, a vegetação reflete cerca de 40 a 50% da energia incidente. Assim, índices de vegetação como o NDWI e NDVI se mostram eficazes na aquisição de informações de AUs (KAVYASHREE e RAMESH, 2016).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI, sigla em inglês) proposto por Rouse *et al.* (1974) tem sido amplamente utilizado em estudos sobre o vigor da vegetação. Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, no qual valores negativos indicam a presença de água e valores maiores que 1 indicam vegetação. Este índice utiliza as bandas do vermelho e a banda do infravermelho próximo. A banda do vermelho está localizada na região de absorção da clorofila, enquanto o infravermelho possui alta reflectância na copa da vegetação (JENSEN, 2011).

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red}) \quad (1)$$

Em que: NIR é o valor de reflectância na banda do infravermelho próximo; Red é o valor de reflectância na banda do vermelho.

O Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI, sigla em inglês) desenvolvido por Gao (1996) é outro importante índice de vegetação, altamente correlacionado com o conteúdo de água na cobertura vegetal. O NDWI permite acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação, através de operações aritméticas com as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio (JENSEN, 2011). O NDWI varia entre -1 e 1, em que valores negativos indicam uma cobertura sem presença de água, e positivos apresentam um alto teor de umidade. McFeeters (1996) definiu o NDWI para identificar águas abertas, substituindo a banda do vermelho pela banda do verde.

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{Green}) / (\text{NIR} + \text{Green}) \quad (2)$$

Em que: NIR = valor de reflectância na banda do infravermelho próximo; Green = valor de reflectância na banda do verde.

Segundo Guasselli (2005) em AUs, análises de séries temporais se mostram adequadas para caracterizar padrões de variação temporal de NDVI da cobertura de macrófitas. O que permite estabelecer relações entre padrões de lâmina de água, classes de cobertura de macrófitas, classes de NDVI e das variações da estrutura de fundo.

Através da interpretação visual das imagens de satélite, possíveis alterações nos padrões hidrológicos e de vegetação podem ser identificadas, interpretadas e mapeadas (GUASSELLI, 2005). Tal interpretação torna-se necessária, pois somente a classificação digital das imagens pode provocar confusão na interpretação dos padrões apresentados, tendo em vista à mistura das respostas espectrais da água e da vegetação de macrófitas em um mesmo padrão (MALTBY, HOGAN e MCINNES, 1996; LEITE, 2011).

Entretanto, quando as áreas úmidas possuem uma cobertura de vegetação relativamente mais densa, podem ser influenciadas por esta, sendo caracterizadas por maiores valores de

reflectância na banda verde e na banda do infravermelho distante, utilizadas na operação do Índice de Diferença Normalizada de Corpos de água (NDPI). O que pode dificultar a determinação das áreas totais da classe “muito úmido” (KUMAR, 2015; BITTENCOURT e GUASSELLI, 2017).

O tratamento de imagens depende do acesso às imagens e às técnicas de reconhecimento de padrões e geração de mosaicos contendo múltiplas imagens. Atualmente, várias imagens de satélite podem ser acessadas livremente, como as imagens da série *Landsat*, *Cbers*, *ResourceSat* e as imagens de relevo digital *SRTM* e *Aster v2*, além das imagens disponibilizadas no *Google Earth* (GUIMARÃES, PIMENTA e LANDAU, 2012).

O *Google Earth* permite o acesso a imagens de forma gratuita. Além da disponibilização de imagens de toda superfície terrestre. Um dos grandes recursos do programa *Google Earth*, é a disponibilidade de uma série temporal de imagens de uma mesma localidade. De acordo com a quantidade de imagens disponíveis e a série temporal englobada pelas mesmas, é possível fazer um diagnóstico regressivo de um processo erosivo, indicando a dinâmica, a velocidade e a tendência de evolução, permitindo, portanto, prognósticos (NASCIMENTO *et al*, 2013). Para Kavyashree e Ramesh (2016) séries temporais de imagens são úteis para estudar o uso da terra e a detecção de mudanças da cobertura terrestre e com isso, as mudanças de AUs.

O *Google Earth Pro* demonstrou-se uma boa ferramenta para a obtenção de imagens de alta resolução espacial. Os mosaicos gerados da área do Banhado Grande entre os anos de 2003 a 2015, foram gerados a partir da série temporal disponível na plataforma, atingindo o propósito de mapear o processo evolutivo da voçoroca estudada.

1.4.2 Laser Scanner Terrestre (LST)

Já o diferencial do uso de “Laser Scanner” Terrestre (LST) está na capacidade de visada a partir do corpo d’água. Esta mudança na geometria de visada permite a geração de diversos produtos, como modelos de superfície, perfis topográficos do barranco, extração das linhas de crista, identificação da formação de processos erosivos subsuperficiais (*piping* ou dutos), quantificação do volume erodido, entre outros, que seriam de difícil obtenção por outras técnicas de levantamento (MORAES, 2016).

Uma das lacunas de dados em ambiente fluvial é causada pela presença de água, que absorve a maioria dos raios laser do infravermelho próximo. Neste caso, para uma modelagem total da voçoroca que incluiria o fundo do canal, deve se associar o uso de um sonar para batimetria do fundo do canal. Exemplo da varredura realizada no talude da voçoroca na perspectiva da seção transversal do canal (Figura 1.5).

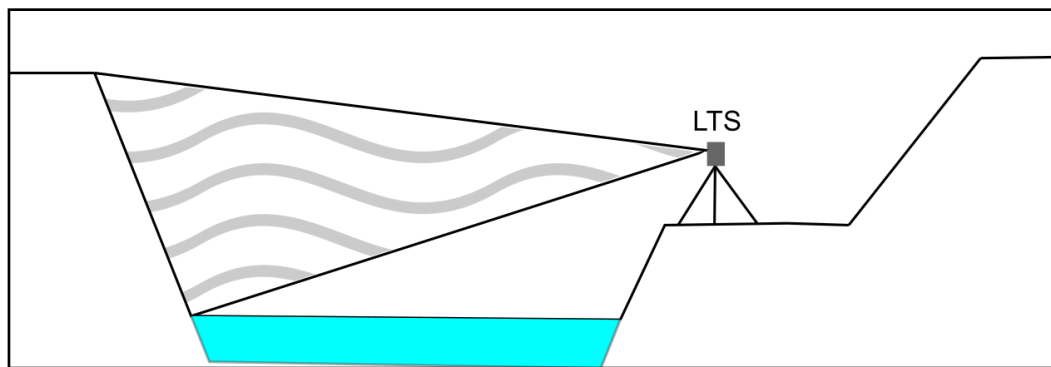


Figura 1.5. Representação da varredura com LST em recorte de perfil do canal da voçoroca, com a presença hídrica no fundo do canal. **Elaborado por:** Etchelar, C. B.

Alguns conceitos relacionados à manipulação do equipamento de LST são úteis para um melhor entendimento da ferramenta. O “escaneamento” significa o processo que o sistema representa virtualmente o alvo escolhido, onde cada medida adquirida individualmente do alvo resulta em um ponto com coordenadas x , y e z . Com a reunião de todos os pontos obtidos ao final do escaneamento, o resultado é uma nuvem de pontos para a base da modelagem

tridimensional de superfícies. Uma “cena” é o resultado de um único escaneamento, a partir de uma estação de coleta de dados pré-estabelecida pelo operador, onde fica posicionado o “laser scanner”, representado por uma nuvem de pontos 3D (NUNES, 2013).

O LST de posição fixa oferece um alto potencial para o mapeamento 3D de áreas menores com alto detalhe, uma precisão de intervalo de até 1-2 mm e uma velocidade de varredura de até 1m pontos por segundo. O princípio do LST envolve exames de raios laser altamente colimados sobre um ângulo sólido predefinido em um padrão de varredura regular e a medição do tempo *offlight* do sinal laser. O potencial da varredura a laser terrestre pode ser combinando simultaneamente a imagens digitais (HOHENTHAL *et al*, 2011).

A partir da varredura por LST pode-se realizar o cálculo volumétrico e estimar perdas de solo (JAMES, WATSON e HANSE, 2007; EUSTACE, PRINGLE e WITTE, 2009). Em estudo realizado por Ramos (2010) em voçorocas com o uso de LST, foi gerado a partir da nuvem de pontos um modelo digital de elevação com alta resolução espacial, em células de 10 cm x 10 cm, e obtido a área, volume e curvas de nível da voçoroca. A partir das curvas de nível no módulo *Hidrology* do programa *Arcview* foram identificadas a direção do fluxo pluviométrico e o fluxo acumulado, tornando possível verificar a presença de áreas mais susceptíveis a serem erodidas.

1.5 REFERÊNCIAS

- ACCORDI, I. A. 2003. **Estrutura espacial e sazonal da avifauna e considerações sobre a conservação de aves aquáticas em uma área úmida do Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dissertação de mestrado em ecologia. 171p.
- ACCORDI, I. A. e HARTZ S. M. 2006. Distribuição espacial e sazonal da avifauna em uma área úmida costeira do sul do Brasil. **Revista de Ornitologia**, v.14, p. 117-135.
- ACEÑOLAZA, P.; SIONE, W. F.; KALESNIK, F e SERAFINI, M. C. 2005. Determinación de unidades homogéneas de vegetación en el Parque Nacional Pre-Delta (Argentina). **INSUGEO, Miscelánea**, v. 14, p. 81-90.

ALMEIDA-FILHO, G. S. 2015. Controle de erosão. **Fundações & Obras Geotécnicas**, v. 5, p. 66-77.

BACKES, A. 2012. Áreas protegidas no estado do Rio Grande do Sul: o esforço para a conservação. **Pesquisas Botânicas**, v. 63, p. 225-355.

BULLOCK, A. e MIKE, A. 2003. O papel das zonas húmidas no ciclo hidrológico. **Hidrologia e Ciências do Sistema da Terra Discussões**. p. 358-389.

BASTERRA, N. I.; VALIENTE, M. A. e PELLEGRINO. 2013. **In: BENZAQUÉN, L.; BLANCO, D. E.; BÓ, R.; KANDUS, P.; LINGUA, G. F.; MINOTTI, P.; QUINTANA, R. D.; SVERLIJ, S. e VIDAL, L. 2013. Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de umedales del corredor fluvial Paraná-Paraguay. 1a ed. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 103-112 p.**

BELLOLI, T. F. 2016. **Impactos ambientais decorrentes da produção orizícola, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande - RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 80 p.

BENZAQUÉN, L.; BLANCO, D. E.; BÓ, R.; KANDUS, P.; LINGUA, G. F.; MINOTTI, P.; QUINTANA, R. D.; SVERLIJ, S. e VIDAL, L. 2013. **Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de umedales del corredor fluvial Paraná-Paraguay. 1a ed. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 381 p.**

BITTENCOURT, D. Z. e GUASSELLI, L. A. 2017. Dinâmica de Inundação do Banhado a partir do índice NDPI, Reserva Biológica de São Donato – RS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 33, p. 85-96.

BRASIL. 2002. Ministério do Meio Ambiente. **Biodiversidade Brasileira: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF. 404 p.

BRENNER, V. C. 2016. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 94 p.

BRINSON, M. M. 2004. Conceptos y desafíos de la clasificación de humedales. **In: MALVÁREZ, A. I. e BÓ, R. F. Documentos del curso-taller: “Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina”, p. 25-36.**

BURGER, M. I. 2000. **Situação e ações prioritárias para conservação de banhados e áreas úmidas da Zona Costeira**. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/327822-Situacao-e-acoes-prioritarias-para-a-conservacao-de-banhados-e-areas-umidas-da-zona-costeira.html>> Acesso em: 10 Julho 2016.

BURGER, M. I. e RAMOS, R. A. 2007. Áreas importantes para a conservação na planície costeira do Rio Grande do Sul. **In: BECKER, R. A.; RAMOS, L. A. e MOURA, L. A. Biodiversidade do Rio Grande do Sul: regiões da lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul. Brasília, p. 46-58.**

CARVALHO, A. B. P. e OZÓRIO, C. P. 2007. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v.1, p. 83-95.

COVINGTON, P.; GRAY, R.; HOAG, C.; MATTINSON, M.; TIDWELL, M.; RODRIGUES, P. e WHITED, M. 2003. **Wetland Restoration, Enhancement, and Management**. Wetland Science Institut, Pensilvânia, p 375.

COWARDIN, L.; CARTER, V.; GOLET, F. C. e LaROE, E. T. 1979. **Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States**. US Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 142p.

DIAS, R. A. e BURGER, M. I. 2005. A Assembleia de aves de áreas úmidas em dois sistemas de cultivo de arroz irrigado no extremo sul do Brasil. **Ararajuba**, v.13, n.1, p.63-80.

DIEGUES, A. C. S. 2002. **Povos e águas: Inventário de áreas úmidas**. 2 ed. Núcleo de apoio à pesquisa sobre populações humanas e áreas úmidas. São Paulo: USP, 597p.

EDWARD, B. B.; MIKE, A. e DUNCAN, K. 1997. Valoración económica de lós humedales, Guia para decisores y planificadores. **Oficina de La convencion de Ramsar**. p. 155.

EUSTACE, A.; PRINGLE, M. e WITTE, C. 2009. Give Me the Dirt: Detection of Gully Extent and Volume Using High-Resolution Lidar. **In: JONES, S. e REINKE, K. Innovations in Remote Sensing and Photogrammetry**. Springer. p. 255-269.

ETCHELAR, B. C. 2014. **Análise do Processo Erosivo no Banhado Grande, APA do Banhado Grande, Município de Glorinha – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 72 p.

ETCHELAR, C. B.; GUASSELLI, L. A. e BELLOLI, T. F. 2014. Erosão no Banhado Grande, bacia hidrográfica do rio Gravataí –RS. **Anais... 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, MS. p. 584 -592.

FZB. Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. 1976. **Preceituação ecológica para preservação dos recursos naturais da região da Grande Porto Alegre**. 1976. Porto Alegre: Sulina. 153p.

GAO, B. C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation of liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, n. 3, p. 257-266

GUASSELLI, L. A. 2005. **Dinâmica da Vegetação no Banhado do Taim, RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 157 p.

GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C. B. e BELLOLI, T. F. 2013. 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, INPE**. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 447-452.

GUIMARÃES, D. P.; PIMENTA, F. M. e LANDAU, E. C. 2012. A integração google earth-sig-servidor de mapas e o monitoramento ambiental. **Circular Técnica 183**. Sete Lagoas: EMBRAPA Minas Gerais, 20p.

HOHENTHAL, J.; ALHO P.; HYYPPA, J. e HYYPPA, H. 2011. Laser scanning applications in fluvial studies. **Progress in Physical Geography**, 1-28p.

- IPH. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2002. **Identificação das alternativas possíveis e prováveis para a regularização das vazões do rio Gravataí**. Cap. 7. Porto Alegre: UFRGS, p. 207.
- IPH - instituto de pesquisas hidráulicas. 2010. **Estudo do processo erosivo em área de banhado na bacia hidrográfica do Rio Gravataí**. Porto Alegre: UFRGS, 43p.
- JAMES, L. A.; WATSON, D. G. e HANSEN, W. 2007. Using LiDAR data to map gullies and headwater streams under forest canopy: South Carolina, USA. **Catena**, v. 71, p. 132-144.
- JENSEN, J. R. 2011. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parênteses, 2a. Ed.598p.
- KAVYASHREE, M.P. e RAMESH, H. 2016. Wetland Mapping and Change Detection Using Remote Sensing and GIS. **IJEST, International Journal of Engineering Science and Computing**. v.1, n.8, p. 2356- 2359.
- KUMAR, M. C. V. S. S. 2015. **Automatic extraction of water features at multiple scales**. Dehradun: Master of Technology in Remote Sensing and GIS, Indian Institute of Remote Sensing, 92 p.
- LEITE, M. G. 2011. **Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação no Banhado Grande, Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, RS**. Porto Alegre: UFRGS. 96p.
- LEITE, M. G. e GUASSELLI, L. A. 2013. Dinâmica espaço-temporal das macrófitas aquáticas no Banhado Grande, bacia hidrográfica do Rio Gravataí, RS. **Para Onde!?**, v. 7, n. 1, p. 17-24.
- LILLESAND, T. M. e R. V. KIEFER. 1994. **Remote sensing and image interpretation**, 3 ed. New York: John M'ilev & Sons, 750 p.
- MALTBY, E.; HOGAN, D. V. e MCINNES, R. J. 1996. **Funcional analysis of european wetland ecosystems**. Phase 1. FAESE. Final report to european commission EC DG XIII, Bussels.
- MALTCHIK, L.; STENERT, C.; Rolon, A. S.; MACHADO, I. F. e GUADAGNIN, D. L. 2010. Diversidade em áreas úmidas: lavouras de arroz podem proteger organismos aquáticos no sul do Brasil. **Ciência Hoje**, v. 45, p. 29-33.
- MCFEETERS, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water feature. **International Journal of Remote Sensing**. vol. 17, n.7, p. 1425-1432.
- MELLO, L. P. 1998. **Percepção da paisagem e conservação ambiental no Banhado Grande do Rio Gravataí (RS)**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado em Geografia, 365p.
- MENEGHETTI, J. O. 1998. Lagunas uruguayas y sur de Brasil. **In: CAVERNARI, P.; DAVIDSON, I.; BLANCO, D.; CASTRO, G. e BUCHER, E. (Ed.)**. Los humedales de América do Sul: uma agência para a conservação da biodiversidade e políticas de desarrollo. Buenos Aires: Wetlands International.

MITSCH, W. J. e GOSSELINK, J. G. 2015. **Wetlands**. Fifth ed. New Jersey: Hoboken John Wiley & Sons Inc., 456 p.

MORAES, M. V. A. 2016. **Monitoramento e avaliação de processos erosivos marginais em reservatórios de usinas hidrelétricas por meio de varredura a laser**. Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dissertação de mestrado em Ciências Cartográficas. 96 p.

NASCIMENTO, D. T. F.; ROMÃO, P. A.; SILVA, S. B.; SALES, M. M.; VARGAS, C. A. L. e LUZ, M. P. 2013. Emprego do google earth no cadastramento de processos erosivos lineares e laminares. **Cartografía y tecnologías de la información geográfica**. 15p.

NEIFF, J. J. 1999. El regimen de pulsos en rios y grandes humedales de sudamerica. **In: MALVÁREZ, A. I. (Ed.) Tópicos sobre humedales subtropicales y templados de Sudamérica**. Montevideo: UNESCO, p. 90-139.

NUNES, C. O. 2013. **Mapeamento digital tridimensional de depósitos eólicos e fluviais da formação sergi, geossítio do cânion do rio Sergi, bacia do recôncavo, Bahia**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Trabalho de conclusão de Bacharel em Geologia. 101p.

OZESMI, S. L. e BAUER, M. E. 2002. Satellite remote sensing of wetlands. **Wetlands Ecology and Management**. v.10, n. 5, p. 381-402.

PEZZANI, F. 2007. **Reserva de biosfera – Bañados del este, Uruguay**. Programa de cooperacion Sur-Sur. Documentos de Trabajo n. 37. Paris: UNESCO. 36p.

RAMSAR. 2013. **Manual de la convencion Ramsar – Guia de la convención sobre los humedales**. Ramsar, Irán, 1971. 6a. Ed. LUGAR: Gland, Suíça. 120p.

RIO GRANDE DO SUL. 1998. Decreto Estadual 38.971 de 23 de outubro de 1998. Cria a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande e dá outras providências. **Diário Oficial do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/Decreto/D5758.htm>. Acesso em: maio 2016.

RAMOS, I. Q. 2010. **Levantamento de voçoroca com o uso do laser scan**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Trabalho de graduação em Engenharia Florestal. 34 p.

RIO GRANDE DO SUL. 2012. **Código Estadual do Meio Ambiente**. 100 p.

ROSSATO, M. S. 2011. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado em Geografia. 253p.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J. A. E DEERING, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, **In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium**. Vol.1 Technical Presentations, NASA SP-351, NASA, Washington, p. 309-317.

RUBBO, M. 2004. **Análise do potencial hidrogeológico do aquífero cenozoico da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Engenharia. 117p.

SCHEREN, R. S. 2014. **Urbanização na planície de inundação do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 123 p.

SILVA, R. C. 2016. **Estudo da dinâmica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado em Geociências. 330p.

SIMIONI, J. P. D. 2017. **Pulsos de Inundação e conectividade em áreas úmidas, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Geografia. 143p.

2. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS ÚMIDAS EM UNIDADES DE PAISAGEM, NA APA DO BANHADO GRANDE, BHRG - RS

RESUMO

Apesar da importância ambiental das Áreas Úmidas (AUs), classificar e estabelecer seus limites é uma tarefa complexa, tendo em vista a falta de critérios e a necessidade de descrever suas características ecológicas, buscando formular estratégias, intervenções normativas e de manejo. A Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) está inserida na Bacia Hidrográfica do rio Gravataí (BHRG) e abriga uma extensa área úmida em sua porção central. Assim o objetivo deste artigo é classificar as AUs da APABG/BHRG e avaliar seu nível de impactos antrópicos. Para tanto foram utilizados nesta análise variáveis físicas como: variação altimétrica; bacia sedimentar; geologia; pedologia e dados de NDVI e NDWI. Também foram estudadas fotografias aéreas da década de 1970 com o propósito de avaliar as mudanças temporais. Os resultados mostram que foi possível diferenciar compartimentos associados às AUs, na área inundável, a partir da cota altimétrica de 11 metros, se identificou uma área plana que interliga os banhados, a planície de inundação do rio Gravataí e as áreas suscetíveis a inundação. Os dados de NDWI, NDVI e dos solos hidromórficos permitiu classificar duas unidades de paisagem das AUs: (a) Unidade de paisagem Turfeira; (b) Unidade de paisagem Ribeirinha/Planície de Inundação. Compreender a dinâmica das variáveis físicas em AUs é uma ferramenta essencial para a elaboração de planos de manejo e estudos que visam seu uso racional, além de possibilitar sua restauração, manutenção e preservação.

Palavras-Chaves: Classificação das áreas úmidas, banhados, NDVI e NDWI.

ABSTRACT

Despite the environmental importance of Wetlands (WLs), classifying and establishing their limits is a complex task, considering the lack of criteria, and the need to describe their ecological characteristics, seeking to formulate strategies, normative and management interventions. The Environmental Protection Area of the Banhado Grande (EPABG) is located in the Gravataí River Basin hydrographic (GRBH) and shelters an extensive wetland area in its central portion. Thus, the objective of this paper is to classify WLs of APABG / BHRG and to evaluate their level of anthropic impacts. For this, it uses physical variables such as: altimetric variation; geology; pedology and NDVI and NDWI data. Aerial photographs of the 1970s were also analyzed for the purpose of evaluating temporal changes. The results show that it was possible to differentiate compartments associated with WLs in the flooded area, from the altimeter level of 11 meters, a flat area was identified that interconnects the plains, the floodplain of the Gravataí river and the areas susceptible to flooding. The NDWI, NDVI data and the hydromorphic soils allowed to classify two units landscape of WLs: (a) Peat Landscape Unit and (b) Landscape Unit / Flood Plain. Understanding the dynamics of physical variables in AUs is an essential tool for the elaboration of management plans and studies that aim at their rational use, in addition to enabling their restoration, maintenance and preservation

Keywords: Classification of Wetlands, Swamp, NDVI and NDWI.

2.1 INTRODUÇÃO

Estabelecer limites e classificar as Áreas Úmidas é uma tarefa complexa, tendo em vista, segundo Cunha, Piedade e Junk (2015) a falta de critérios para sua definição e delimitação. Carter (1986) sugere aspectos como fisionomia, vegetação, química da água. Já para Neiff, Iriondo e Carignan (1994) os limites são dados pela elasticidade do macrossistema, definido como o quociente entre a área ocupada durante o período de maior inundação e a ocupada durante o período de máxima seca.

Para Brinson (2004) a classificação das Áreas Úmidas (AUs) é facilitada pelo fato de existir padrões semelhantes em diferentes biomas. A base para a classificação funcional das AUs são os aspectos hidrogeomorfológicos que determinam os bens e serviços fornecidos, que são responsáveis pela maior parte do seu funcionamento como: localização geomorfológica, origem de sua água e a sua hidrodinâmica (BRINSON, 1993; BENZAQUÉN *et al.*, 2013).

O Serviço Agrícola e Pecuária do Chile (SAG, 2006) considera o padrão hidrológico de uma bacia como principal fator de caracterização das AUs. Assim, as diferenças em magnitude, frequência e duração do fluxo de uma bacia, podem gerar uma variedade de respostas. As AUs são um reflexo das condições ambientais na bacia, em que as contribuições diretas (rios) ou difusas (escoamento superficial), afetam o seu comportamento.

A finalidade de um inventário das AUs é reunir informações que descrevam as suas características ecológicas, proporcionando dados necessários para formular estratégias, intervenções normativas e de manejo. Ao estabelecer políticas sólidas e marcos regulatórios para a sua conservação e uso racional, o desenvolvimento de inventários é uma ferramenta essencial, pois fornece informações adequadas para promover a conservação das AUs (BENZAQUÉN *et al.*, 2013; CUNHA, PIEDADE e JUNK, 2015).

Maltchik *et al.* (2004), propõem uma classificação hierárquica de AUs com ênfase nas comunidades de plantas, baseando-se que a vegetação tem sido um dos critérios mais utilizados

nos sistemas de classificação de AUs. Segundo os autores, no Rio Grande do Sul, as AUs são classificadas em quatro níveis (subsistemas, tipos, classes e subclasses) onde além da vegetação os dados estão baseados na hidrogeomorfologia e fatores biológicos.

Molero e Novelli (2004) propõem a partir da Convenção Ramsar um sistema de classificação das AUs com base nas Unidades de Paisagem (UP), embasado na classificação de Cowardin *et al.* (1979). Este enfoque hierárquico trabalha sistemas complexos de AUs e habitats de águas profundas que compartilham a influência de fatores hidrológicos, químicos e biológicos. Segundo Molero e Novelli (2004) “Unidade de Paisagem” (*landscape/seascape*), abrange AUs independentemente de seu tamanho, pois sua morfologia e dinâmica constituem geoformas distintas. O gerenciamento de dados, incluindo o uso de sensoriamento remoto e informação geográfica permite o mapeamento e inventário de pequenas UPs inseridas em grandes áreas.

Nesse sentido, a metodologia de classificação proposta por Molero e Novelli (2004) foi aplicada para delimitar as AUs da APABG/BHRG em vista se tratar de AUs de pequeno porte e de difícil caracterização. Como atributo principal, em sua porção central a BHRG é constituída por um conjunto de ecossistemas de banhados, de matas paludosas e campos inundáveis (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013). De um lado essas áreas são de difícil acesso devido à lâmina de água e a densidade da cobertura vegetal. De outro, essas AUs encontram-se profundamente alteradas, em função da retificação do canal do rio, da irrigação de extensas áreas de cultivo de arroz ou, por quem, ainda, considera essas áreas como um problema para o uso e ocupação dos solos (ETCHELAR, 2014).

2.1.1 Referências Bibliográficas

A área denominada Sistema Banhado Grande (SBG), tanto por Meneghetti (1998) quanto por Accordi e Hartz (2006), é um complexo de áreas alagadas que dá origem ao rio

Gravataí. Este sistema desempenha uma importante função na hidrodinâmica desse manancial que apresenta grande diversidade biológica (FZB, 1976; MELLO, 1998). Em 1998, por Decreto Estadual (RIO GRANDE DO SUL, 1998), foi criada a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande, com 133.000 ha. Este conjunto de banhados situa-se nos municípios de Glorinha, Gravataí, Santo Antônio da Patrulha, Taquara e Viamão. Apesar de antiga, a APABG ainda não possui um plano de manejo que regularize ações de planejamento e zoneamento, o que implica na falta de diretrizes e controle das atividades praticadas dentro dos seus limites.

Alguns estudos contribuíram para o entendimento dessas questões na APABG/BHRG ao caracterizar ambientes paludiais, utilizando imagens Landsat TM5 no mapeamento dessas áreas úmidas (FRANTZ, 1989); ao mapear as áreas de inundação da Região Metropolitana de Porto Alegre (RISSO e NIELSEN, 1994); ao analisar a percepção da paisagem e conservação ambiental no Banhado Grande (MELLO, 1998); ao investigar a estrutura espacial e sazonal da avifauna e considerações sobre a conservação de aves aquáticas em uma área úmida do Rio Grande do Sul, Brasil (ACCORDI, 2003); ao estudar as diatomáceas epilíticas indicadoras da qualidade de água (SALOMONI, 2004); no estudo geoambiental da BHRG (VIERO, TRAININI e GIOVANNIN, 2010); ao realizar o levantamento florístico de fragmentos florestais (OLIVEIRA, BALBUENO e SENNA, 2005); ao analisar os impactos do cultivo de arroz irrigado sobre as áreas úmidas da APABG (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013); ao analisar o processo erosivo no Banhado Grande (ETCHELAR, 2014); ao propor a definição de corredores ecológicos como estratégia de proteção de importantes remanescentes de áreas úmidas e conservação do cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*) no Rio Grande do Sul (KROB *et al.*, 2015); ao propor metodologias para renaturalização de trecho retificado do rio Gravataí (BRENNER, 2016); ao analisar os impactos ambientais decorrentes da produção orizícola na APABG (BELLOLI, 2016); ao estudar a dinâmica da fragilidade

ambiental na BHRG (SILVA, 2016) e ao entender a conectividade entre AUs da APABG (SIMIONI, 2017; SIMIONI, GUASSELLI e ETCHELAR, 2017)

Desde a década de 1940, as AUs do BHRG têm sido ocupadas pelo cultivo de arroz, drenando suas áreas inundáveis, transformando os cursos d'água em uma malha de canais de irrigação (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013; BELLOLI, 2016). Políticas e incentivos na década de 1970 levaram a destruição desses ecossistemas, como o Programa Pró-Várzeas, que gerou a drenagem de centenas de quilômetros quadrados de várzeas.

As construções de uma teia urbana sem planejamento preexistente, que se prolonga em torno da planície de inundação do rio Gravataí (SCHERER, 2014), interfere de forma direta na dinâmica do rio e traz sérias consequências à população em virtude de enchentes (TUCCI, 1993). O zoneamento restritivo usado nas planícies de inundação é a maneira mais eficiente de evitar potenciais danos à sociedade, uma vez que estes locais são utilizados para importantes atividades do homem ao longo de sua história, por serem solos ricos em nutrientes e de disponibilidade hídrica à população (CHRISTOPHERSON, 2012).

Alguns estudos relataram que a área de banhado original da BHRG era de 450km² (FRANZ *et al.*, 1990; MELLO, 1998; ACCORDI, 2003). Segundo o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, em consequência das drenagens artificiais promovidas pelos arroteiros na década de 1970, a área original foi reduzida para 138 km² (IPH, 2002). Entretanto, nenhum mapeamento mostra essa área original, e onde ocorreram essas mudanças. Colocando em discussão o limite inicialmente definido, a área referida como “banhado”, avalia-se que essa área poderia estar se referindo a todas as AUs da BHRG, incluindo a planície de inundação, numa área denominada de Sistema Banhado Grande definida por (MENEGETTI, 1998).

Buscando contribuir na preservação das áreas úmidas da BHRG, este trabalho tem como objetivo delimitar as AUs na BHRG a partir de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

2.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

A área de estudo BHRG/APABG (Figura 2.1) situa-se na porção leste do Rio Grande do Sul, e está inserida na região metropolitana de Porto Alegre (MELLO, 1998).

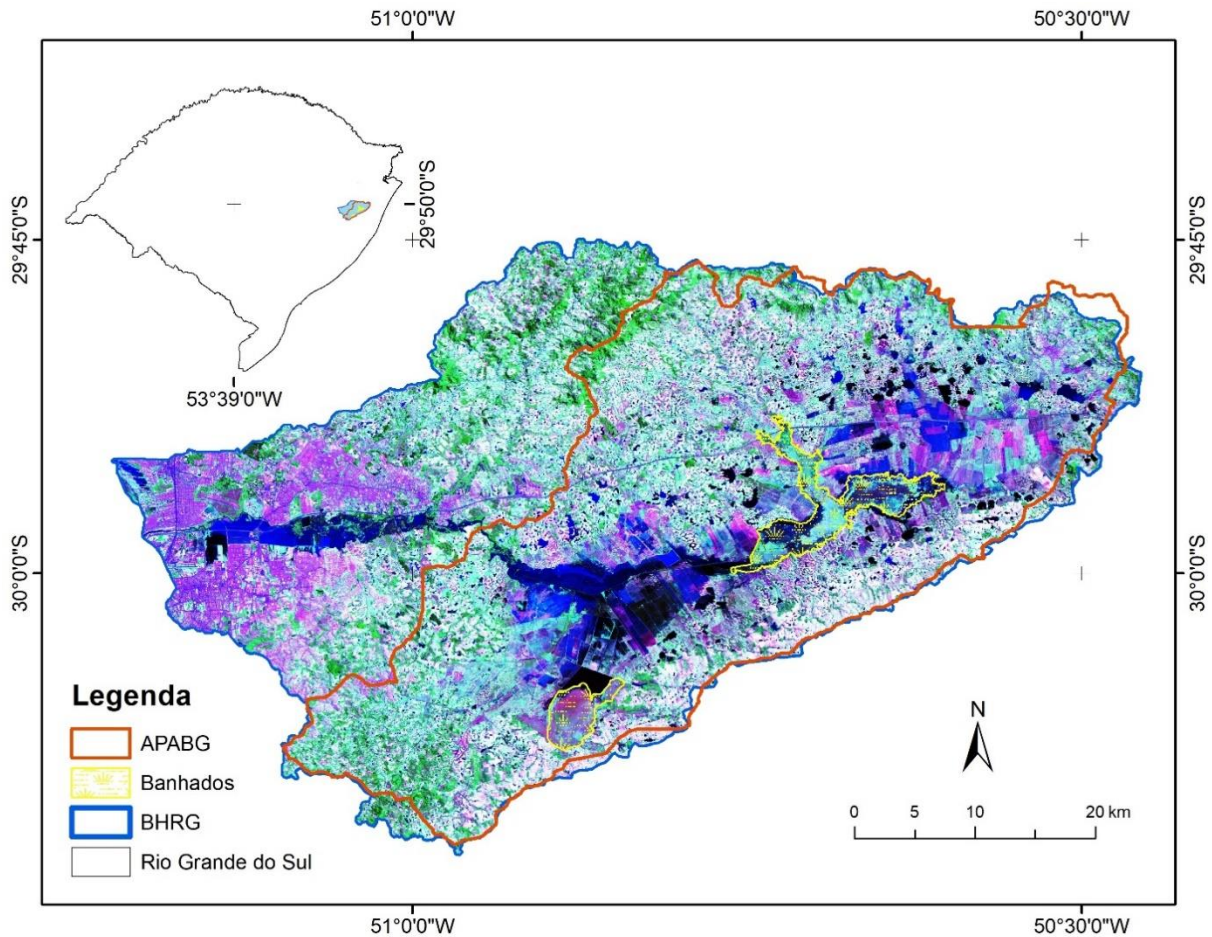


Figura 2.1. Localização da BHRG/APABG sobre imagem Landsat TM de 2007. As áreas em azul escuro na área da APABG mostram as áreas inundadas interligando os banhados, a planície de inundação do rio Gravataí, no trecho retificado, e os açudes de irrigação de arroz; na foz ilustram áreas que ainda inundam apesar dos diques de contenção e da urbanização de Porto Alegre, Gravataí, Canoas e Alvorada na sua planície de inundação. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Segundo Villwock e Tomazelli (2007) a gênese atual da BHRG se dá pela formação da Planície Costeira através do sistema Laguna Barreira. A carga sedimentar transportada pelos rios que drenam as terras altas adjacentes acumulou-se no Sistema Lagunar I, em ambientes de sedimentação lagunar, fluvial e paludal.

O Sistema Lagunar I sofreu influência dos vários eventos transgressivo-regressivos que se sucederam durante o Quaternário. A cada nova ingressão marinha parte da região era afogada, retrabalhando os depósitos ali existentes. Assim, o pacote sedimentar que se acumulou no espaço geomorfológico do Sistema Lagunar I (ou também, Sistema Lagunar Guaíba-Gravataí) reflete estes diferentes eventos envolvendo depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludais de diversas idades (VILLWOCK e TOMAZELLI, 2007).

Por estar em uma região plana, diversos trechos do rio Gravataí frequentemente se mantêm inundados, com meandros e canais largos e rasos (SIMIONI, 2017; SIMIONI, GUASSELLI e ETCHELAR, 2017). Entretanto, a ocupação urbana, as drenagens e a retificação do rio alteraram essa configuração (SCHERER, 2014; BRENNER, 2016).

2.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, realizou-se um levantamento bibliográfico para a construção do embasamento teórico e conceitual dos elementos relacionados à área da BHRG e do Banhado Grande. Além disso, utilizaram-se temas mais abrangentes como: banhados, área úmidas, pulsos de inundação e escolha de técnicas e produtos de Sensoriamento Remoto e geoprocessamento.

Para o processamento digital das imagens e uso de informações geográficas foram utilizados os programas ENVI e ArcGIS. Os dados vetoriais e suas tabelas de atributos, juntamente com as imagens orbitais, formaram um banco de dados organizado pelo Laboratório de Geoprocessamento e Análise Ambiental (LAGAM) no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

A partir de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponíveis no TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil), foram obtidas a altimetria e a

declividade da bacia. No *software* ArcGIS a partir dos seguintes procedimentos: *Spatial Analyst Tools > Surface > Contour* no *Arctoolbox*; em *Contour interval*, foi definida a curva de nível de cota 11 metros, como limite de ocorrência das AUs na APABG/BHRG.

A hidrografia utilizada nos mapas foi adquirida em *shapefile* na plataforma *online* da FEPAM.

O georreferenciamento das fotografias aéreas do início de 1970, fornecidas pela Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (FZB), foi realizado a partir das coordenadas do *Google Earth*. Este processo, no *software* ArcGIS 10.3, utilizou a ferramenta *Georeferencing tools*.

Dados de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), já georreferenciados, foram disponibilizados pela *United States Geological Survey* (USGS). O NDVI, segundo Jensen (2011) é descrito de acordo com a Equação 1:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (1)$$

A partir da imagem Lansat, sensor OLI_TIRS, de 30 de agosto de 2013, foi gerada a imagem do Índice de Umidade – Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI). A razão entre as diferenças de reflectância do infravermelho próximo (banda 5) e do infravermelho médio (banda 6), foi processada no *software* IDRISI 17.0. O NDWI, segundo Jensen (2011) é descrito de acordo com a Equação 2:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (2)$$

Os dados vetoriais para a elaboração do mapa das bacias sedimentares foram obtidos no *GeoBank* - geosgb.cprm.gov.br, da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Para elaboração do mapa de pedologia com base do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), utilizaram-se os dados digitais geoambientais da BHRG, disponibilizados pelo Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da UFRGS (LABGEO).

O mapa de UP foi gerado utilizando o limite dos solos hidromórficos. Para a UP Turfeira, foram considerados os setores com depósitos turfáceos lagunares que estão permanentemente inundados pelo sistema hidrográfico e o solo da classe dos Gleissolos. Para a UP Ribeirinha/Planície de Inundação, foram atribuídas as áreas de várzea do rio Gravataí e seus arroios contribuintes, correspondendo aos depósitos das unidades: aluvionares, planície de inundação, planície lagunar, relacionados aos planossolos (PROTEGER, 1994). A classificação do uso e ocupação do solo das Unidades de Paisagem foi realizado de forma manual pela imagem base no *software ArcGIS 10.3*.

2.4 RESULTADOS

O mapa altimétrico (Figura 2.2) destaca as cotas altimétricas entre 0 e 20 metros na BHRG. Essas áreas correspondem ao limite das AUs e dos banhados: Grande, dos Pachecos e do Banhado Grande e a planície de inundação do rio Gravataí. Destaca-se que as maiores cotas se encontram a leste da bacia, justificando o fluxo do rio no sentido leste - oeste. A cota de 11 metros (em amarelo na área da APABG) conecta os banhados, a planície de inundação do rio Gravataí e as áreas suscetíveis aos grandes pulsos de inundação através de uma extensa área plana (SIMIONI, 2017; SIMIONI, GUASSELLI, ETCHELAR, 2017).

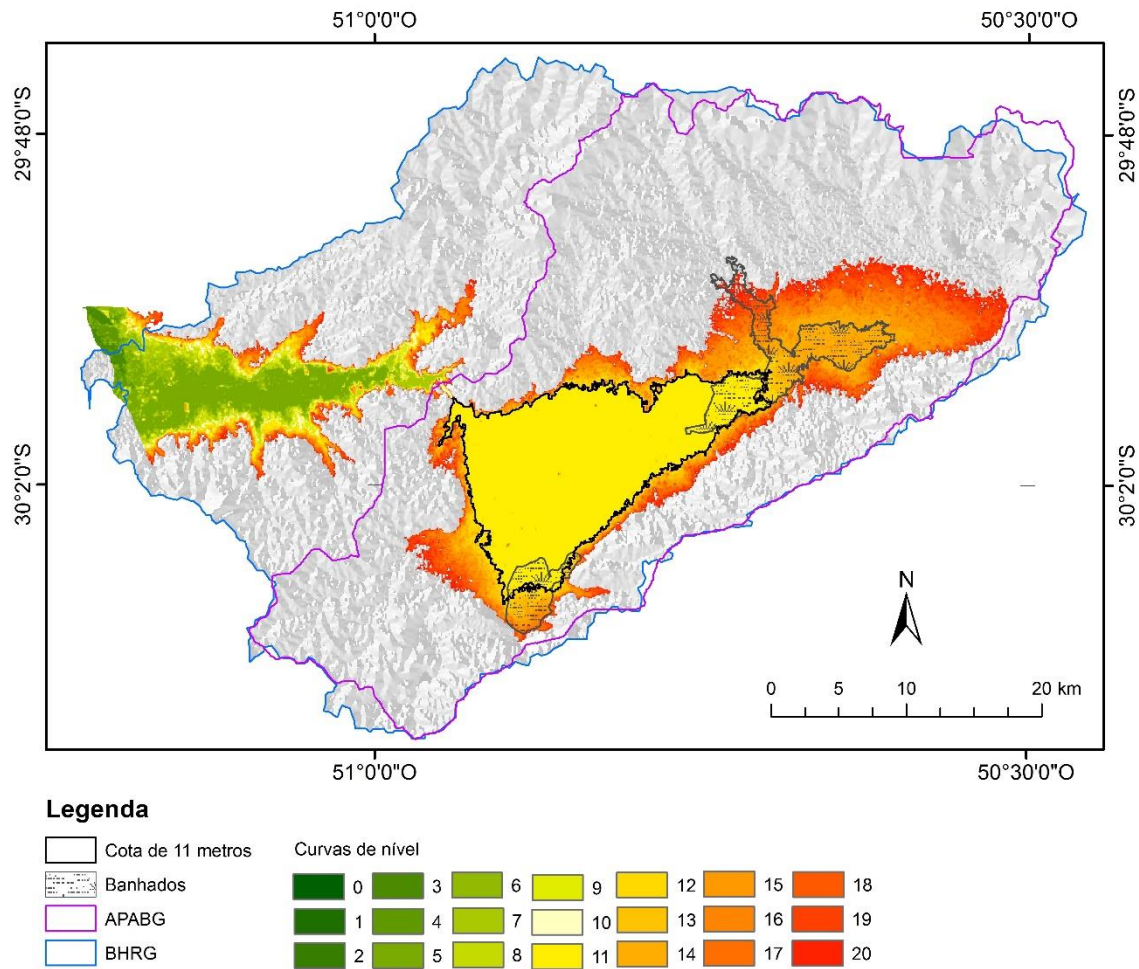


Figura 2.2. Mapa altimétrico das áreas entre 0 e 20 metros na APABG/BHRG.
Fonte: LAGAM **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

A análise das fotografias da década de 1970 (Figura 2.3) mostra que a produção orizícola ainda não havia se expandido ao ponto de descaracterizar a ligação existente entre o Banhado Grande e o Banhado dos Pachecos. Na área da cota altimétrica de 11 metros, ainda é possível perceber a conexão entre os banhados, na área de ocorrência depósitos de planície lagunar (Figura 5), estabelecendo uma conectividade entre eles, e os depósitos aluvionares associados ao rio Gravataí.

Entretanto, atualmente essa área inundada em períodos de grandes pulsos de inundações, encontra-se densamente ocupada pelo cultivo de arroz irrigado (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013; BELLOLI, 2016).

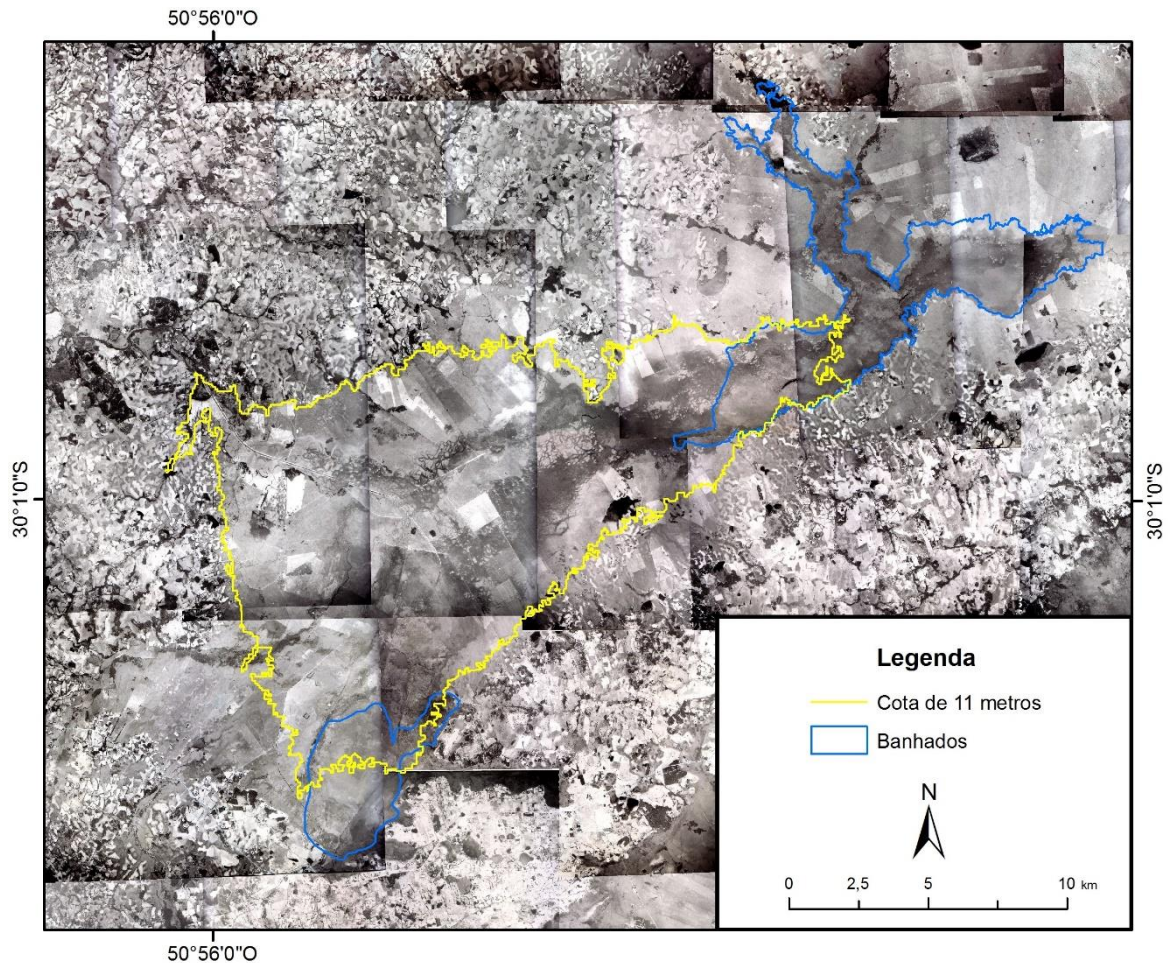


Figura 2.3. Mosaico de fotografias aéreas da década de 1970 e o limite da cota de 11m, APABG/BHRG. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Podemos também relacionar a delimitação e localização das áreas de banhado e a delimitação das AUs da planície de inundação do rio Gravataí considerando as áreas limítrofes entre a Bacia Sedimentar do Paraná e a Bacia Sedimentar de Pelotas (Figura 2.4).

A BHRG que se localiza na parte mais interna da Planície Costeira e é formada por unidades sedimentares marinhas e flúvio-lacustres inconsolidadas pertencentes à Bacia de Pelotas. A Planície Costeira apresenta relevo muito baixo, próximo do nível do mar e é caracterizada por regiões extensas de banhados, lagos e lagoas (VILLWOCK e TOMAZELLI, 2007 e CPRM, 2008).

O Sistema de Barreira-Laguna I também denominada de Coxilha das Lombas, resultou, principalmente, do acúmulo de sedimentos eólicos sobre depósitos praias. Já o sistema lagunar

ocupou terras baixas entre os depósitos eólicos e rochas sedimentares da Bacia do Paraná. Os depósitos deste sistema refletem um complexo de ambientes deposicionais instalados na região de retrobarreira, resultando em depósitos aluviais, lagunares, lacustres e paludiais (CPRM, 2008)

O mais antigo sistema deposicional do tipo “laguna-barreira” (RUBBO, 2004), o Sistema Lagunar I ocupou as terras baixas situadas entre a Barreira I e os depósitos do sistema de leques aluviais acumulados no sopé das terras altas constituídas pelos terrenos mais antigos formados principalmente pelas rochas sedimentares paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná. A região abrange boa parte das bacias do rio Gravataí e do complexo fluvial do Guaíba. (VILLWOCK e TOMAZELLI, 2007)

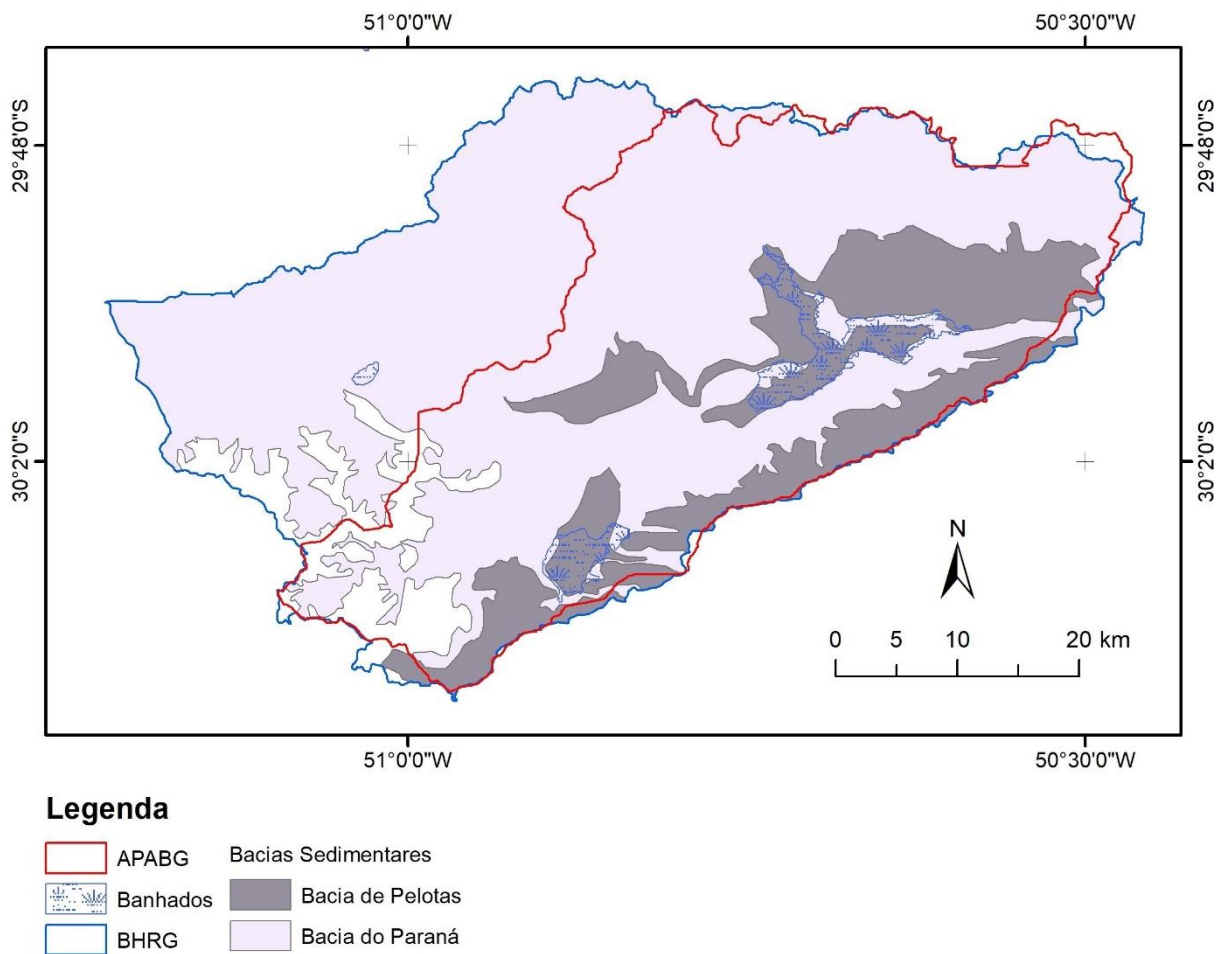


Figura 2.4. Bacias sedimentares nos limites da APABG/BHRG. **Fonte:** CPRM
Elaborado por: ECTHELAR, C. B.

A bacia sedimentar do Paraná se associa à localização da planície de inundação do rio Gravataí. Já, a bacia sedimentar de Pelotas compreende, quase em totalidade, as áreas de banhado.

Segundo dados da CPRM (2008) a formação geológica da Bacia do Gravataí (Figura 2.5), demonstra que o corredor que interliga os banhados não apresenta um canal bem definido. As AUs da APA/BHRG apresentam as seguintes formações: Depósitos de planície de inundação e de depósitos de planície lagunares associados à barreira IV: areias siltico-argilosas, mal selecionadas, de cores claras e laminação plano-paralela incipiente. Já as áreas de banhado correspondem a depósitos de turfeira, formado por depósitos paludais: turfas heterogêneas intercaladas ou misturadas com areias, siltes e argilas plásticas.

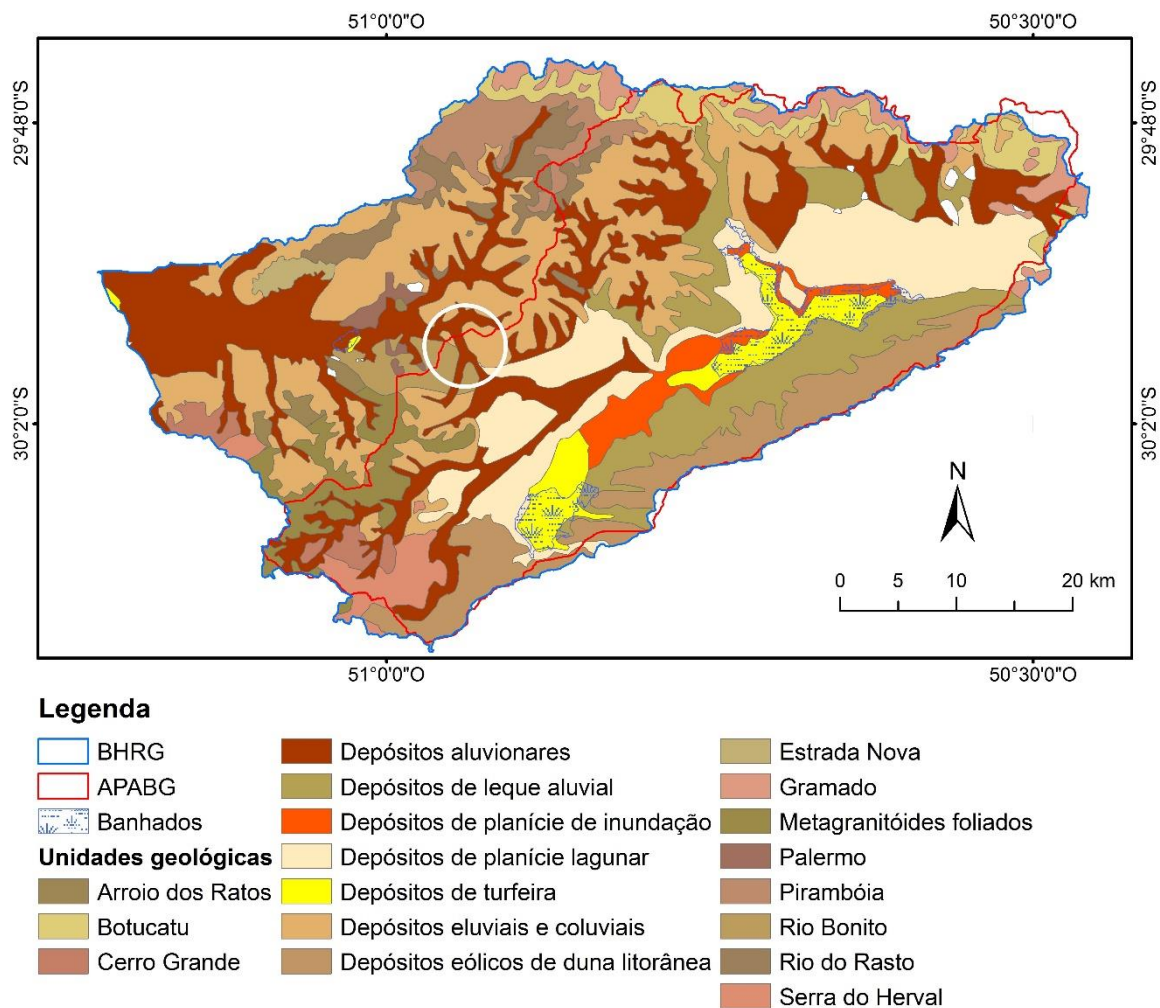


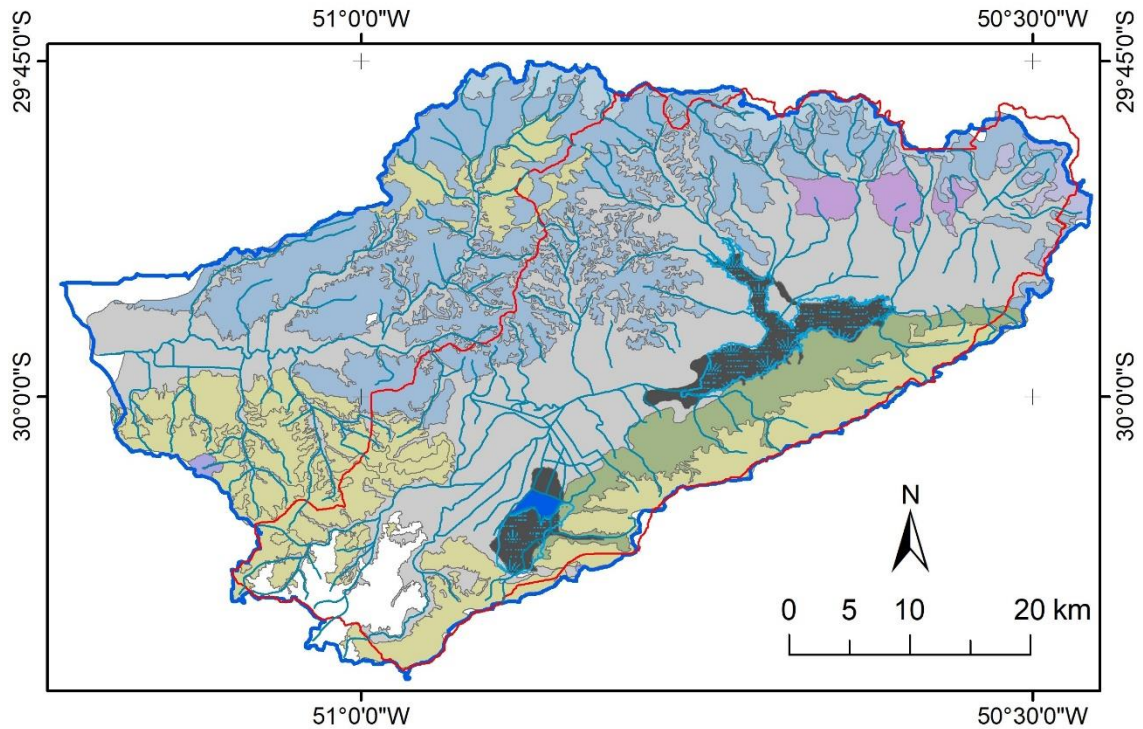
Figura 2.5. Geologia na área da APABG/BHRG. **Fonte:** LABGEO
Elaborado por: ETCHELAR, C. B.

A diferenciação dos compartimentos fluviais e lagunares, confinados na área plana da bacia, mostra um “estrangulamento” (destacado na Figura 2.5 por um círculo branco) onde o rio torna-se um canal estreito sobre depósitos aluvionares, associados à barreira IV: cascalhos e areias, em corpos tabulares isolados, siltico-argilosos, com restos vegetais. Também nesta unidade geológica, encontra-se o trecho retificado do rio (CPRM, 2008).

A produção de arroz no Rio Grande do Sul é concentrada na metade sul do Estado, onde predominam, nas terras baixas, os Planossolos e Gleissolos (SILVA *et al.*, 2011). As áreas que compõem os solos hidromórficos (solos mal drenados ou muito mal drenados) da APABG/BHRG se subdividem nestas duas categorias de solo. No mapa de solos da APABG/BHRG, Figura 2.6, destaca-se que os Planossolos estão associados à hidrologia da bacia e os Gleissolos com as áreas de banhado.

Gleissolos possuem textura argilosa a muito argilosa, situados em relevo plano e possuem substrato flúvio lagunares. Estão associados a áreas com lençol freático aflorante na maior parte do ano. São solos que passam pelo processo de gleização, pelo excesso de matéria orgânica. Já os solos Planossolos, possuem textura média a argilosa, também situados em relevo plano e substrato de depósitos flúvio lagunares, apresentando predominantemente cores acinzentadas típicas de redução de ferro. Os Planossolos circundam os solos dos banhados, compreendendo as AUs que aportam as lavouras de arroz (PROTEGER, 1994).

Os Planossolos apresentam perfis com sequência de horizontes A, E, Bt e C. O horizonte A, geralmente, possui coloração mais escura e o horizonte E apresenta coloração clara. Ambos possuem textura arenosa com passagem abrupta para o horizonte Bt (um horizonte argiloso e adensado). Essa mudança radical de textura dos horizontes (A +E) para o Bt é o que diferencia os Planossolos dos Gleissolos (STRECK *et al.*, 2008).



Legenda















-  Hidrologia
-  Banhados
-  APABG
-  BHRG
- Pedologia**
-  Água
-  Gleissolos
-  Planossolos
-  Argissolos Vermelho-Amarelo
-  Argissolos Vermelho-Amarelo/Planossolo
-  Argissolos Vermelho-Amarelo/Argissolos Vermelho-Escuro
-  Argissolos Vermelho-Amarelo/ Argissolos Vermelho-Escuro e Planossolo
-  Argissolos Vermelho-Escuro
-  Neossolos/Cambissolos/Afloramentos de rochas
-  Nitossolos/Chernossolos

Figura 2.6. Pedologia na APABG/BHRG. **Fonte:** LABGEO
Elaborado e modificado por: Etchelar, C. B.

A partir da ocorrência dos solos hidromórficos na área da APABG/BHRG, podemos associar este dado com as variáveis de NDVI e NDWI. A análise da distribuição dos valores de

NDWI, Figura 2.7, permite verificar a relação entre os índices de umidade e as formações vegetacionais na bacia do rio Gravataí.

A vegetação com menor teor de umidade apresenta valores entre -0,58 e -0,30. Segundo (GAO, 1996) as áreas de vegetação seca tendem a apresentar índices inferiores a 0. A vegetação com maior teor de umidade localiza-se nos limites definidos pela ocorrência de Planossolos e Gleissolos com índices entre -0,30 e -0,15. As áreas que apresentam maiores índices de umidade são áreas de forte presença de água e estão inseridas na planície de inundação no centro da bacia. Essas áreas estão associadas aos cursos hídricos, açudes e barragens, com valores entre -0,02 e 0,26.

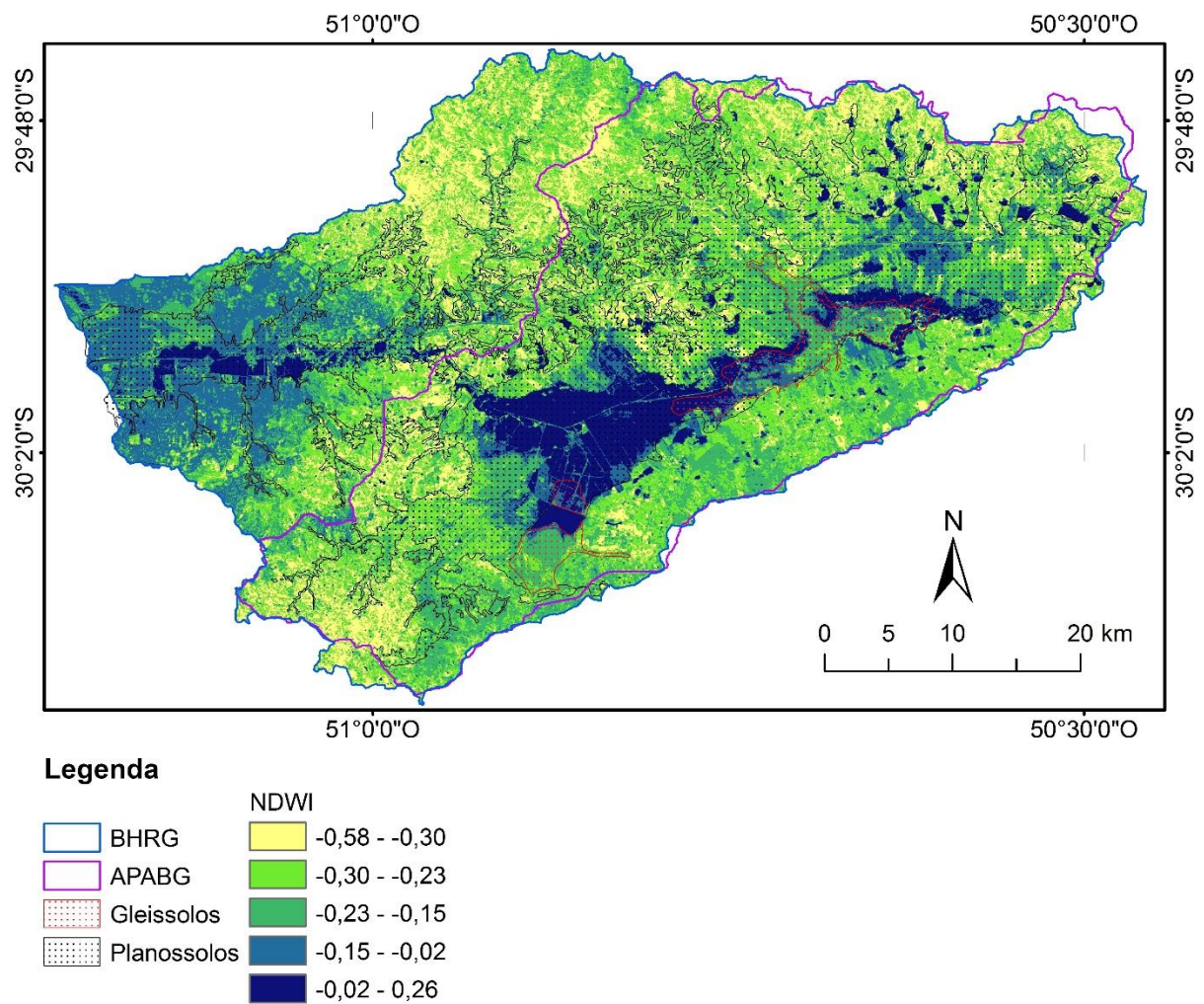


Figura 2.7. Mapeamento de NDWI, 30 de agosto de 2013. **Fonte:** USG **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

No mapeamento de NDVI, Figura 2.8, observa-se que os índices de maior umidade vegetal estão associados aos Planossolos e Gleissolos. O comportamento espectral para as áreas de banhado demonstra a presença da vegetação com três distintos intervalos de NDVI, que variam entre -0,7 e 1.

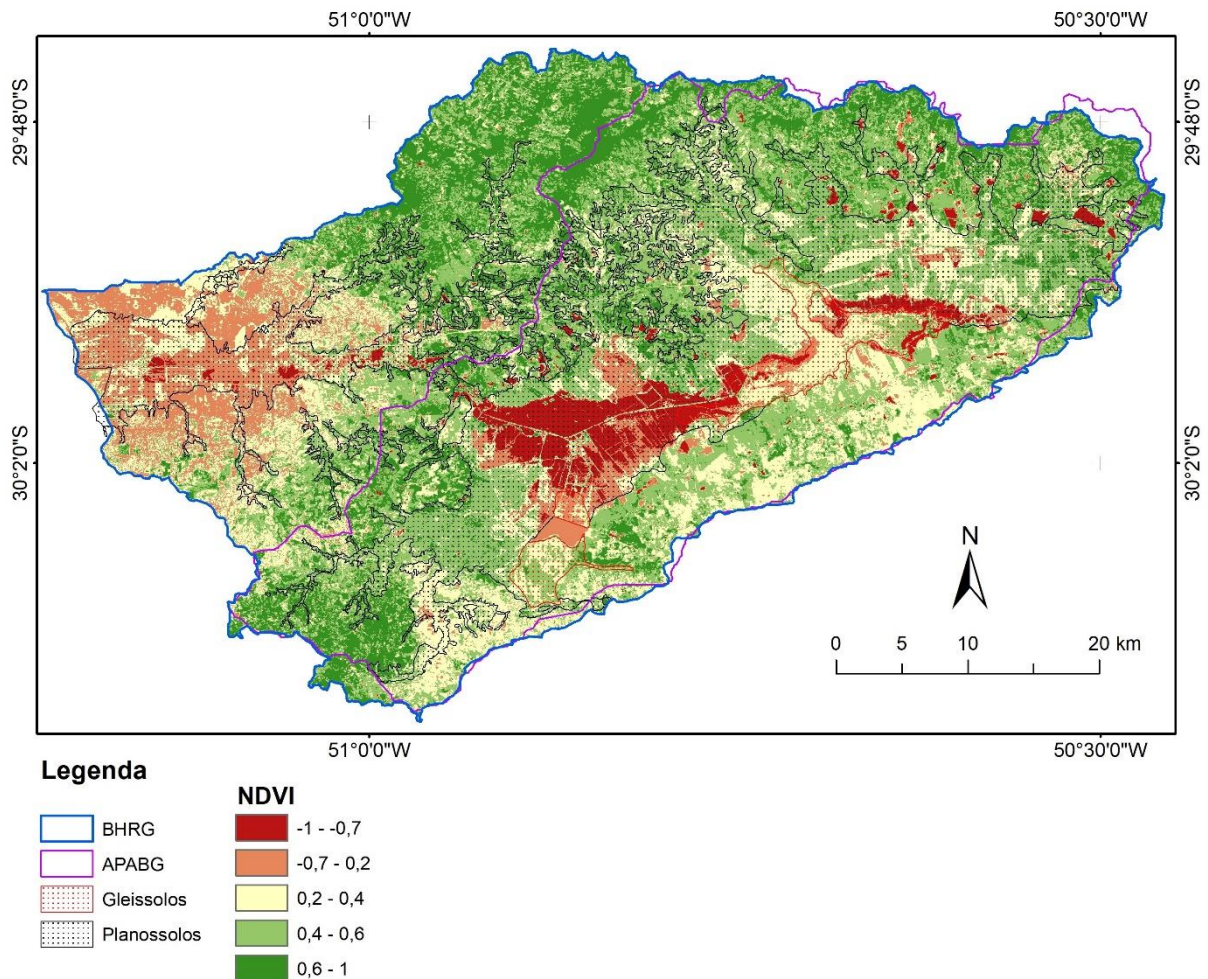


Figura 2.8. Mapeamento de NDVI, 30 de agosto de 2013. **Fonte:** USG
Elaborado por: ETCHELAR, C. B.

Segundo Leite (2011) estes ambientes são dominados pelas comunidades vegetais de macrófitas aquáticas (Figura 2.9), que estão permanentemente alagados, diferentemente dos campos úmidos, que permanecem parcialmente e sazonalmente alagados. Estas formações vegetais variam de acordo com a região de dominância dentro do Banhado, e conforme o porte e o tipo das espécies que compõem o ambiente.



Figura 2.9. Macrófitas aquáticas – Rio do Guará – Banhado Grande. Registro fotográfico em julho de 2015. **Fotografia de:** Etchelar, C. B.

A dinâmica de inundações dos banhados ocorre sob uma sazonalidade na qual o período referente ao inverno demonstra respostas espectrais de seus principais elementos (vegetação e água) com a influência de fenômenos típicos para o período de inverno, como alta precipitação e a senescência de macrófitas aquáticas (GUASSELLI, 2005).

A proposta de um sistema de classificação de AUs conforme proposto por Molero e Novelli (2004) trata de maneira eficaz a necessidade de uma classificação padrão para os tipos de AUs, com a tipologia de Unidades de Paisagem.

Com base nas características físicas como na altimetria, geologia, pedologia, NDVI e NDWI foi possível delimitar duas unidades de paisagem: UP Turfeira e UP Ribeirinha / Planície de Inundação, Figura 3.0. A UP Turfeira é uma unidade distribuída principalmente em áreas onde ocorre umidade em excesso ou onde o ambiente se mantém úmido permanentemente. A

UP Ribeirinha inclui todas as AUs localizadas ao longo das vias navegáveis e das planícies de inundação que incluem formas como pântanos, meandros abandonados, lagoas, represas naturais, banhados, canais e outros elementos topográficos. Planícies de inundação e sua vegetação ripária estão adaptadas ao regime hidrológico regido pela frequência e duração da inundação (SIMIONI, 2017) e a influência das águas subterrâneas (MOLERO e NOVELLI, 2004, RUBBO, 2004).

Na delimitação das AUs da APABG/BHRG a classificação UP Ribeirinha/Planície de inundação foi atribuída às áreas de várzea do rio Gravataí e arroios contribuintes, com característica de planossolo. E a classificação UP turfeira inclui todas as áreas de banhado com classificação geomorfológica de turfeira e pedologicamente de solo gleissolo.

A presença das AUs é fundamental para a dinâmica de toda a APABG/BHRG e as modificações que nelas vêm ocorrendo comprometem suas funções, provocando consequências que afetam tanto os ecossistemas como as atividades humanas. Para compreender a situação atual dessa área é importante conhecer a estrutura de sua paisagem e suas mudanças ao longo do tempo (MELLO, 1998).

Para Scherer (2014), a situação ambiental da APABG/BHRG reflete as consequências da história de ocupação do território e da própria caracterização física da bacia. As alterações mais importantes estão associadas aos impactos das atividades antrópicas. Na (Figura 3.0a e 3.0c) mostra que os principais usos da cobertura do solo na delimitação UP Ribeirinha/Planície de Inundação é a rizicultura e a urbanização sobre as AUs da planície de inundação do rio Gravataí.

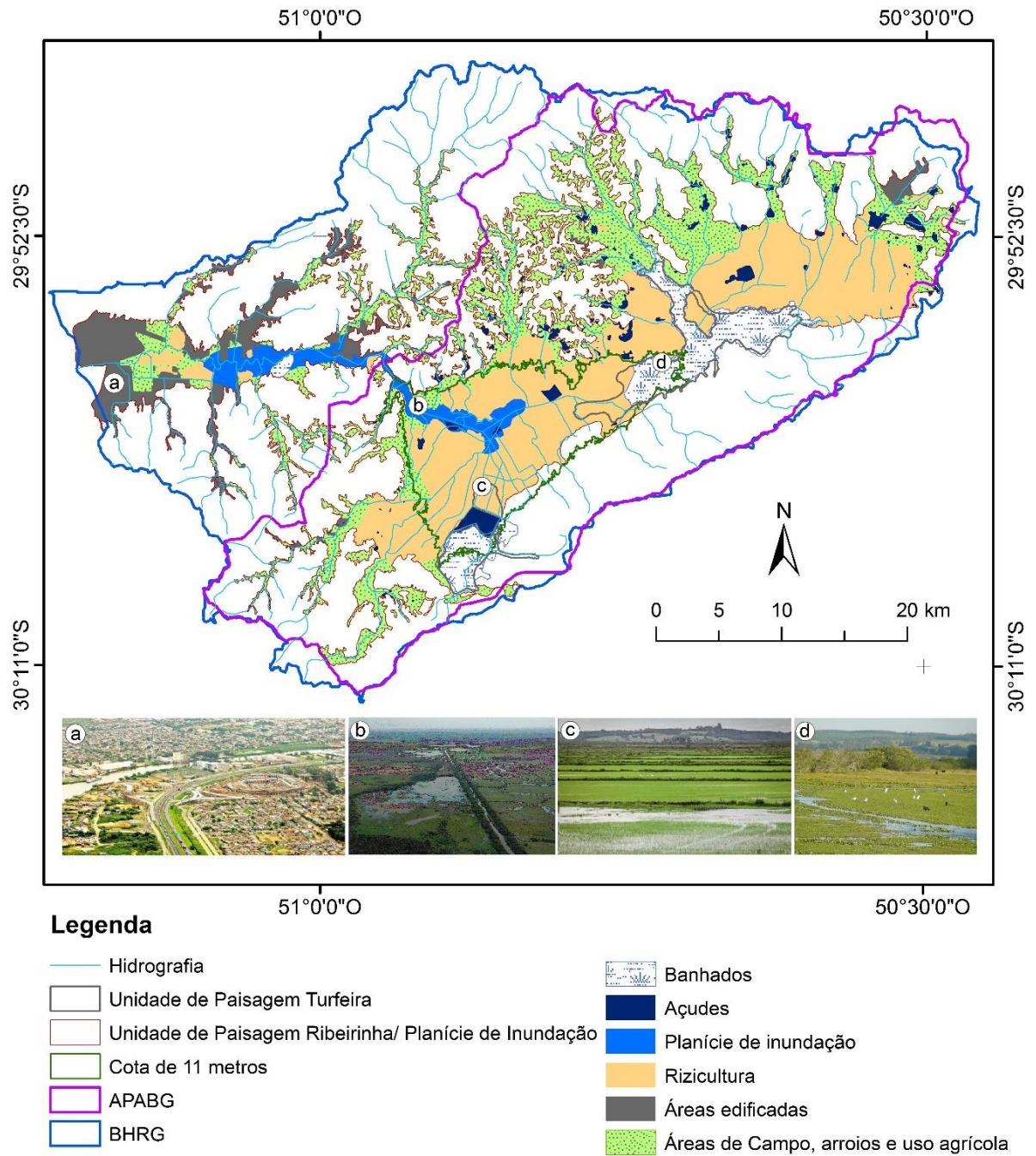


Figura 3.0. Mapeamento das Unidades de Paisagem e tipificação das AUs.
Elaborado por: ETCHELAR, C. B.

Na delimitação da cota de 11 metros, considerada a área de conectividade dos banhados (SIMIONI, 2017), está totalmente comprometida com a rizicultura (Figura 3.0c). Esta zona se encontra totalmente descaracterizada pelo grande número de talhões e barramentos que fazem parte do manejo para a cultura do arroz (BELLOLI, 2016).

Os resultados demonstram que além da delimitação das AUs da APABG e da BHRG podemos constatar que as atividades antrópicas alteraram a caracterização destes ambientes. No terço final do rio Gravataí o maior impacto se dá pela urbanização, e nos limites da APABG o maior impacto está relacionado com o intenso cultivo do arroz irrigado e suas atividades, que, vem descaracterizando este ambiente.

2.5 CONCLUSÕES

A partir das variáveis físicas, como a geologia, a cota altimetria, a pedologia e a análise das fotografias históricas da década de 1970 e os índices de NDWI e NDVI, foi possível delimitar as AUs na APABG/BHRG.

A geologia da APABG/BHRG identifica diferentes dinâmicas no padrão de drenagem do rio Gravataí, justificadas pelos distintos compartimentos geológicos. A formação das AUs associa-se a área inundável, onde na cota altimétrica de 11 metros, identificou-se uma área plana que interliga os Banhados dos Pachecos e o Banhado Grande.

A partir dos índices de NDWI e NDVI e da espacialização dos solos hidromórficos, foi possível classificar as AUs da APABG/BHRG em duas UP: (a) UP Turfeira; (b) UP Ribeirinha/Planície de Inundação.

O uso das geotecnologias como o Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento tornou possível a delimitação das AUs e as atividades de uso e ocupação destas áreas levaram a sua descaracterização pelo impacto antrópico.

Compreender a dinâmica das paisagens das AUs na APABG/BHRG é uma ferramenta essencial para a elaboração de planos de manejo e estudos que visam o uso racional destes ambientes, além da possibilidade de sua restauração, manutenção e preservação.

2.6 REFERENCIAS

- ACCORDI, I. A. 2003. **Estrutura espacial e sazonal da avifauna e considerações sobre a conservação de aves aquáticas em uma área úmida do Rio Grande do Sul, Brasil**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dissertação de mestrado em ecologia. 171p.
- ACCORDI, I. A. e HARTZ, S. M. 2006. Distribuição espacial e sazonal da avifauna em uma área úmida costeira do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 14, n. 2, p. 117-135.
- BELLOLI, T. F. 2016. **Impactos ambientais decorrentes da produção orizícola, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande - RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 80 p.
- BENZAQUÉN, L.; BLANCO, D. E.; BÓ, R.; KANDUS, P.; LINGUA, G. F.; MINOTTI, P.; QUINTANA, R. D.; SVERLIJ, S. e VIDAL, L. 2013. **Inventario de los humedales de Argentina: sistemas de paisajes de umedales del corredor fluvial Paraná-Paraguay**. 1a ed. Buenos Aires: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. 381 p.
- BRENNER, V. C. 2016. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 94 p.
- BRINSON, M. M. 1993. A Hydrogeomorphic classification for wetlands. **Wetlands Research Program Technical Report WRP-DE-4**. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC. 103 p.
- BRINSON, M. M. 2004. Niveles extremos de variación de patrones y procesos en humedales. **In: MALVÁREZ, A. I. e BÓ, R. F.** Documentos del curso-taller: “Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina”. Ana Inés Malvárez Editora, Buenos Aires, 1a. ed. p. 19-24.
- CARTER, V. 1986. An Overview of the hydrologic concerns related to wetlands in the United States. **Canadian Journal of Botany**, v. 64, n. 2, p. 364-374.
- CHRISTOPHERSON, R. W. 2012. **Geossistemas: uma introdução à Geografia Física**. 7 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 728p.
- CPRM. Centro de Pesquisas de Recursos Minerais. 2008. Programa Geologia do Brasil. **Levantamentos Geológicos Básicos**. Geologia da Folha Gravataí. SH.22-X-C-V. Escala 1: 100000. Porto Alegre. 78 p.
- COWARDIN, L.; CARTER, V.; GOLET, F. C. e LaROE, E. T. 1979. **Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States**. US Fish and Wildlife Service. Washington, DC. 142p.
- CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F. e JUNK, W. J. 2015. **Classificação e delineamento das áreas úmidas brasileiras e de seus macrohabitats**. Cuiabá: EdUFMT. 165 p.

ETCHELAR, B. C. 2014. **Análise do Processo Erosivo no Banhado Grande, APA do Banhado Grande, Município de Glorinha – RS.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 72 p.

FRANTZ, D. L. S. 1989. **Uso de imagens orbitais “TM” - Landsat 5 na caracterização de ambientes paludais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geociências. 200 p.

FRANTZ, D. L. S.; CARRARO, C. C.; VERDUM, R. e GARCIA, M. A. T. 1990. **Caracterização de ambientes paludais da Planície Costeira do Rio Grande do Sul em imagens orbitais TM/LANDSAT 5.** Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. p. 408-418.

FZB. Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. 1976. **Preceituação ecológica para preservação dos recursos naturais da região da Grande Porto Alegre.** 1976. Porto Alegre: Sulina. 153p.

GAO, B. C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation of liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266.

GUASSELLI, L. A. 2005. **Dinâmica da Vegetação no Banhado do Taim, RS.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 157 p.

GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C. B. e BELLOLI, T. F. 2013. 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, INPE.** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 447-452.

IPH. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2002. **Identificação das alternativas possíveis e prováveis para a regularização das vazões do rio Gravataí.** Cap. 7. Porto Alegre: UFRGS, 207p.

JENSEN, J. R. 2011. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** São José dos Campos: Parênteses, 2a. Ed.598p.

KROB, A. J. D.; MENESES, B. A.; CASTILHO, C. S.; XIMENES, S. S. F.; KINDEL, A. e MAHLER JUNIOR, J. K. F. 2015. Definição de corredores ecológicos como estratégia de proteção de importantes remanescentes de áreas úmidas e conservação do cervo-do-pantanal (*blastocerus dichotomus*) no Rio Grande do Sul. **In: Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, VIII**, 7p.

LEITE, M. G. 2011. **Análise espaço-temporal da dinâmica da vegetação no Banhado Grande, Bacia Hidrográfica do rio Gravataí, RS.** Porto Alegre: UFRGS. 96p.

MALTCHIK, L.; ROLON, A. S.; GUADAGNIN, D. L. e STENERT, C. 2004. Wetlands of Rio Grande do Sul, Brazil: a classification with emphasis on plant communities. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.16, n.2, p. 137-151.

MELLO, L. P. 1998. **Percepção da paisagem e conservação ambiental no Banhado Grande do Rio Gravataí (RS)**. São Paulo: Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado em Geografia, 365p.

MENEGHETTI, J. O. 1998. Lagunas uruguayas y sur de Brasil. **In:** CAVERNARI, P.; DAVIDSON, I.; BLANCO, D.; CASTRO, G. e BUCHER, E. (Ed.). Los humedales de América do Sul: uma agência para a conservação da biodiversidade e políticas de desarrollo. Buenos Aires: Wetlands International.

MOLERO, G. C. e NOVELLI Y. S. 2004. Un sistema de clasificación de humedales propuesto para la Convención de Ramsar. **In:** MALVÁREZ, A. I. e BÓ, R. F. Documentos del curso-taller: “Bases ecológicas para la clasificación e inventario de humedales en Argentina”. Ana Inés Malvárez Editora, Buenos Aires, 1a. ed. p. 37-51.

NEIFF, J. J.; IRIONDO, M. H. e CARIGAN, R. 1994. Large tropical South American Wetlands: An Overview. Proc. of the internaut. **Workshop on the ecology and management of Aquatic-Terrestrial Ecotones**. 156-165.

OLIVEIRA, M. L. A. A.; BALBUENO, R. A. e SENNA, R. M. 2005. Levantamento florístico de fragmentos florestais na bacia hidrográfica do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **IHERINGIA**, Sér. Bot., Porto Alegre, v. 60, n. 2, p. 269-284.

PROTEGER. PROGRAMA TÉCNICO PARA O GERENCIAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE PORTO ALEGRE. 1994. **Bacia do Rio Gravataí – RS**: Informações básicas para a gestão territorial. Pedologia. Porto Alegre: Metroplam, CPRM. 19p.

RIO GRANDE DO SUL. 1998. Decreto Estadual 38.971 de 23 de outubro de 1998. Cria a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande e dá outras providências. **Diário Oficial do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/Decreto/D5758.htm>. Acesso em: maio 2016.

RISSE, A. e NIELSEN, S. 1994. **Áreas de inundação, alagamento e banhados da Região Metropolitana de Porto Alegre**. CPRM/Metroplan, Porto Alegre. p. 56.

RUBBO, M. 2004. **Análise do potencial hidrogeológico do aquífero cenozoico da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Engenharia. 117p.

SAG. SERVICIO AGRÍCOLA GANADERO. 2006. **Conceptos y criterios para la evaluación ambiental de humedales**. Centro Ecología Aplicada Santiago. 81 p.

SALOMONI, S. E. 2004. **Diatomáceas epilíticas indicadoras da qualidade de água na bacia do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil**. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, Tese de Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais, 230p.

SCHEREN, R. S. 2014. **Urbanização na planície de inundação do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 123 p.

SILVA, R. C. 2016. **Estudo da dinâmica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS**. Salvador: Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado em Geociências. 330p

- SILVA, L. S.; GRIEBELER, G.; MOTERLE, D. F.; BAYER, C.; ZSCHORNACK, T. e POCOJESKI, E. 2011. Dinâmica da emissão de metano em solos sob cultivo de arroz irrigado no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 473-481.
- SIMIONI, J. P. D. 2017. **Pulsos de Inundação e conectividade em áreas úmidas, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Geografia. 143p.
- SIMIONI, J. P.; GUASSELLI, L. A. e ETCHELAR, C. B. 2017. Conectividade entre os humedais da EPA de Banhado Grande, RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.22, n.15. p. 1-11.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; GIASSON, E. e PINTO, L. F. S. 2008. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 222p.
- TUCCI, C. E. 1993. Controle de enchentes. **In: TUCCI, C. E. Hidrologia, ciência e aplicação**. Porto Alegre: EDUSP, 651-658p.
- VIERO, A. C.; TRAININI, D. R. e GIOVANNIN, C. A. 2000. Estudo Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí. **XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre/RS.7p.
- VILLWOCK, J.A. e TOMAZELLI, L.J. 2007. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. **In: BECKER, F.G.; RAMOS, R.A.; MOURA, L.A. (Org.). Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul**. 1ªed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, p. 20-33.

3. EVOLUÇÃO TEMPORAL DA VOÇOROCA, APA DO BANHADO GRANDE, MUNICÍPIO DE GLORINHA – RS, BRASIL

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) abrange uma área formada por um conjunto de banhados. No início da década de 1970 parte do rio Gravataí foi canalizado, com objetivo de drenar as Áreas Úmidas e viabilizar a expansão das áreas de cultivo do arroz. A degradação em Áreas Úmidas tem consequências como o aumento da frequência as inundações, além da deteriorização do solo e da vegetação de várias espécies pioneiras, tornando-se suscetível à erosão. A partir de canais de irrigação surgiram processos erosivos e a formação de voçorocas, pouco observadas em AUs. No Banhado Grande, no município de Glorinha - RS, ocorre um processo erosivo em forma de voçoroca. A partir da evolução temporal desta voçoroca, este estudo propôs: Mapear e quantificar, a partir de uma série temporal de imagens de alta resolução espacial, a evolução deste processo erosivo entre 2003 a 2015. Os resultados do mapeamento mostraram um significativo aumento da voçoroca passando de 2909,62 m² no ano de 2003, 7109,68 m² no ano de 2010 a 12097,70 m² em 2015. O fluxo hidríco contínuo no interior da voçoroca pela ressurgência do lençol freático e a disposição da estrutura do solo, possibilitou o contínuo arrastamento de sedimentos das camadas de solo que estão em contato direto com a água, levando ao solapamento das camadas superficiais, formando as circulares que evoluem para o alargamento da voçoroca e a verticalização do processo erosivo. Esse aumento de área do processo erosivo do tipo voçoroca evidencia o impacto da alteração da drenagem pelos canais de irrigação, levou a um processo de erosão em sulco que evoluiu para uma voçoroca de grande extensão, além disso, o uso da área para o pastoreio tem acelerado e contribuído para este processo.

Palavras-Chaves: Áreas Úmidas, Banhado, Voçoroca.

ABSTRACT

The Environmental Protection Area of the Grande Banhado (EPABG) covers an area formed by a set of swamp. In the beginning of the 1970s, part of the Gravataí river was channeled, with the objective of draining the wetlands and making possible the expansion of rice growing areas. Degradation in Wetlands has consequences such as increasing frequency of floods, besides the deterioration of the soil and vegetation of several pioneer species, becoming susceptible to erosion. Erosive processes and the formation of gullies from irrigation channels, little observed in WLs. In the Banhado Grande, in the municipality of Glorinha - RS, an erosive process occurs in the form of gully. Based on the temporal evolution of this gully, this study proposed: Map and quantify, from a time series of images of high spatial resolution, the evolution of this erosive process between 2003 and 2015. The results of the mapping showed a significant increase of the gully passing of 2909.62 m² in the year 2003, 7109.68 m² in the year 2010 to 12097.70 m² in 2015. The continuous flow of water inside the gully due to the resurgence of the water table and the disposition of the soil structure allowed the continuous sediment entrainment of the soil layers that are in direct contact with the water, leading to overlapping of the superficial layers, forming the circular ones that evolve for the widening of the gully and the verticalization of the erosive process. This increase in the area of the erosion

process of the gully type evidences the impact of the alteration of the drainage through the irrigation channels, led to a process of erosion in furrow that has evolved to a large extension; in addition, the use of the area for grazing has accelerated and contributed to this process.

Keywords: Wetlands, Swamp, Gully.

3.1 INTRODUÇÃO

A erosão e o intemperismo são processos naturais que ocorrem em equilíbrio com a formação do solo, conforme a evolução do relevo ao longo do tempo (HUTTON, 2008). Porém, a erosão pode ter origem antrópica, causada pelo uso intenso e inadequado do solo (CORRÊA, 1959). Erosão é mais frequentemente desencadeada, ou acelerada, por uma combinação de uso inadequado da terra e de eventos extremos de chuva (GALETI, 1984; RISER, 1995; VALENTIN, POESEN e YONG, 2005; GUERRA, 2011).

Conceitualmente, é importante distinguir os processos de erosão por escoamento laminar, dos processos de erosão linear acelerada que, envolvem a movimentação de grandes massas de solo e sedimentos, conhecidos no Brasil como sulcos, ravinas e voçorocas (D'AGOSTINI, 1999; ALMEIDA-FILHO e ALMEIDA, 2016).

Voçorocas têm paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos. As voçorocas podem ser originadas pelo aprofundamento e alargamento de ravinas, ou por erosão causada pelo escoamento subsuperficial, dando origem a dutos. A erosão em dutos ocorre sob o efeito de água de escoamento superficial e subsuperficial, que penetra em furos biogênicos, ou fendas de diversas origens (GUERRA, SILVA e BOTELHO, 1999; BIGARELLA, 2007; SUERTEGARAY *et al.*, 2008).

Variáveis físicas como áreas de vertentes e solos arenosos, caracterizam áreas suscetíveis à erosão do tipo voçoroca. A erosão do solo é uma ameaça ambiental significativa

para a sustentabilidade e capacidade produtiva da agricultura ao redor do mundo (IMESON e CURFS, 2006; CHRISTOPHERSON, 2012).

Embora reconhecido como um problema, ainda há relativamente poucas publicações analisando de forma sistemática a extensão da erosão induzida por irrigação. A maioria dos inventários sobre erosão são voltados para o desenvolvimento da tecnologia para entender, prever e mitigar a erosão induzida por precipitação, deixando uma lacuna sobre a erosão induzida por irrigação (SOJKA, BJORNEBERG e STRELKOFF, 2007).

Processos erosivos em canais de irrigação e formação de voçorocas são ainda menos observados em Áreas Úmidas (AUs). A degradação em AUs, tem consequências como o aumento da frequência as inundações e a ocorrência dos incêndios em turfas (McCARTHY *et al.*, 2007), além da deterioração do solo e da vegetação de várias espécies pioneiras, tornando-se suscetível à erosão.

A fragmentação das AUs é um dos principais problemas relacionados com a conservação da sua biodiversidade, através da diminuição da área de conectividade entre os habitats naturais (ROLON, HOMEM e MALTCHIK, 2010). No Rio Grande do Sul, maior produtor orizícola do país, esta fragmentação é provocada, principalmente, pela organização de uma rede de canais de irrigação associados à prática da cultura do arroz irrigado.

Um trecho do rio Gravataí foi retificado pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS, 1985), através de incentivos governamentais, com a intenção de ampliar as áreas para rizicultura. Esta abertura se deu no final da década de 1960 e início de 1970, e se estende do curso médio do rio até uma das suas nascentes, o Banhado Grande, percorrendo uma distância de aproximadamente 20 km (FEPAM, 2014).

Apesar da suspensão da abertura do canal, para a conservação e manutenção dos banhados, por investimentos próprios, os produtores rurais decidiram expandir em 5,8 km o canal de drenagem em direção ao Banhado Grande. A abertura indiscriminada destes canais de

drenagem alterou o regime hídrico da bacia, gerando caminhos livres para o escoamento das águas, causando impactos no seu regime hidrológico (IPH, 2010; BRENNER, 2016).

Em AUs a abertura de canais cria rotas preferenciais para a descarga hídrica, a partir do alargamento, aprofundamento e escoamento destes canais. A canalização de rios e córregos ameaça as comunidades biológicas, acelera a drenagem de AUs, expondo algumas espécies a altas taxas de predação (HOOVER, 2009).

A alteração da drenagem pelos canais de irrigação levou a um processo de erosão em sulco que evoluiu para uma voçoroca ativa de grande extensão na área do Banhado Grande. Além disso, o uso da área para o pastoreio tem acelerado e contribuído para este processo. De acordo com Dias e Thomaz (2011), o gado contribui com a erosão não somente devido ao desmoronamento das margens (efeito direto), mas também pela dificuldade de infiltração das águas da chuva. O escoamento superficial remove e transporta grande volume de sedimentos para dentro do canal (efeito indireto).

Assim, o objetivo deste trabalho, é compreender a evolução temporal da voçoroca, na Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) entre 2003 e 2015.

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do rio Gravataí (BHRG) situa-se na região Leste do Rio Grande do Sul. Estende-se entre Porto Alegre e o delta do rio Jacuí a Oeste, e a zona de lagoas costeiras, entre as longitudes 50°27' S e 51°12' O. 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, entre as latitudes de 29°45'O e 30°12' S (RUBBO *et al.*, 2002).

Criada em 23 de outubro de 1998, para compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a proteção dos ecossistemas naturais ali existentes, a Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG) está inserida na BHRG, Figura 3.1.

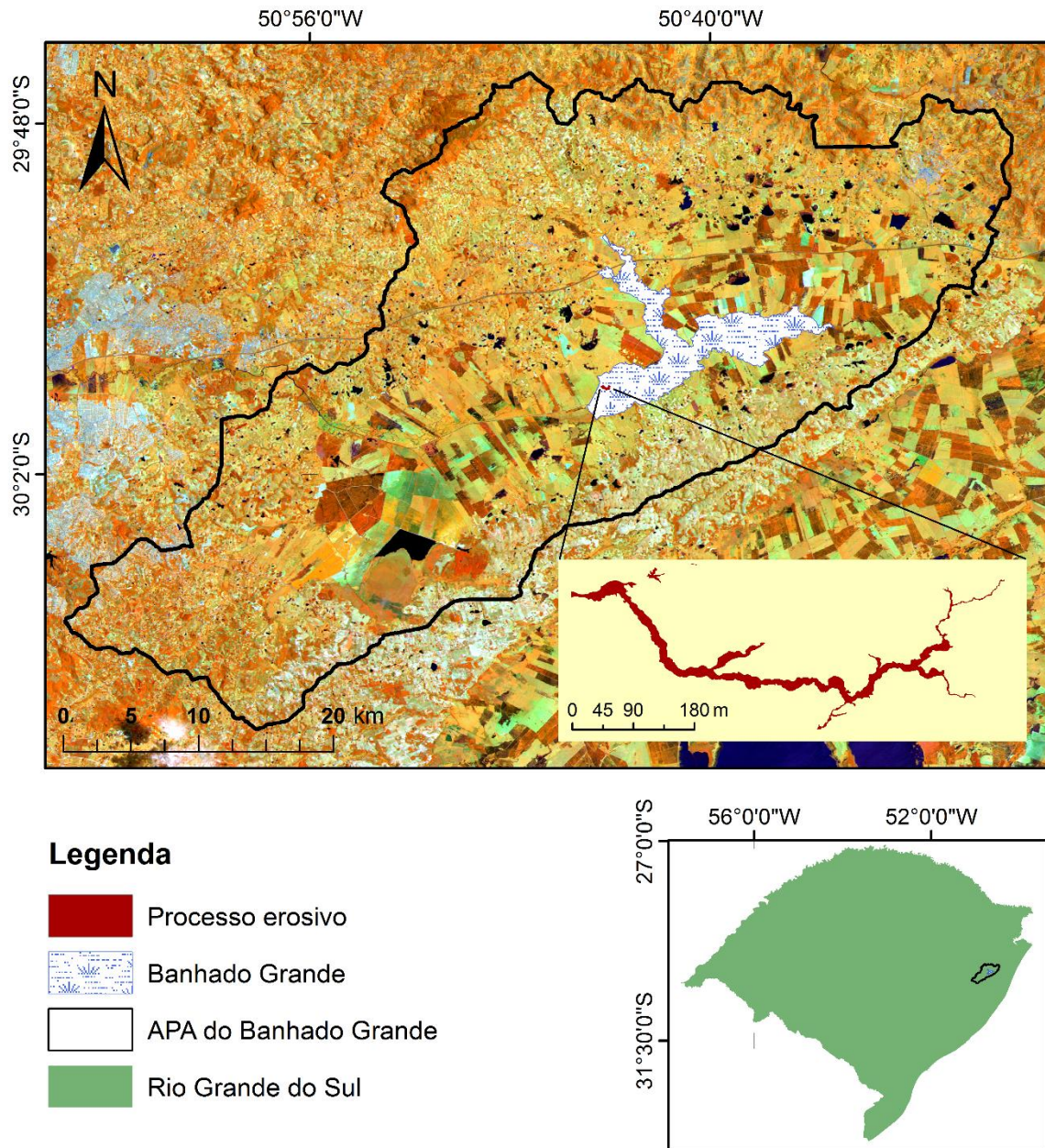


Figura 3.1. Localização das áreas de erosão, APA do Banhado Grande. **Fonte:** UGS. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

A APABG possui 136.935 ha, distribuídos entre os municípios de Glorinha, Gravataí, Santo Antônio da Patrulha, Taquara e Viamão. Na área 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; ACCORDI e HARTZ, 2006), integrando um complexo de AUs que dão origem ao rio Gravataí.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

Uma série temporal de imagens foi obtida a partir do banco de imagens de satélite disponíveis no *software Google Earth Pro*, para o mapeamento da evolução do processo erosivo na área do Banhado Grande, com das seguintes datas: (a) 14/11/2003; (b) 18/03/2010; (c) 05/03/2012; (d) 30/01/2013; (e) 04/04/2014; e (f) 29/07/2015.

Para a elaboração dos mosaicos, as imagens foram recortadas com uma sobreposição de 30%, num total de 100 imagens. A captura das imagens foi obtida com altitude fixada em 400 metros, para obter o melhor detalhamento das feições para o mapeamento.

Os mosaicos foram georreferenciados no *software ArcGIS 10.3*, com a base de coordenadas geográficas obtidas do *Google Earth Pro*. Para a sobreposição das imagens após o georreferenciamento, foram definidos pontos de referências de todas as imagens para retificação, através da ferramenta *Shift* e correção de cenas inteiras.

Na ferramenta *ArcMaps* do ArcGIS, foram vetorizados os processos erosivos, a partir da série temporal dos mosaicos nos anos de 2003, 2010, 2012, 2013, 2014 e 2015, e realizada a sua quantificação. A sobreposição dos *shapes* de erosão visou analisar o avanço do processo erosivo na área do Banhado Grande.

Foram coletadas amostras de solos, no interior da voçoroca, para a análise granulométrica, para verificar as porcentagens de areia, silte e argila de cada horizonte do perfil. Foram coletados, aproximadamente 500 gramas de solo, armazenados em sacos plásticos, devidamente identificados. As amostras foram denominadas de perfil 1, 2, 3 e 4 em uma sequência de topo para base e processados no programa PANICOM/SAG, do CECO-UFRGS.

Após remover o solo alterado do perfil em forma de uma caneleta, foram identificados quatro horizontes bem definidos.

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A vetorização da área de voçoroca no Banhado Grande, a partir da análise temporal das imagens satelitais, permitiu acompanhar a evolução do processo erosivo entre 2003 e 2015, Figura 3.2.

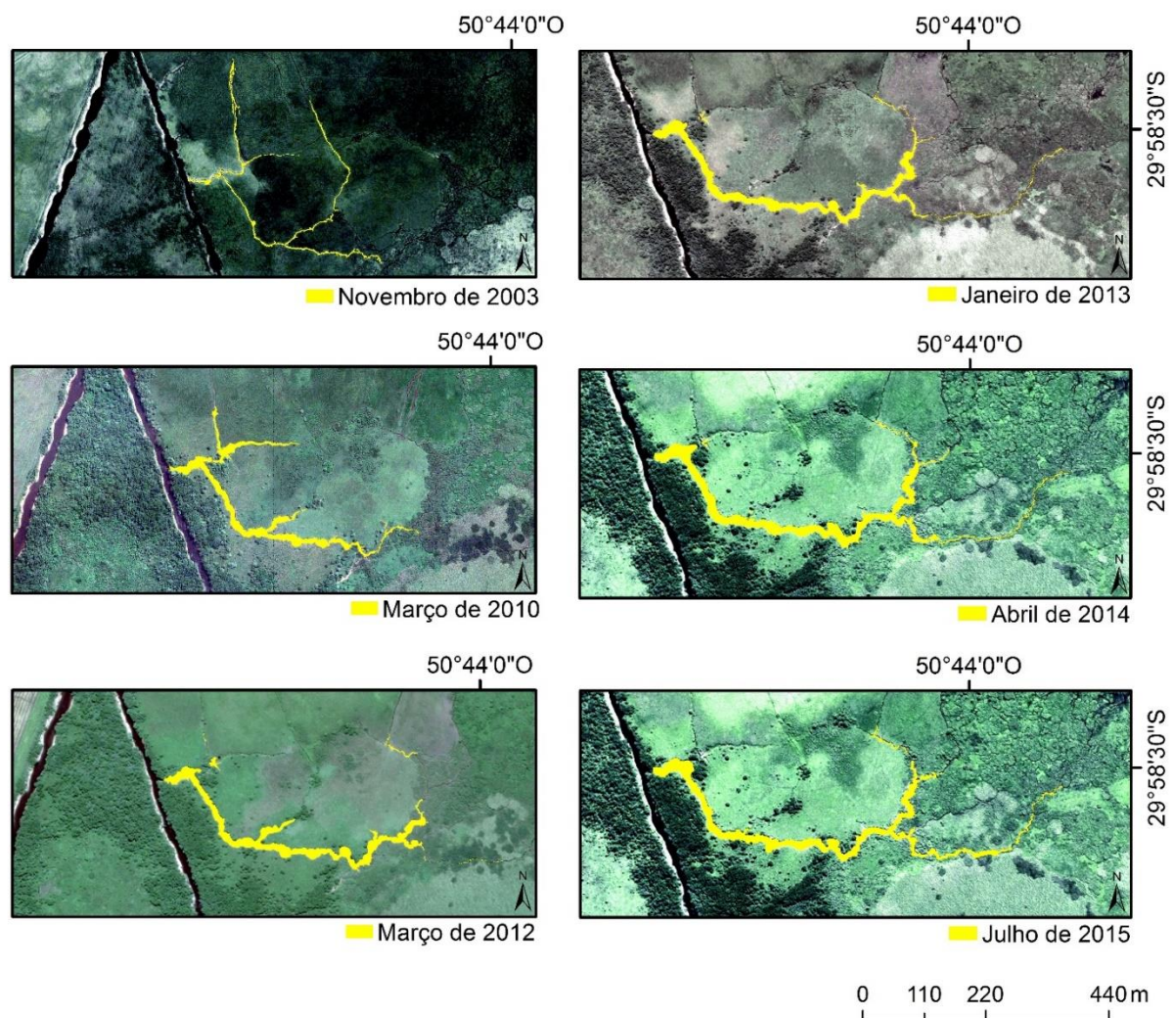


Figura 3.2. Análise temporal da voçoroca, entre 2003 e 2015. **Fonte:** *Google Earth Pro*. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Nos canais de drenagem do Banhado Grande, o fluxo hídrico se dá da área do banhado para a planície de inundação do rio Gravataí. O mapeamento da voçoroca para a imagem de novembro de 2003, em comparação ao mapeamento da voçoroca em junho de 2015, mostra uma considerável evolução no processo de voçorocamento. Esse processo se caracteriza principalmente pelo alargamento e erosão remontante destas drenagens, que leva a uma rápida transformação da paisagem do banhado.

Segundo Augustin e Aranha (2006) para que um canal evolua para uma voçoroca, a condição necessária é, além da atuação da erosão, a presença de um conjunto de processos, entre os quais o solapamento de solo e os dutos. Estes desestabilizam as paredes e a cabeceira do canal, provocam seu alargamento e sua evolução à montante, caracterizando uma voçoroca.

Na imagem de novembro de 2003, observa-se uma tendência da voçoroca em evoluir para o Norte. Entretanto, nas imagens seguintes, observa-se que a vegetação exerceu um papel fundamental na estabilização do solo. CHAVES *et al.* (2012), recomendam para solos pouco drenados, ou seja, solos úmidos ou subúmidos a leguminosa (*Mimosa bimucronata*), popularmente conhecida por “Maricá”, para a recuperação e estabilização de áreas degradadas por processos erosivos.

Construído perpendicularmente em relação à direção do fluxo das águas superficiais e do fluxo de águas subterrâneas, o canal aberto pelos rizicultores, influenciou na mudança da dinâmica da vazão do banhado. Segundo IPH (2010), a velocidade da água no canal é discordante da situação natural. Antes da retificação o curso do rio Gravataí era meandrante e estava associado a baixas declividades. Atualmente, no canal, a situação é oposta, com um trecho retilíneo e alta velocidade.

A BHRG tem como o domínio morfoestrutural dos depósitos sedimentares corresponde a unidades de 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 voçoroca forma-se em região limítrofe de duas estruturas geológicas distintas, formada de depósitos paludais e depósito de planícies lagunares, caracterizando o perfil do solo da área com a sobreposição de horizontes arenosos sobre horizontes argilosos (ETCHELAR, 2014).

O processo erosivo é remontante e se estabelece a partir do momento em que a intensidade da precipitação excede a taxa de infiltração (FILIZOLA *et al.*, 2011). Na medida em que a enxurrada se movimenta, diminui, portanto, a infiltração da água no solo e aumenta o escoamento superficial, Figura 3.3. No trecho canalizado, que corta perpendicularmente a percolação da água que sai do banhado em direção a planície de inundação do rio Gravataí, se inicia o processo de voçorocamento.

Destaca-se que o trecho canalizado já passou por um intenso processo erosivo, com acentuada verticalização. A partir do acentuado desnível do banhado em relação ao canal, o escoamento superficial gera de forma remontante a voçoroca.



Figura 3.3. Imagem em período de inundação no Banhado Grande em setembro de 2012. O setor nordeste da imagem evidencia o fluxo hídrico superficial em concordância com a evolução da voçoroca até o rompimento no trecho do rio Gravataí. **Fonte:** *Google Earth Pro*. **Elaborado por:** Etchelar C. B.

A análise de solo da classe Gleissolo, das amostras 01, 02 e 03, ordenadas do topo para base, demonstram predomínio de solo arenoso. Já a amostra 04, apresenta grande porcentagem de argila, este horizonte compreende o nível de base da voçoroca (Tabela 3.1). Assim, justifica-se o processo erosivo atingir o nível de base, quando atinge o horizonte referente à amostra 4, denominado Argilosiltearenoso. Os horizontes 01; 02 e 03 de solo Arenosilteargiloso, estão mais suscetíveis aos processos erosivos, por apresentarem o predomínio granulométrico areia.

Tabela 3.1. Análise granulométrica do solo. **Elaborado por:** ETCHELAR (2014).

	Amostra 01 Arenosilteargiloso	Amostra 02 Arenoargilosiltoso	Amostra 03 Arenosilteargiloso	Amostra 04 Argilosilearenoso
Cascalho	0%	0%	0%	0%
Areia	63,96%	74,80%	52,24%	16,75%
Silte	29,87%	10,39%	18,11%	22,61%
Argila	6,16%	14,80%	29,63%	60,62%

O solo exposto nas vertentes da voçoroca é suscetível à ação mecânica exercida pela água. 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.

Destaca-se na voçoroca em março de 2012, Figura 3.2, a presença de formações circulares. Estas formas, classificadas como ovoides, são formas típicas e apresentam a configuração de um anfiteatro de paredes íngremes na parte superior e um canal estreito à jusante (MAGALHÃES, 2001).

A Figura 3.4 exemplifica a dinâmica destas formações circulares. O fluxo hidríco ondulatório contínuo no interior da voçoroca pela ressurgência do lençol freático e a disposição da estrutura do solo, possibilita o contínuo arrastamento de sedimentos das camadas de solo que estão em contato direto com a água (Figura 4a). Levam ao solapamento das camadas

superficiais, Figura 4b, formando as circulares que evoluem para o alargamento da voçoroca, ou seja, a verticalização do processo erosivo (BIGARELLA, 2007).

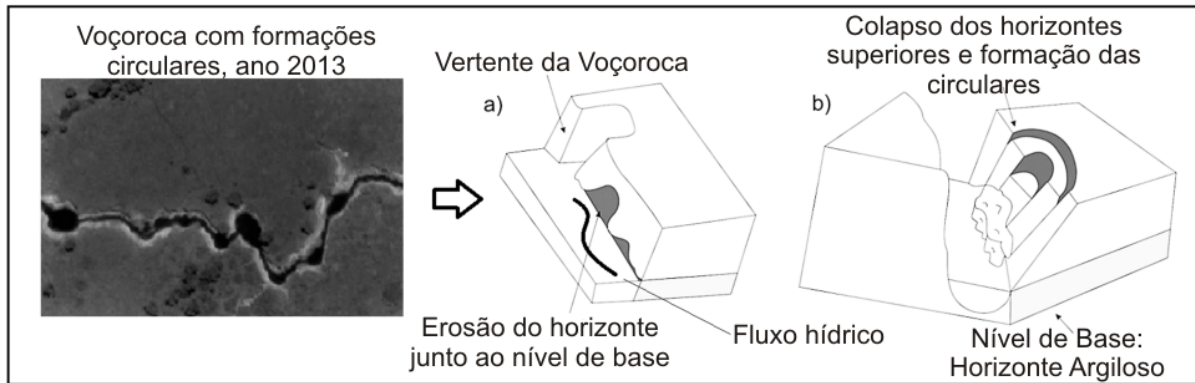


Figura 3.4. Esquema da formação circular na vertente da voçoroca. **Fonte:** Modificado de Bigarella, 2007 e Google Earth Pro. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Apesar da lacuna de análise entre 2003 e 2010, a partir da imagem de 2010 destaca-se o considerável aumento e alargamento do processo erosivo, principalmente entre 2013 a 2014.

Este avanço da voçoroca pode estar relacionado a um evento de grande precipitação em agosto de 2013. Essa dinâmica de pulsos de inundação (SIMIONI, 2017) pode aumentar o poder de desagregação e carreamento do solo. A média histórica de chuva de agosto em Porto Alegre (série 1961-1990) é de 140,0 mm. Em agosto de 2013 foi registrado o mês mais chuvoso das últimas décadas, a média de onze estações pluviométricas na área foi de 252,50 mm, concentrando nos dias 26, 27 e 28 de agosto de 2013 a maior parte do volume total da precipitação (CEIC, 2016).

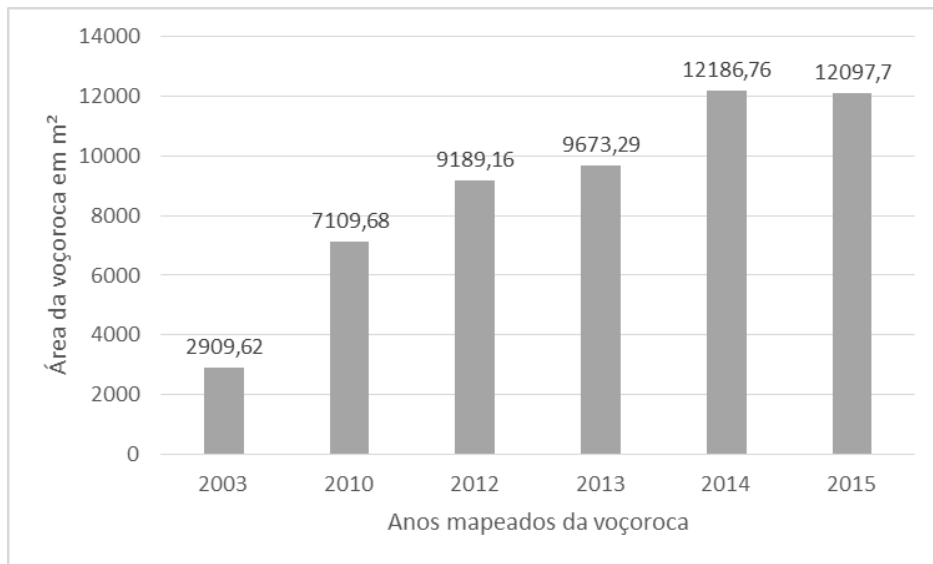
Esta alta precipitação levou a ruptura de um dique do sistema de proteção de Porto Alegre contra enchentes junto à planície de inundação do rio Gravataí, provocando graves inundações na região norte do município de Porto Alegre (GROHMANN, 2013).

As atividades de pastoreio também são agentes aceleradores dos processos erosivos. O gado remove a vegetação das margens, eliminado assim a função de filtro exercida pela vegetação (DIAS e THOMAZ, 2011). Além da remoção do solo por desbarrancamento que ocorre na travessia do gado de uma margem a outra do canal. Consequências resultantes do

manejo do gado podem incluir alterações na hidrologia de bacias hidrográficas, como alterações de fluxo hidrológico, morfologia e erosão, compactação do solo, destruição da vegetação e deficiências da qualidade de água (AGOURIDIS *et al.*, 2005).

Somente a partir de 2014 o gado foi retirado da área da voçoroca, o que até então era uma prática comum na área. Com isso, em algumas áreas, houve um aumento da recomposição da vegetação. Essa variação levou a estabilização do processo erosivo em alguns pontos da voçoroca, evidenciados pelas imagens entre 2014 e 2015, Gráfico 1.

Gráfico 1. Área da voçoroca entre 2003 e 2015. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.



Também são evitados outros processos, sem o pisoteio do gado, como a compactação do solo, a formação de caminhos preferenciais para a percolação da água, e o desbarrancamento das bordas da erosão para o acesso do gado a água e a travessia que os animais realizam de um lado a outro do canal, Figura 3.5.

A evolução da voçoroca faz com que ela se torne um canal de fluxo acumulado, onde existe uma preferência no escoamento hídrico do banhado em direção ao canal de irrigação. Provavelmente, este fluxo hídrico antes da retificação do canal, era um fluxo mais lento

associado à densa cobertura de vegetação e a capacidade de carga do banhado, em direção a planície de inundação, como observado em estudo realizado em AUs por Whitlow (1994).



Figura 3.5. Presença da produção bovina e o impacto das trilhas do gado, área do Banhado Grande.
Elaborado por: fotos de ETCHELAR, C. B., em 16 de julho de 2013 e 17 de maio de 2014.

Uma vez que parte do fluxo hídrico superficial acaba sendo concentrado no interior da voçoroca, além de aumentar o poder de carregamento de sedimentos, a área em torno não se mantém alagada, levando o banhado a permanecer seco por mais tempo, alterando assim sua vegetação.

Uma vez desenvolvidas as ravinas e voçorocas, além do fluxo acumulado, em muitos casos, ocorre o escoamento de sedimentos e produtos químicos de propriedades agrícolas para os cursos d'água. Assim, há uma necessidade de acompanhamento, estudos experimentais e modelagem da voçoroca como base para prever os efeitos das mudanças ambientais sobre as taxas de erosão (POESEN *et al.*, 2003).

A partir da sobreposição dos limites da voçoroca dos anos de 2003; 2010; 2012; 2013; 2014 e 2015, é possível destacar o intenso processo do alargamento lateral da voçoroca. Conforme a Figura 3.6, o processo encontra-se em pleno processo de evolução como observado em (Figura 3.6b), salientando que o alargamento da voçoroca tem a tendência alargamento mais acentuado na direção leste, ou seja, de jusante para montante. Na (Figura 3.6b) fica evidente

que o processo de alargamento na área a jusante da voçoroca, encontra-se em processo de estilização.

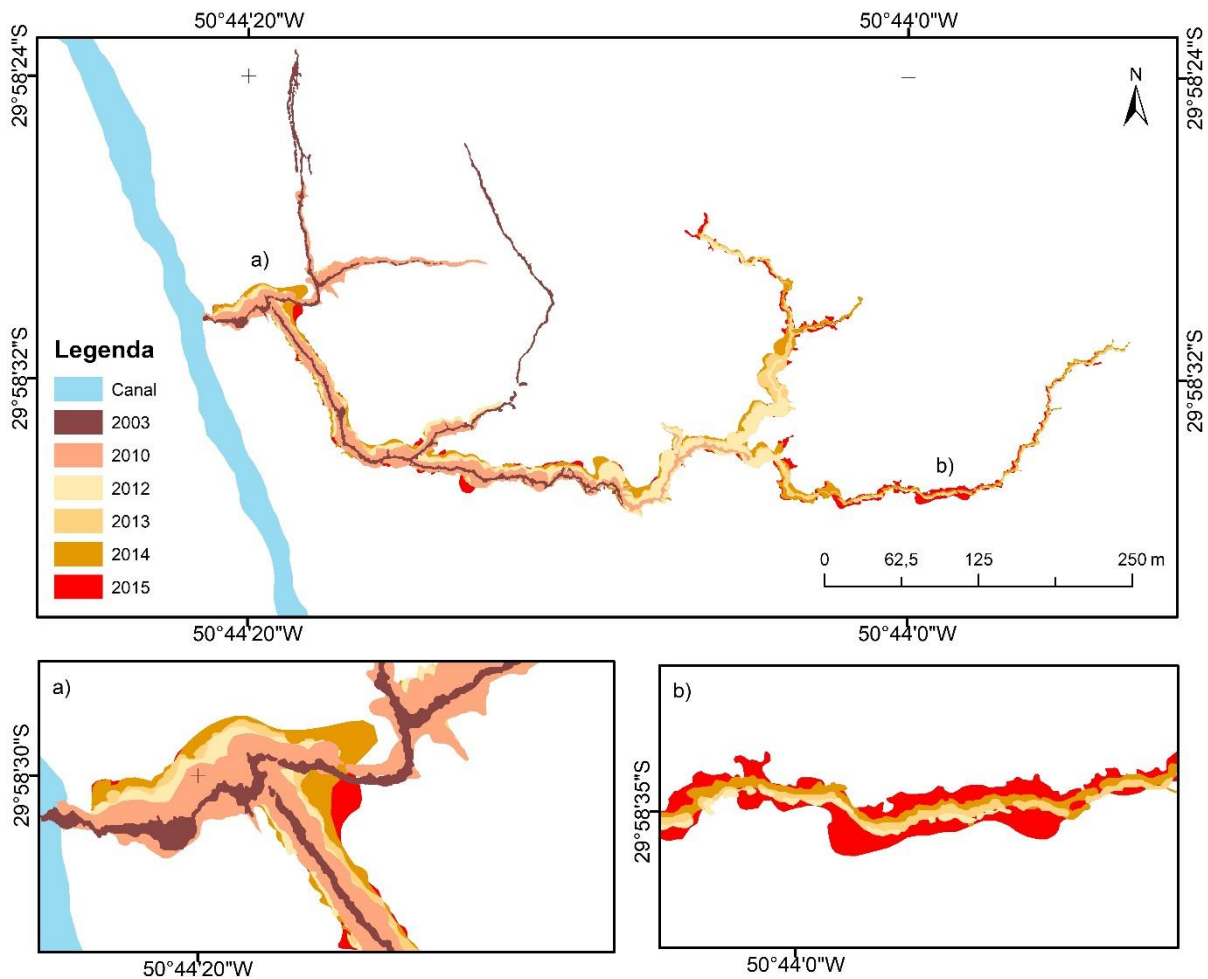
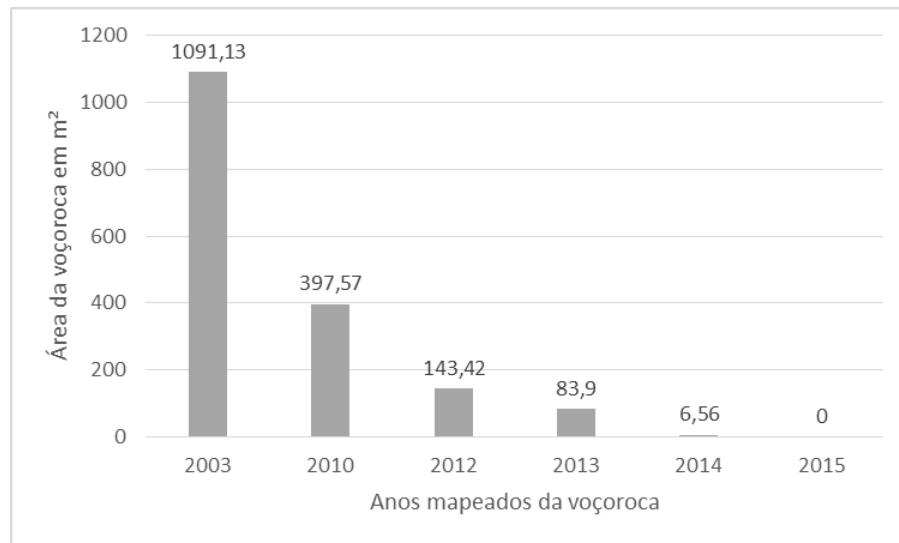


Figura 3.6. Mapa síntese da evolução temporal da voçoroca, APABG. **Fonte:** Goolge Earth Pro. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Na erosão formada ao sul da voçoroca, Figura 3.7 e Gráfico 2, verifica-se em comparação ao ano de 2003, que existe uma estabilização no processo erosivo com a regeneração da vegetação e a diminuição do solo exposto, onde constatamos uma área de 1091,13 m² em 2003; 397,57 m² em 2010; 143,42 m² em 2012; 83,9 m² em 2013; 6,56 m² em 2014, chegando a zerar o seu processo erosivo no ano de 2015.

Gráfico 2. Área de erosão ao sul da voçoroca, entre 2003 e 2015, APABG. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.



A regeneração e estabilização do processo erosivo à sul voçoroca pode estar associada a recuperação/estabilização da cobertura vegetal neste ponto, além da concentração e acúmulo do fluxo hídrico na voçoroca.

O maricá é um arbusto de ocorrência natural em todo o litoral brasileiro, com maior concentração na região Sul, indicada para a estabilização de processos erosivos, Figura 3.7. Caracteristicamente melhora a qualidade dos solos que sofrem com processos erosivos, além de adaptar-se bem a solos úmidos e sujeitos a inundação periódica (CARVALHO, 2004).



Figura 3.7. Estabilização da erosão ao sul da voçoroca, entre 2010 e 2015. **Fonte:** *Google Earth Pro*. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A série temporal de imagens para análise das feições da voçoroca permitiu com eficácia mapear e quantificar a acelerada dinâmica de evolução do seu processo erosivo, passando de 2909,62 m² em 2003 a 12097,70 m² em 2015.

Por tratar-se de uma área de banhado a dinâmica da voçoroca não se associa a ausência da cobertura vegetal ou a declividade, e sim, a um histórico inadequado de uso e ocupação das terras pela prática do arroz irrigado e o manejo desta cultura em consórcio com a produção de gado.

A análise dos solos da vertente da voçoroca permitiu identificar horizontes superficiais com maior porcentagem de areia, até o “nível de base”, com solos com maior porcentagem de argila.

O canal construído pelo DNOS passou por um processo erosivo remontante, chegando a área limítrofe do banhado e do canal que corta perpendicularmente a percolação da água que sai do banhado em direção a planície de inundação do rio Gravataí, ocasionando o acelerado processo de voçorocamento no período de doze anos nesta área.

3.6 REFERÊNCIAS

- ACCORDI, I. A. e HARTZ, S. M. 2006. Distribuição espacial e sazonal da avifauna em uma área úmida costeira do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 14, n. 2, p. 117-135.
- AGOURIDIS, C. T.; EDWARDS, D. R.; WORKMAN, S. R.; BICUDO, J. R.; KOOSTRA, B. K.; VANZANT, E. S. e TARABA, J. L. 2005. Streambank erosion associated with grazing practices in the humid region. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 1, p. 181-190.
- ALMEIDA-FILHO, S. e ALMEIDA, J. 2016. Erosão hídrica do tipo ravina e boçoroca. **Anais...** 3º Congresso da Sociedade de Análise de Risco Latino Americana. São Paulo: ABGE. 7 p.
- AUGUSTIN, C. H. R. R. e ARANHA, P. R. A. 2006. Piping em área de voçorocamento, Noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 7, nº 1, p. 09-18.
- BIGARELLA, J. J. 2007. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Volume. 3. Florianópolis: Ed. Da UFSC, p.877-1436.

BRENNER, V. C. 2016. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 94 p.

CARVALHO, P. E. R. 2004. Maricá – Mimososa bimucronata. **Circular Técnica 94**. Colombo: EMBRAPA Florestas Paraná, 10p.

CEIC - Centro Integrado de Comando. 2016. **Metroclima**. Volume de Chuva. Média Histórica. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/ceic/default.php?P_secao=28>. Acesso em: 14 de Ago. de 2016.

CHAVES; T. A.; ANDRADE, A. G.; LIMA, J. A. S. e PORTOCARRERO, H. 2012. **Recuperação de áreas degradadas por erosão no meio rural**. Manual Técnico, 34. Niterói: Programa Rio Rural, 21p.

CHRISTOPHERSON, R. W. 2012. **Geossistemas: uma introdução à Geografia Física**. 7 ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 728p.

CORRÊA, M. A. A. 1959. **Métodos de combate à erosão do solo**. Serviço de informação agrícola. Rio de Janeiro: GB (Brasil). 152p.

D'AGOSTINI, L. R. 1999. **Erosão: o problema mais que o processo**. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 131p.

DIAS, W. A. e THOMAZ, E. L. 2011. Avaliação dos efeitos de pastoreio sobre a erosão em margens de canal fluvial em sistema de faxinal. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n.1, p. 23-35.

DNOS. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. 1985. Planejamento Integrado dos Recursos Hídricos da Bacia do rio Gravataí. Projeto de coordenação técnica Brasil-Alemanha. **Estudos integrados de bacias hidrográficas**, v.2. 334p.

ETCHELAR, B. C. 2014. **Análise do Processo Erosivo no Banhado Grande, APA do Banhado Grande, Município de Glorinha – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 72 p.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler/RS. 2014. Qualidade Ambiental. **Região Hidrográfica do Guaíba**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/guaiba.asp>>. Acesso em: 09 de Dez. de 2015.

FILIZOLA, E. F.; ALMEIDA-FILHO, G. S.; CANIL, K.; SOUZA, M. D. e GOMES, M. A. 2011. Controle dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas) em áreas de solos arenosos. **Circular Técnica 22**. Jaguariuna: EMBRAPA São Paulo, 7p.

GALETI, P. A. 1984. **Práticas de controle à erosão** – Instituto Campineiro de pesquisas agrícolas / Campinas: SP. 154p.

GUERRA, A. J. T. 2011. **Geomorfologia urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 277p.

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

GROHMANN, A. 2013. Estacionamento da Fiergs alaga após dique romper. **Correio do Povo**, Porto Alegre, 31 agosto.

HOOVER, J. P. 2009. Effects of hydrologic restoration on birds breeding in forested wetlands. **Wetlands**, v. 29, n. 2, p. 563-573.

HUTTON, J. 2008. Intemperismo e erosão. In: PRESS, F.; GROTZINGER, J.; SIEVER, R. e JORDAN, T. H. Para entender a Terra. 4a. ed. Porto Alegre: Bookman, p. 169-192.

IMESON, A. e CURFS, M. 2006. **Erosão do solo**. Lucinda, Land Care in Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série fascículo B, nº1. 15p.

IPH - instituto de pesquisas hidráulicas. 2010. **Estudo do processo erosivo em área de banhado na bacia hidrográfica do Rio Gravataí**. Porto Alegre: UFRGS, 43p.

MCCARTHY, T. S.; ARNOLD, V.; VENTER, J. e ELLERY, W. N. 2007. The collapse of Johannesburg's Klip River wetland. **South African Journal of Science**, v. 103, n. 10/9, p. 391-397.

MAGALHÃES, A. M. 2001. Erosão: Definições, Tipos e Formas de Controle. **Anais... VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão**. Goiânia - GO, 11p.

MENEGHETTI, J. O. 1998. Lagunas uruguayas y sur de Brasil. **In: CAVERNARI, P.; DAVIDSON, I.; BLANCO, D.; CASTRO, G. e BUCHER, E. (Ed.). Los humedales de América do Sul: uma agência para a conservação da biodiversidade e políticas de desarrollo**. Buenos Aires: Wetlands International.

POESEN, J.; NACHTERGAELE, J.; VERSTRAETEN, G. e VALENTIN, C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. **Catena**, v. 50, n. 2-4, p. 91-133.

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

RISER, J. 1995. **Erosão e Paisagens naturais**. Tradutor: VIEGAS, A. Lisboa: Instituto Piaget, 125p.

ROLON, A. S.; HOMEM, H. F. e MALTCHIK, L. 2010. Aquatic macrophytes in natural and managed wetlands of Rio Grande do Sul State, Southern Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 22, n. 2, p. 133-146.

RUBBO, M.; MARQUEZAN, R. G.; CAICEDO, N. L. e LEÃO, M. I. 2002. Diagnóstico Quali-Quantitativo do Aquífero Freático da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí - RS. **In: XII Congresso brasileiro de Águas Subterrâneas**, Florianópolis. 19p.

SIMIONI, J. P. D. 2017. **Pulsos de Inundação e conectividade em áreas úmidas, Área de Proteção Ambiental do Banhado Grande – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Geografia. 143p.

SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L. e STRELKOFF, T. S. 2007. Irrigation Induced Erosion **In: LASCANO, R. J. e SOJKA, R. E. (eds.) Irrigation of Agricultural Crops**, Agronomy monograph n. 30. ASA, CSSA, SSSA. Madison, p.237-275.

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

VALENTIN, C.; POESEN, J. e YONG, Li. 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, v. 2-3, p. 132-153.

WHITLOW, R. 1994. Gullying Within Wetlands In Zimbabwe: Gully Development And Factors Influencing Gully Growth. **South African Geographical Journal**, v. 76, n. 2, p. 41-48.

4. METODOLOGIAS PARA MONITORAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS NO BANHADO GRANDE - BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRAVATAÍ

RESUMO

A falta de um Plano de Manejo na Área de Preservação Ambiental do Banhado Grande (APABG), levou a ocorrência de processo erosivo em forma de voçoroca no Banhado Grande. Nesse sentido, o objetivo deste estudo, é aplicar técnicas de mapeamento para viabilizar o seu monitoramento. A construção metodológica dividiu-se nas seguintes etapas: (a) revisão bibliográfica; (b) trabalhos de campo na área de estudo que compreenderam percursos terrestres e trechos fluviais; (c) registro fotográfico; (d) monitoramento da erosão em campo por estacas; (e) mapeamento da evolução do processo erosivo através de imagens satelitais; e (f) o uso do Laser Scanner Terrestre para mapeamento do processo erosivo. O monitoramento por estacas foi prejudicado pela presença do gado que arrancou vários pontos de controle. O mapeamento dos processos erosivos através de imagens satelitais, torna-se um importante técnica para áreas de grande extensão e de difícil acesso como se configura as áreas de banhado. Com a varredura do Laser Scanner Terrestre, obteve-se o modelo digital do terreno para a criação de perfis topográficos que ajudaram a dimensionar a altura, largura e as áreas de deposição e erosão de sedimentos na margem do canal da voçoroca. Se faz necessário continuar o monitoramento da voçoroca para um diagnóstico e um prognóstico correto, possibilitando a implementação adequada de técnicas para recuperação da área.

Palavras-Chaves: Banhado, erosão, “laser scanner” terrestre.

ABSTRACT

The lack of a Management Plan in the Area of Environmental Preservation of the Great Plains (EPABG), led to the occurrence of erosive process in the form of gullies at the Banhado Grande. In this sense, the objective of this study is to apply mapping techniques to enable its monitoring. The methodological construction was divided into the following stages: (a) bibliographic review; (b) fieldwork in the study area comprising land and river trails; (c) photographic record; (d) monitoring of field erosion by cuttings; (e) mapping of the evolution of the erosive process through satellite images; and (f) the use of the Terrestrial Laser Scanner for mapping the erosive process. Stake monitoring was hampered by the presence of cattle that took off several control points. The mapping of the erosive processes through satellite images, becomes an important technique for areas of great extension and of difficult access as it configures the areas of plated. With the scanning of the Terrestrial Laser Scanner, the digital terrain model was obtained for the creation of topographic profiles that helped to size the height, width and the areas of deposition and erosion of sediments in the margin of the gutter channel. It is necessary to continue the monitoring of the gully for a diagnosis and a correct prognosis, allowing the adequate implementation of techniques for recovery of the area.

Keywords: Swamp, erosion, laser scanner.

4.1 INTRODUÇÃO

As áreas planas e inundáveis da Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí (BHRG), têm sido amplamente utilizadas para agricultura e pecuária intensiva, como produção de arroz e pastejo de gado. Esse uso agrícola intensivo, a partir da drenagem das áreas inundáveis para o cultivo de arroz, transformou alguns cursos d'água em canais de irrigação, impactando todo o sistema hidrológico das Áreas Úmidas (AUs) (GUASSELLI, ETCHELAR e BELLOLI, 2013; BRENNER e GUASSELLI, 2015).

Com a retificação e canalização não cimentada do rio Gravataí, a partir da escavação e abertura de um canal retilíneo (SCHEREN, 2014) que tinha como objetivo o início do processo de drenagem do Banhado Grande, o trecho canalizado passou de meândrico para retilíneo, com um conseqüente aumento da velocidade da água (BRENNER, 2015).

Estas alterações levaram a um acelerado processo erosivo em forma de voçoroca (ETCHELAR, 2014) em uma das principais nascentes do rio Gravataí, o Banhado Grande. Os processos erosivos são intensificados quando há interferência humana, a exemplo do manejo inadequado do solo, fato causador de enormes prejuízos ao ambiente (RIBEIRO, TOCANTINS e FIGUEIREDO, 2013).

Imagens obtidas por sensores a bordo de satélites permitem identificar áreas com risco de erosão como voçorocas que removem grandes volumes de solo (KING *et al.*, 2005; PERROY *et al.*, 2010). A partir do Sensoriamento Remoto podem-se obter informações sobre as variações temporais de áreas contribuintes e as mudanças que podem afetar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas (MATHIEU, KING e LE BISSONNAIS, 1996).

O “Laser Scanner” terrestre (LST) utiliza a tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging* - detecção de distâncias através da luz) na aquisição de pontos com coordenadas tridimensionais, gerando dados a partir de nuvens de pontos. Nas últimas décadas, este tipo de sistema de varredura tem sido utilizado em estudos fluviais (HOHENTHAL *et al.*, 2011). A

moderna tecnologia de imagem panorâmica digital permite o uso integrado de dados de varredura a laser e imagens panorâmicas, aumentando as informações de conteúdo dos modelos 3D em ambientes ribeirinhos (ALHO *et al.*, 2011).

O LST é um sistema que registra a localização e as características de superfícies mapeadas, medindo a posição em três dimensões (X, Y e Z), cor natural (nem todos LST registram a cor das feições, só aqueles que possuem câmera acoplada) e intensidade de reflexão (ROCHA, 2002). Medindo a intensidade de retorno de sinal que corresponde a interação dos alvos com a superfície em função do comprimento de onda do feixe laser de cada instrumento (FERRAZ, SOUZA e REIS, 2016).

Shan e Toth (2008) classificam os LST em função do princípio de medição de distâncias em três categorias: Triangulação, Diferença de Fase e Tempo de Vôo de Sinal. Os LST de triangulação são os denominados lasers de mão. Possuem uma base com uma distância fixa e medidores que registram os ângulos de emissão e recepção e por lei dos senos ou por intercessão fotogramétrica registram as coordenadas. Os de diferença de fase registram as distâncias medidas em função da diferença de fase entre o pulso emitido e o pulso refletido pelas superfícies. Os LST de Tempo de Vôo de Sinal medem as distâncias em função do tempo entre o pulso emitido e refletido pelas superfícies e multiplicam esse valor pelo valor da velocidade da luz (FERRAZ, 2017).

Os dados obtidos através de varreduras laser podem gerar dois tipos de abordagens. Uma geométrica, onde são realizadas análises a partir das coordenadas tridimensionais, obtidas durante a varredura como controle de qualidade na geração de mapas topográficos, registro de monumentos históricos, cálculos de volumes e etc. Outra radiométrica, que pode ser analisada em relação ao comportamento físico procedente da informação espectral fornecida pelo Sistema de Varredura Laser Terrestre (SVLT), já que o sensor opera na faixa do infravermelho (médio

ou próximo). Essa análise pode ser obtida em relação ao comportamento físico e a partir da imagem de intensidade (WUTKE, 2006 e FERRAZ, SOUZA e REIS, 2016).

O processo de medição de coordenadas é muito semelhante ao de estações totais onde as mesmas são medidas a partir das distâncias registradas pelo equipamento e também os ângulos horizontais e verticais (FERRAZ, SOUZA e REIS, 2016).

O controle de voçorocas, além de difícil é oneroso e pode ser mais elevado que o próprio valor da terra. As principais medidas de controle são o isolamento da área afetada, com cerca para evitar o acesso de gado; a drenagem da água subterrânea quando atinge o lençol freático; um sistema de terraceamento; a suavização dos taludes da erosão; a construção de paliçadas ou pequenas barragens que podem ser feitas com madeira, pedra, galhos ou troncos de árvores, entulho ou terra e rochas com finalidade de evitar o escoamento em velocidade (ALMEIDA-FILHO, 2015).

A capacidade para a solução de problemas técnicos de estabilização de margens e encostas, ocasionados por processos erosivos, combinado com a construção de obras de grande simplicidade, caracteriza o que é chamado de bioengenharia, engenharia biológica ou engenharia biotécnica (DURLO e SUTILI, 2012).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo é aplicar técnicas para o mapeamento da voçoroca e o monitoramento da área de erosão no Banhado Grande.

4.2 ÁREA DE ESTUDO

A Área de proteção Ambiental do Banhado Grande (APABG), Figura 4.1, localiza-se na região metropolitana de Porto Alegre. Apesar de abrigar um expressivo contingente populacional, são encontradas áreas de importância para a conservação da vida silvestre e para a gestão dos recursos hídricos, como é o caso do Banhado Grande (FZB, 2001).

Os banhados da BHRG constituem uma entre as diversas tipificações das AUs, e sua importância vincula-se à função de controle de vazão das águas superficiais dos corpos hídricos aos quais estão associados e também como habitat de distintas espécies (LEITE e GUASSELLI, 2013).

Destaca-se pelo relevo plano associado a extensas AUs compostas por ampla planície de inundação e banhados. Naturalmente, são locais não suscetíveis a processos erosivos. Porém, formas de ocupação inadequada, como a canalização de um trecho do rio Gravataí e a falta de estudos sobre o manejo adequado do solo e da água, fazem com que a área passe a ter um potencial de erodibilidade (ETCHELAR, GUASSELLI e BELLOLI, 2014).

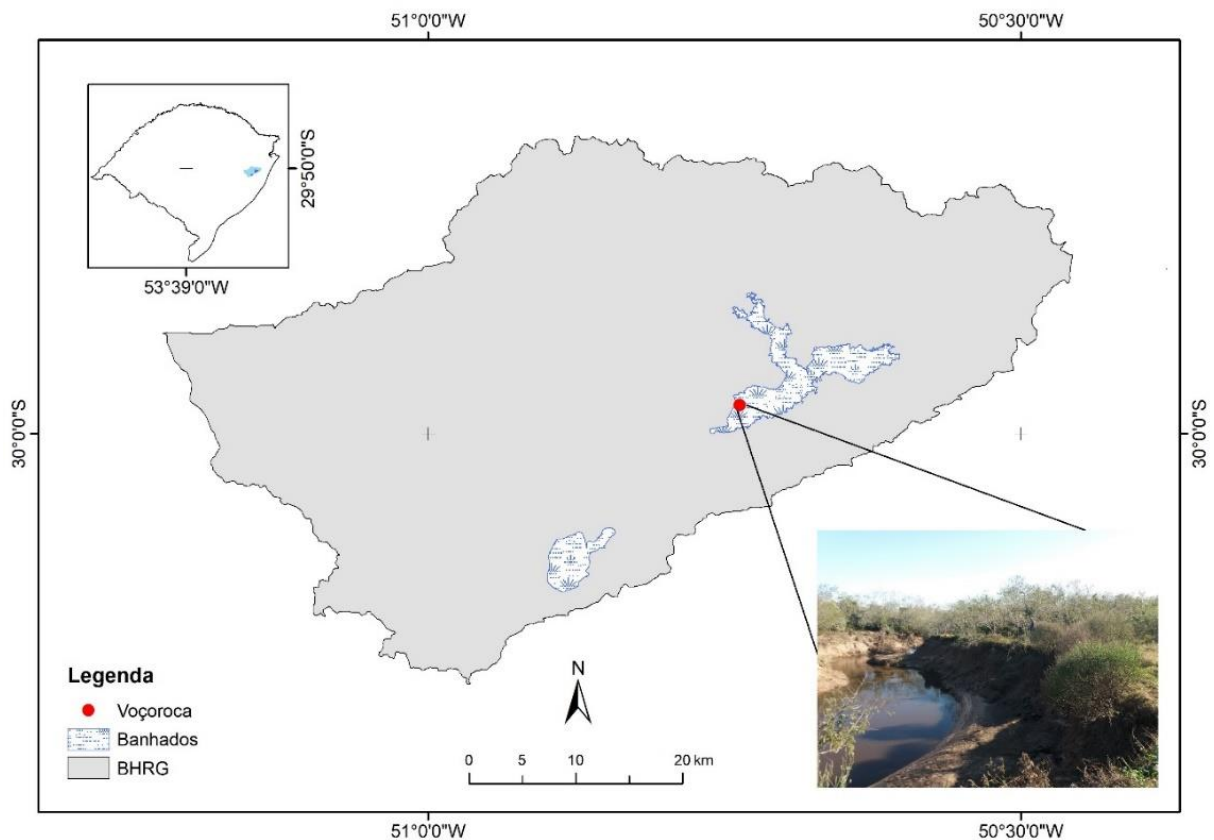


Figura 4.1. Mapa de localização da voçoroca no Banhado Grande, APABG. **Fonte:** LAGAM.
Elaborado por: Etchelar, C. B.

4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

A construção metodológica deste estudo dividiu-se nas seguintes etapas: (a) revisão bibliográfica sobre as temáticas envolvidas; (b) trabalhos de campo na área de estudo que compreenderam percursos terrestres e trechos fluviais; (c) registro fotográfico; (d) monitoramento da erosão em campo por estacas; (e) mapeamento da evolução do processo erosivo através de imagens satelitais; e (f) mapeamento com Laser Scanner Terrestre para levantamento do processo erosivo.

O monitoramento da voçoroca conforme proposto por Guerra (2005) é feito a partir do estaqueamento ao redor da voçoroca, medindo o recuo das bordas. As etapas para a medição foram as seguintes: (a) fixação de estacas a uma profundidade de 40cm; (b) medição da distância das estacas à borda da voçoroca tornando possível mensurar as perdas de solo periodicamente.

Para a elaboração da análise temporal foram elaborados mosaicos das imagens disponíveis no *software Google Earth Pro*, da área do Banhado Grande, das seguintes datas: (a) 14/11/2003; (b) 18/03/2010; e (c) 29/07/2015. Os mosaicos foram georreferenciados no *software ArcGIS 10.3*. No ArcMap os processos erosivos, identificados nos mosaicos, foram vetorizados e sobrepostos. Permitindo analisar o avanço/direção da voçoroca e do canal de drenagem na área do Banhado Grande.

O fluxograma, Figura 4.2, exemplifica as formas de aplicação e a utilização de LTS em áreas com processos erosivos.

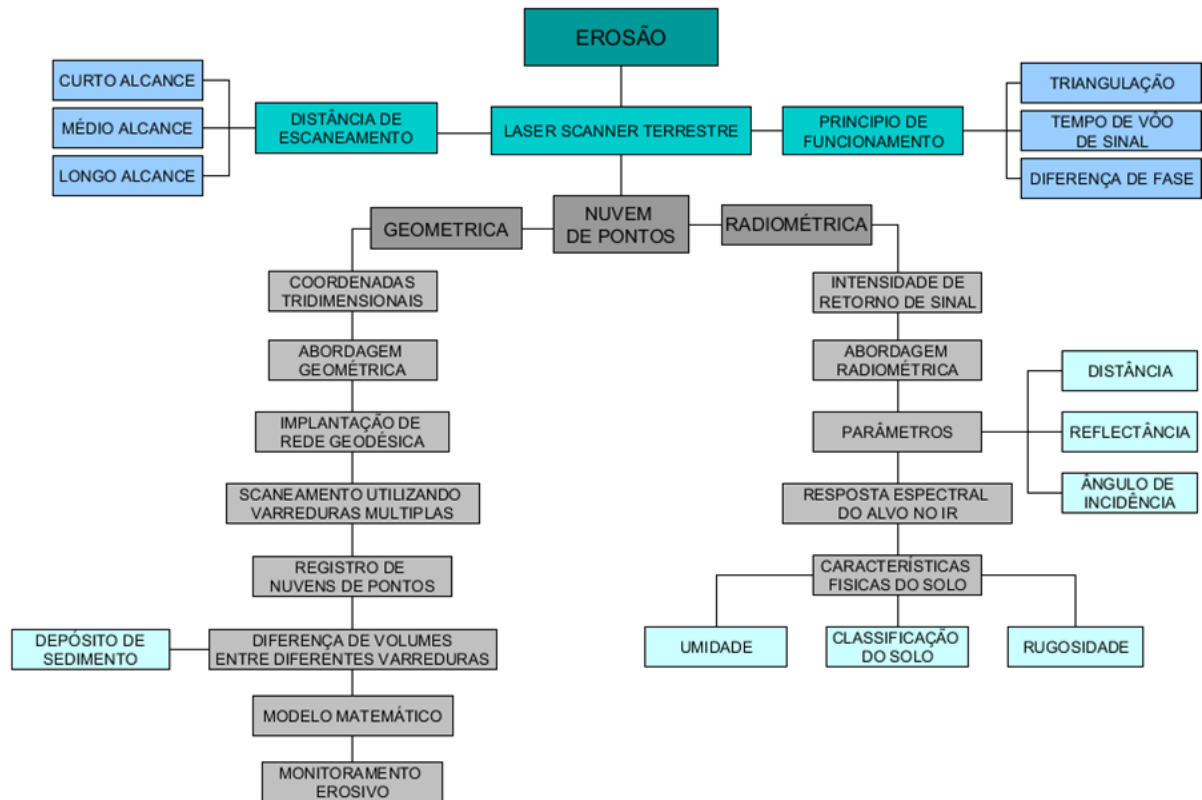


Figura 4.2. Fluxograma de funcionamento e aplicação do LST em processos erosivos. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

O levantamento com o LST foi realizado em 28 de junho 2017, em período onde foi possível o acesso a área de estudo no Banhado Grande. O acesso ao local é possível por via fluvial, quando o canal de drenagem do rio Gravataí mantém um nível de navegabilidade. Normalmente, em períodos de cheia a área fica submersa, e em períodos de seca o rio Gravataí fica sem navegabilidade o que impede o acesso ao banhado.

No levantamento de campo foi utilizado o LST de modelo *Renishaw* (MDL) *Quarryman*® Pro LR 3D sistema de varredura a laser, Figura 4.3. Esse equipamento tem as seguintes especificações: Comprimento de onda 905 m; resolução da nuvem de pontos de 1cm; sistema Laser classificação Classe 3R; Gama vertical de -45° a 80° e horizontal de 0° a 360° , instalado no tripé com base nivelante com prumo óptico usado para garantir a correta centralização da unidade sobre as marcas fixas. Classificação em função do método de medição de distância: Tempo de voo de sinal.



Figura 4.3. LST modelo Renishaw (MDL) Quarryman® Pro LR 3D montado no tripé realizando a varredura na área da voçoroca. **Fotografado por:** ETCHELAR, C. B em saída de campo do dia 28/06/2017.

O levantamento da varredura de cada nuvem de pontos foi realizado em retângulos com resolução configurável de 1cm no método estático apenas no plano horizontal. O pós-processamento para o registro das nuvens de pontos foi realizado no *software Cloud Compare v 2.8.3D*, projetado para realizar uma comparação direta entre nuvens de pontos de forma manual. No *software MDL Face Pro 3D* realizou-se a conversão da nuvem de pontos de formato mdl. para txt. Para obter os dados de altitude da nuvem de pontos, os dados foram salvos em formato LAS, permitindo assim a leitura e interpretação destes dados no *software ArcGis 10.3*.

Para a varredura na área da voçoroca optou-se em levantar a área do barranco para analisar suas feições, áreas de depósito de sedimentos e sua inclinação. A Tabela 4.1, especifica os valores obtidos do levantamento.

Tabela 4.1. Dados das nuvens de ponto. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Nuvem de pontos	Quantidades de pontos	Grid entre os pontos	Tipo de escaneamento
I	47.009	1 cm	Horizontal
II	38.102	1 cm	Horizontal
III	238.963	1 cm	Horizontal
IV	212.006	1 cm	Horizontal
V	100.241	1 cm	Horizontal

Para o Modelo Digital do Terreno (MDT) a nuvem de pontos passou pelo processo manual da retirada da vegetação no *software Cloud Compare*. Este arquivo foi transformado em formato *ASCII cloud* (que mantém os valores de x; y; z). O MDE e o MDT foram gerados por meio da técnica de interpolação *Thin Plate Spline (TPS)* no *software SAGGIS*. Esse interpolador gera uma superfície que minimize a curvatura entre as amostras, gerando uma superfície suavizada (Barbosa *et al.*, 2008).

O perfil topográfico é a representação gráfica de um corte vertical do terreno. Para este trabalho foi elaborado a partir do MDT no *software ArcGis 10.3*. A partir do 3D *Analytic>Interpolate Line>Create Profile Graph*.

4.4 RESULTADOS

Para a elaboração dos resultados, três técnicas de mapeamento e monitoramento de processos erosivos foram analisadas separadamente. O primeiro visa o emprego da técnica de estaqueamento no monitoramento da voçoroca. O segundo, aborda o monitoramento e a análise temporal por imagens de satélite. O terceiro resultado trata sobre o monitoramento e análise por Laser Scanner Terrestre. Todas estas técnicas permitem a mensuração dos processos erosivos em áreas de banhados e podem ser ferramentas úteis para estudos que visam a mitigação e redução de danos provenientes da erosão.

4.4.1 Monitoramento por estacas

O mapeamento e monitoramento de áreas atingidas por voçorocas, frequentemente, é alcançado por medidas realizadas no local, com a técnica de estaqueamento (GUERRA, 2005; MORGAN, 2005). Na Figura 4.4, podemos observar a as características no comportamento da vegetação que em um período de seis meses.

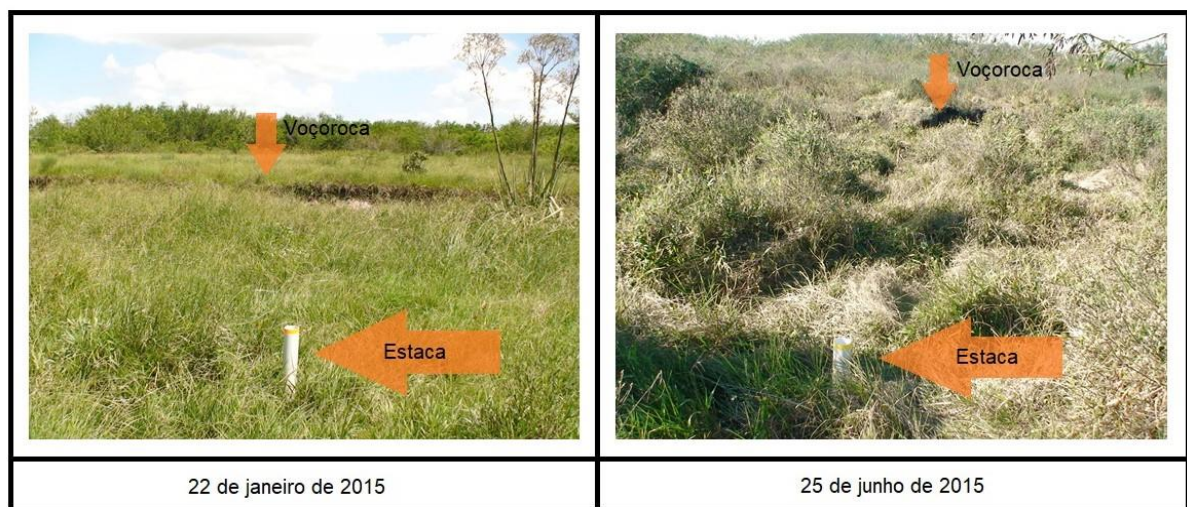


Figura 4.4. Experimento de estaqueamento para monitorar voçoroca na APABG.
Fotografia: ETCHELAR, C. B.

Na saída a campo realizada no dia 21/07/2016 na área do Banhado Grande, realizou-se o levantamento de dados das meditações do estaqueamento aplicado na área da voçoroca, localizada na Fazenda Quatro Irmãos. A presença do gado no local, entretanto, prejudicou o monitoramento, foram arrancadas várias estacas de controle, impossibilitando a mensuração da voçoroca a partir dessa técnica.

Como existe uma dinâmica de rápido crescimento vegetativo, e de períodos de inundação no banhado, as estacas devem estar enterradas em uma profundidade que mantenha a sua estabilidade, e manter-se visíveis com uma altura que não possa ser encoberta pela vegetação e pintadas de uma cor que se diferencie na paisagem.

Medidas efetuadas no local da erosão requerem a instalação de equipamentos nas bordas e interior das voçorocas, o que pode acarretar o agravamento dos processos erosivos. Em função disso, o monitoramento por sensoriamento remoto torna-se bastante atrativo (TEDESCO, ANTUNES e OLIANI, 2014).

4.4.2 Monitoramento e análise temporal por imagens de satélite

O mapeamento dos processos erosivos através de imagens satelitais é uma importante técnica para áreas de grande extensão e de difícil acesso como se configura a área do Banhado Grande. Este tipo de monitoramento tem a vantagem de ser realizado em gabinete, sem a necessidade do campo. A vetorização de parte da voçoroca e do canal de drenagem a partir dos mosaicos permitiu analisar a evolução em uma escala temporal do processo erosivo entre os anos de 2003, 2010 e 2015.

O recorte desta área do banhado, Figura 4.5, compreende a porção a jusante da voçoroca e parte do canal de drenagem. Na vetorização dos processos erosivos em 2003 o canal e a voçoroca evidenciam um ativo processo erosivo caracterizado pela presença de formas circulares (indicando um processo de solapamento de suas bordas). Na vetorização de 2010, houve um acelerado avanço na erosão da voçoroca, que pode estar associado ao aumento da vazão pelo alargamento e retificação das circulares no canal de drenagem. Este alargamento do canal e da voçoroca é mais evidente na imagem de 2015, onde os processos erosivos se mantêm ativos com perdas substanciais de solo presente nas duas margens do canal de drenagem e na voçoroca.

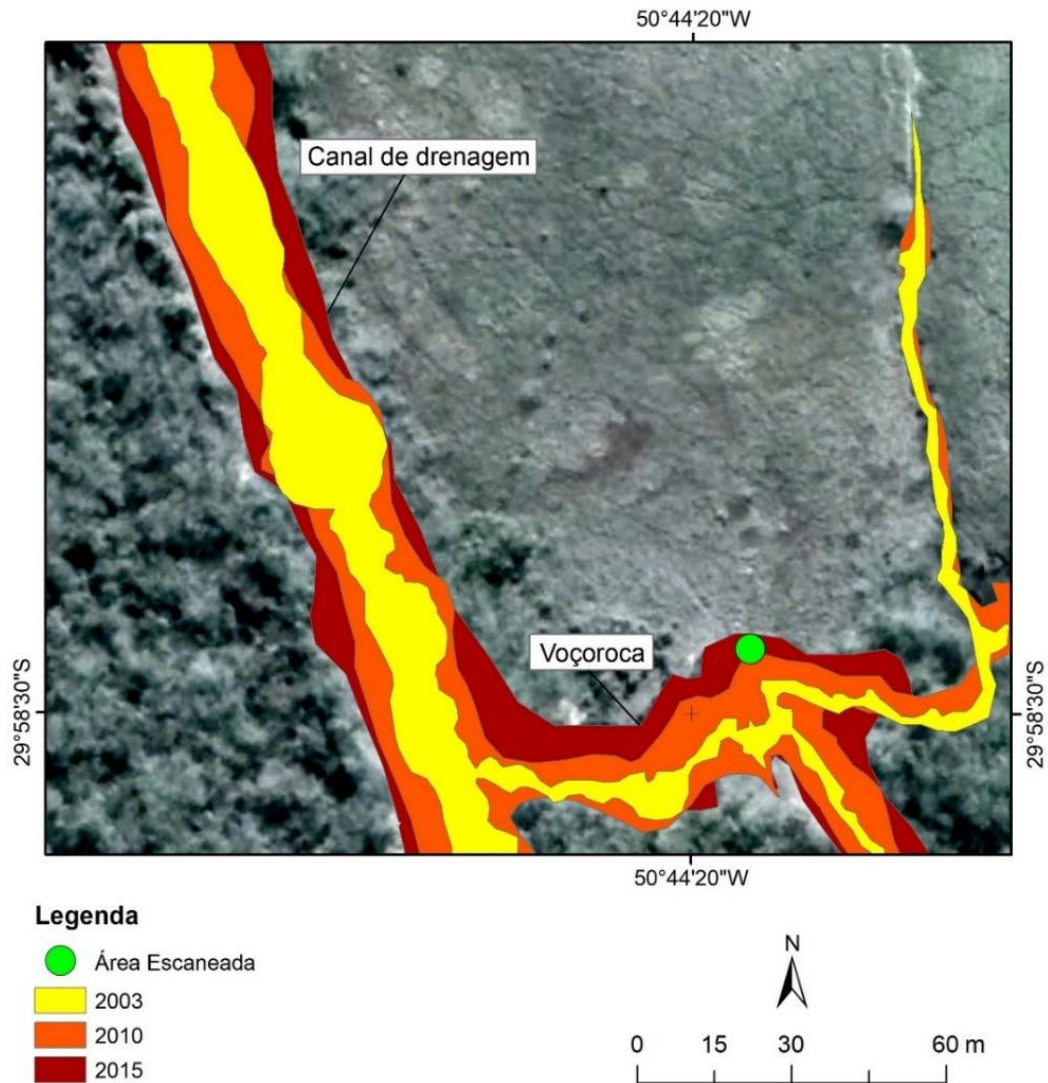


Figura 4.5. Análise temporal de trecho do canal e da voçoroca no Banhado Grande, nos anos de 2003, 2010 e 2015. **Fonte:** *Google Earth Pro* **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

4.4.3 Monitoramento e análise por “Laser Scanner” Terrestre

A varredura com LST pode gerar modelos tridimensionais das voçorocas com grande precisão geométrica, que associado à rapidez do trabalho de levantamento no campo, mostra-se uma ferramenta potencial para o estudo e monitoramento de processos erosivos (RAMOS *et al.*, 2011; ROMANESCU, COTIUGA e ASANDULESEI, 2012).

As varreduras com LST são um importante instrumento no monitoramento das margens dos rios e na análise da dinâmica dos seus canais, onde as medidas mais úteis incluem a erosão

lateral, especialmente em período de inundação, bem como os processos de acumulação de sedimentos ao longo do leito do rio (ROMANESCU, COTIUGA e ASANDULESEI, 2012).

A Figura 4.6 mostra a dinâmica do banhado que mantém períodos de estiagem, cheia e inundação bem determinados conforme os períodos de precipitação. O levantamento com LST na área do barranco da voçoroca, só é possível em períodos em sem grandes índices de precipitações, para haver área exposta para a varredura.



Figura 4.6. Dinâmica do banhado em distintos períodos: estiagem, cheia e inundação, respectivamente. **Fonte:** *Google Earth Pro*. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Nasermoaddeli e Pasche (2008) aplicaram o LST, combinando técnicas de levantamento com LST integrado com um eco-som, na quantificação de erosão e deposição no rio Stoer no norte da Alemanha.

As integrações dos dados do LST com os dados do eco-som permitiram a análise de batimetria do rio em diferentes estádios, Figura 4.7.

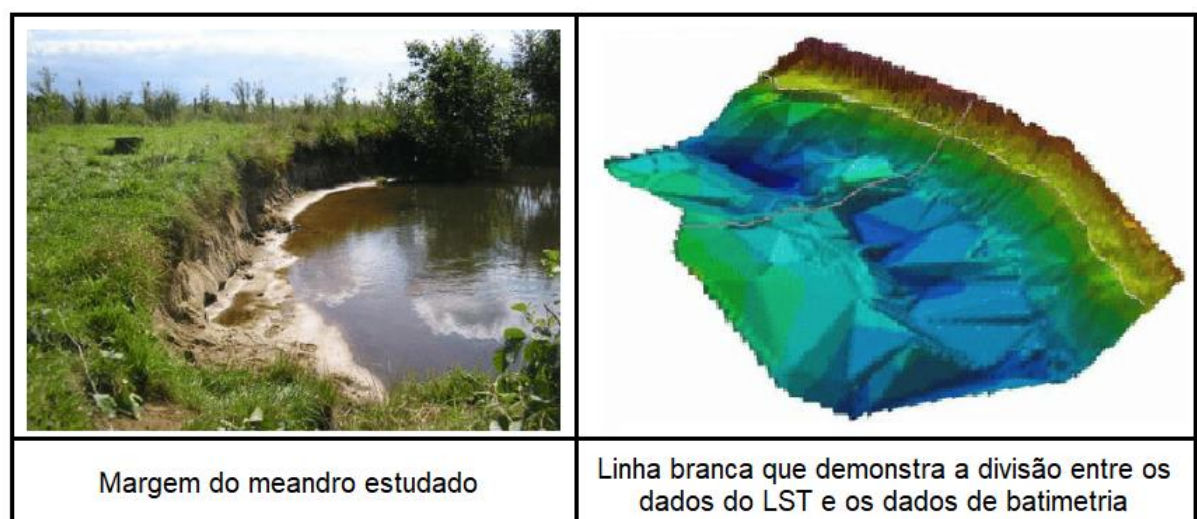


Figura 4.7. Levantamento com LST e sonar em área com processo erosivo. **Elaborado por:** Nasermoaddeli e Pasche, 2008.

Na varredura com o LST, Figura 4.8, em um trecho da voçoroca no Banhado Grande, em Junho de 2017, foi possível levantar dados para análises da geometria referente a diferença volume entre diferentes varreduras poderá ser empregado para o monitoramento do processo erosivo. A partir de futuros escaneamentos associados a intervalos entre períodos de cheia e secas, pode-se analisar a diferença de volumes entre diferentes varreduras para estimar a perda de solo entre determinados períodos.

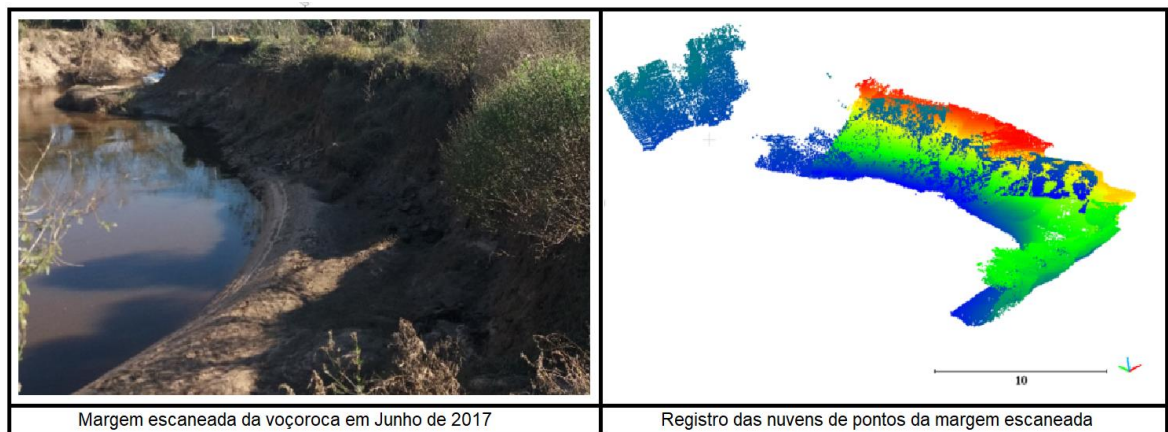


Figura 4.8. Imagem da área de estudo no Banhado Grande e o resultado da VLST. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

A partir da análise geométrica, pode-se estabelecer onde existem as áreas de deposição dos sedimentos, e com determinar com eficiência práticas de controle da erosão em determinados pontos da voçoroca. Através de modelos matemáticos como o cálculo de inclinação do barranco, poderá ser mais eficiente a recuperação da área, com o emprego da técnica mais adequada para a área degradada pela voçoroca. Na Figura 4.9, podemos observar (a) áreas de desmoronamento destacado em vermelho na imagem e (b) em azul à estaca que serviu como ponto de controle.

A abordagem radiométrica em relação a nuvem de pontos, fornece dados fundamentais para uma análise geomorfológica da erosão, pois se trata de parâmetros que dizem respeito a intensidade de retorno do sinal e a resposta espectral dos alvos, como os dados de rugosidade, umidade do solo e características granulométricas do solo poderão ser analisadas.

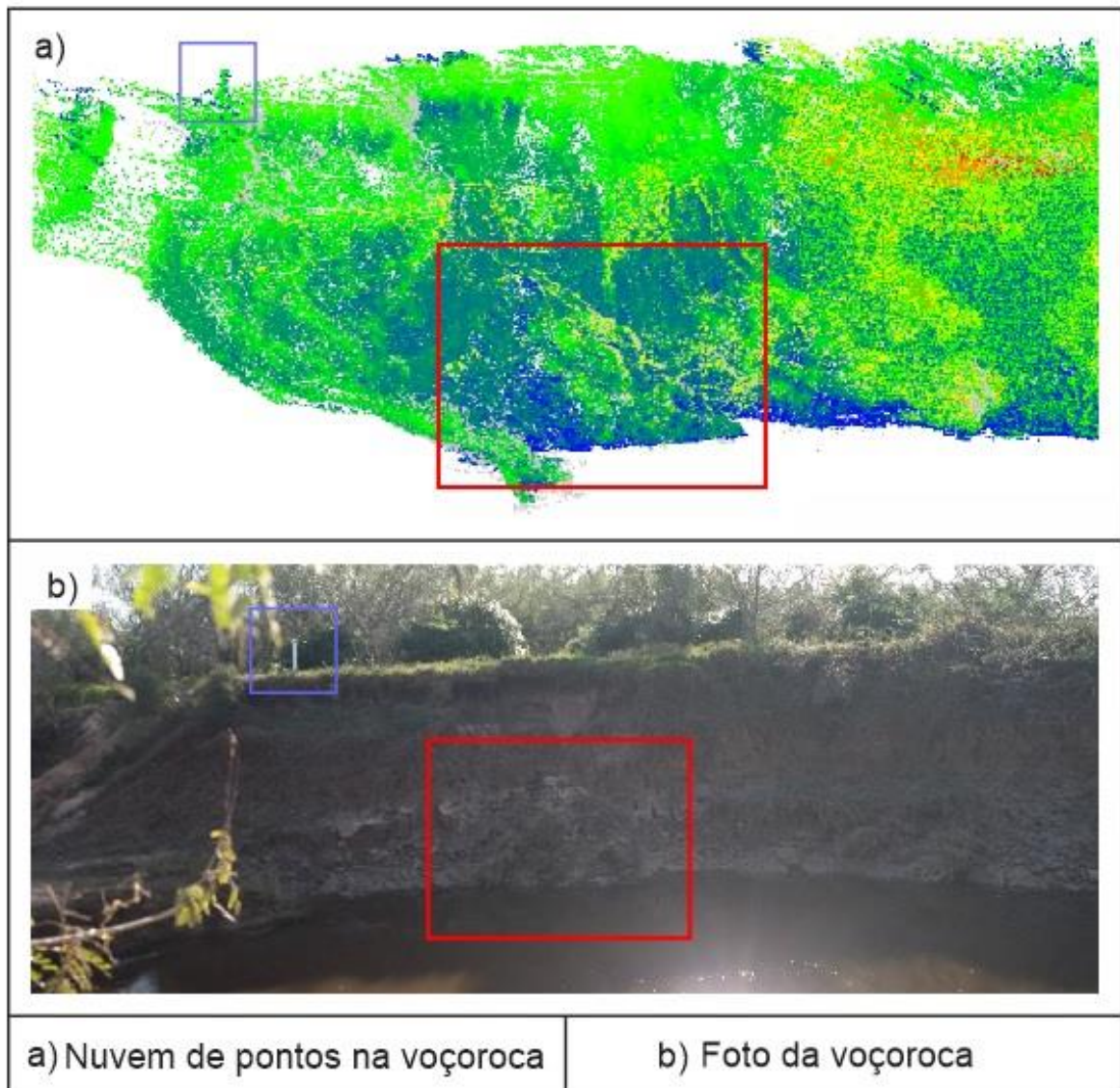


Figura 4.9. Comparação do escaneamento com registro fotográfico na voçoroca.

Elaborado por: ETCHELAR, C. B.

A abordagem radiométrica em relação a nuvem de pontos, fornece dados fundamentais para uma análise geomorfológica da erosão, pois se trata de parâmetros que dizem respeito a intensidade de retorno do sinal e a resposta espectral dos alvos, como os dados de rugosidade, umidade do solo e características granulométricas do solo poderão ser analisadas.

Para Moraes (2016) a vegetação e outras feições também aparecem nas nuvens de pontos no levantamento com o LST, dessa forma, um processo de filtragem é necessário para a retirada dos pontos levantados sobre essas feições que fogem ao interesse do monitoramento.

O Modelo Digital do Terreno (MDT) pode ser obtido da nuvem de pontos LASER por meio de um processo de filtragem, que consiste na remoção dos pontos que não pertencem à superfície do terreno, ou seja, aqueles que se encontram acima do solo, tais como construções, árvores, entre outros (FERNANDES *et al.* 2017). O MDT é utilizado como informação base para diversos estudos, como mapeamento digital de solos, gestão de desastres e projetos de engenharia (RUIZ *et al.*, 2015).

Já o Modelo Digital de Elevação (MDE) é a forma mais utilizada para representar uma superfície de maneira digital com base em um conjunto de pontos com coordenadas tridimensionais. Representação de uma superfície topográfica, onde elevações do terreno podem ser representadas computacionalmente por um conjunto de pontos regularmente distribuídos (WOLF e DEWWITT, 2000).

A partir dos pontos da VLST da cena (Figura 5.0c), sem a manipulação de dados ou pré-processamento (com a presença da vegetação e pontos que representam ruídos) obtivemos o MDE da área. E a partir da nuvem pós-processada (retirada da vegetação e pontos aleatórios de forma visual), que contém apenas as informações do terreno (Figura 5.0d), obtivemos o MDT.

A diferença do resultado entre o MDE (Figura 5.0a) e o MDT (Figura 5.0b) é de 7,96 m. O que evidencia a importância do pré-processamento da nuvem para melhor acurácia dos dados, de grande relevância por tratar-se de uma de erosão em uma área muito plana de banhado. Uma boa acurácia é de grande importância para estudos que lidam com questões relacionadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico (OLIVEIRA e FRANCELINO, 2013).

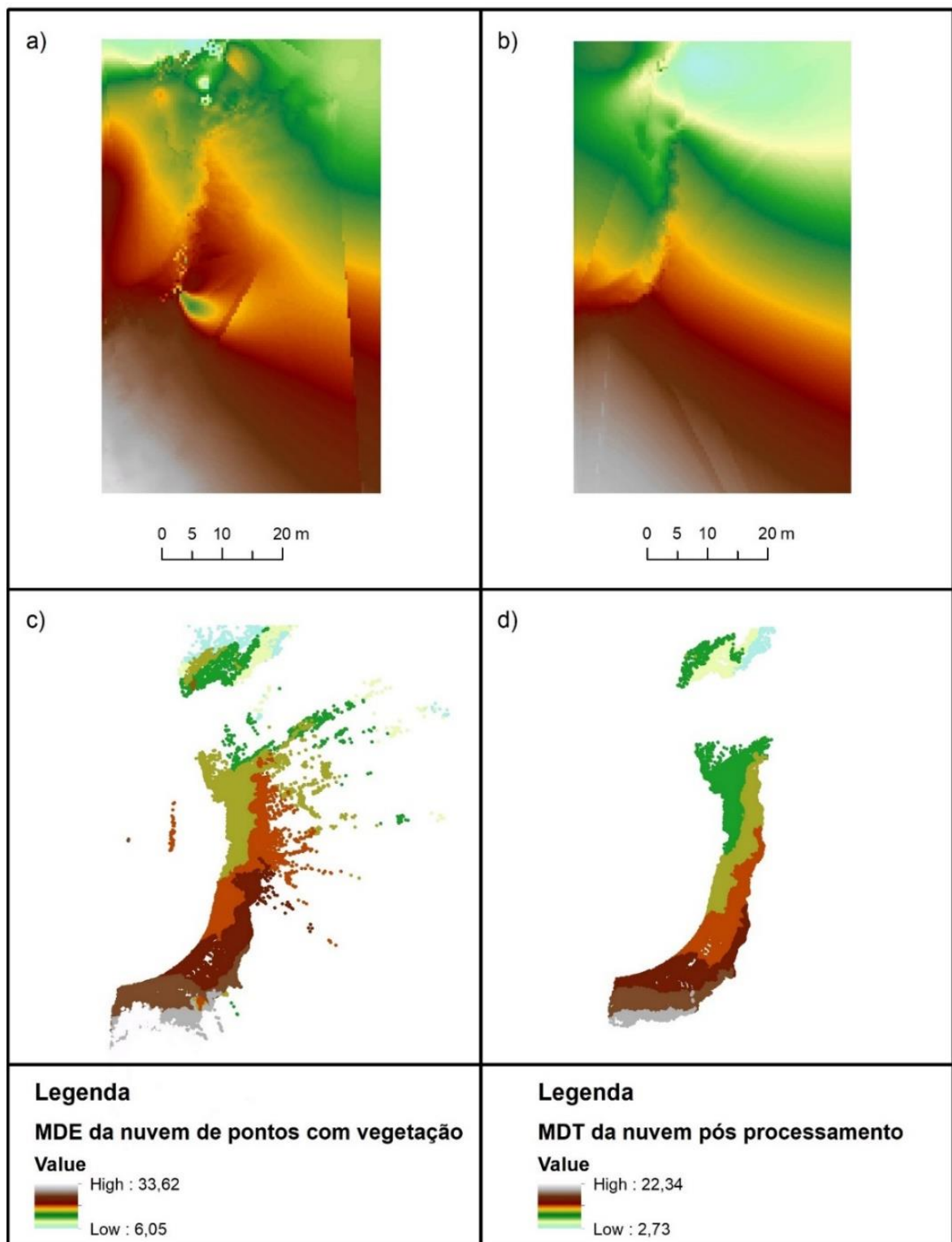


Figura 5.0. Dados de elevação da nuvem de pontos do levantamento realizado 28/07/2017 na área da voçoroca: a) Nuvem sem filtro; b) Nuvem com cortes. **Elaborado por:** ETCHELAR, C. B.

Observa-se que no MDE, existem interferências (linhas) ou ruídos na imagem, associado a interpolação de pontos aleatórios que se encontravam na nuvem “bruta” (sem pré-processamento).

Para um melhor entendimento da área, foram desenhados perfis topográficos no MDT para análise do canal da voçoroca e do barranco. Os gráficos apresentam a voçoroca com um detalhamento maior da forma do barranco, através das linhas presentes nos gráficos.

O perfil topográfico, Figura 5.1, gerado pelo transecto 1-2 expuseram uma diferença entre as margens, tanto de altura, quando na forma abrupta da margem esquerda de montante para jusante, representando assim, a margem erosiva do canal da voçoroca, ao contrário da margem direita onde existe uma suavização do barranco, demonstrando ser uma área de depósitos de sedimentos.

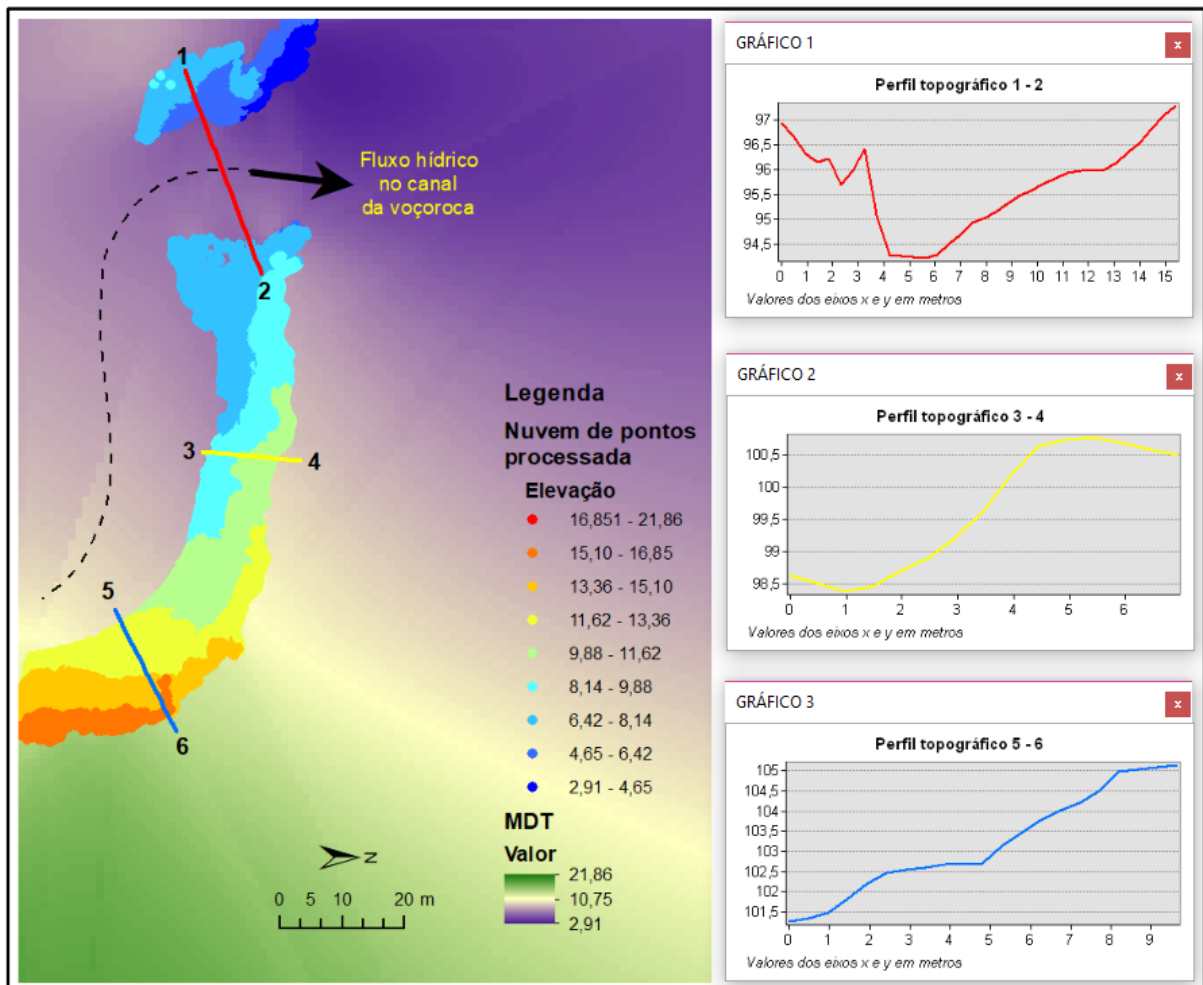


Figura 5.1. Perfil topográfico sobre MDT. **Elaborado por:** ETCHELAR C. B.

Os transectos 3-2 e 5-6 correspondem ao barranco da margem direita do canal da voçoroca. Estes perfis ratificam uma margem deposicional de sedimentos, principalmente no transecto 5-6 que exhibe a linha do gráfico de forma não íngreme com declividade menor que o transecto 3-2.

Apesar de haver a representação da escala na Figura 5.1, além da forma do relevo, os transectos topográficos ajudam a dimensionar a altura e largura da área de estudo, estas informações corroboram com estudos futuros de planejamento e projetos que visam a recuperação da área erodida.

4.5 CONCLUSÃO

Para o monitoramento com o método de estaqueamento em área de banhado são necessárias ações como o isolamento do local; instalação de estacas com boa estabilidade e visibilidade e a conscientização da importância do monitoramento da comunidade responsável pela área. São medidas que devem ser tomadas para seu bom funcionamento, caso contrário não será eficaz.

O monitoramento com o uso de imagens de satélites mostrou-se eficaz na análise temporal da área erodida e demonstrou a evolução da voçoroca e a estimativa da área da erosão. É uma técnica de baixo custo e pode ser realizada em gabinete.

Apesar do uso do LST na área de banhado se restringir a períodos em que haja viabilidade de acesso ao local e a visibilidade do talude da erosão para a sua varredura, esta tecnologia mostra-se uma ferramenta com grande potencial para o estudo de voçorocas em virtude de sua alta precisão e rapidez na coleta de dados em campo. Gera modelos digitais de elevação com alta precisão, além do fornecimento de dados como os locais de deposição e erosão de sedimentos e as dimensões da área estudada a partir do perfil topográfico.

Contudo, se faz necessário a continuidade do monitoramento do processo erosivo na área do Banhado Grande. É imprescindível definir também o método mais adequado para estudo do recuo das margens, visando o melhor prognóstico de correta implementação de técnicas de bioengenharia para a recuperação da área.

4.6 REFERÊNCIAS

- ALHO, P.; VAAJA, M.; KUKKO, A.; KASVI, E.; KURKELA, M.; HYYPPÄ, J.; HYYPPÄ, H. e KAARTINEN, H. 2011. Escaneamento a laser móvel em geomorfologia fluvial: mapeamento e detecção de mudanças de barras pontuais. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 55, n. 2, p. 31-50.
- ALMEIDA-FILHO, G. S. 2015. Controle de erosão. **Fundações & Obras Geotécnicas**, v. 5, p. 66-77.
- BARBOSA, R.L.; MENEGUETTE JR, M.; SILVA, J.F.C.; GAITAME, O.Y. 2008. Análise estatística da qualidade de um modelo digital do terreno gerado com thin plate spline. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 60, n.2, p. 127-132.
- BRENNER, V. C. 2016. **Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 94 p.
- BRENNER, V. C. e GUASSELLI, L. A. 2015. Análise da viabilidade do processo de renaturalização de um trecho do canal retificado do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil. **Anais...V SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS DO PANTANAL**. Campo Grande, p. 593-601.
- DURLO, M. A. e SUTILI, F. J. 2012. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. Santa Maria: Edição do Autor, 189 p.
- ETCHELAR, B. C. 2014. **Análise do Processo Erosivo no Banhado Grande, APA do Banhado Grande, Município de Glorinha – RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Trabalho de conclusão do bacharelado em geografia. 72 p.
- ETCHELAR, C. B.; GUASSELLI, L. A. e BELLOLI, T. F. 2014. Erosão no Banhado Grande, bacia hidrográfica do rio Gravataí –RS. **Anais... 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Campo Grande, MS. p. 584 -592.
- FERNANDES, V. J. M.; OLIVEIRA, É. F.M.; POZ DAL, A. P. e IMAI, N. 2017. Filtragem de nuvem laser para geração de mdt por krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 23, n.1, p.196 – 212.

FERRAZ, S. R. 2017. **Avaliação posicional de dados altimétricos gerados por diferentes sistemas de varredura a laser terrestre: estudo de caso**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em Sensoriamento Remoto. 119p.

FERRAZ, S. R.; SOUZA F. S. e REIS L.L.M. 2016. Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática. **Revista Brasileira de Geomatica**, v.4, n. 2, p.99-109.

FZB. FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA DO RIO GRANDE DO SUL. 2001. **Diagnóstico do meio biótico (vegetação, arcnofauna e avifauna) e mapeamento da cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Gravataí**. Porto Alegre: Museu de Ciências Naturais. 118p.

GUASSELLI, L. A.; ETCHELAR, C. B. e BELLOLI, T. F. 2013. 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, INPE**. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, p. 447-452.

GUERRA, A. J. T. 2005. O início do processo erosivo. **In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertran Brasil, p. 17-55.

HOHENTHAL, J.; ALHO, P.; HYYPPÄ J. e HYYPPÄ, H. 2011. Aplicações de varredura a laser em estudos fluviais. **Progressos na Geografia Física**, v. 35, n. 6, p. 782 – 809.

KING, C.; BAGHDADI, N.; LECOMTE, V. e CERDAN, O. 2005. The application of remote-sensing data to monitoring and modelling of soil erosion. **Catena**, v. 62, p. 79-93.

LEITE, M. G. e GUASSELLI, L. A. 2013. Dinâmica espaço-temporal das macrófitas aquáticas no Banhado Grande, bacia hidrográfica do Rio Gravataí, RS. **Para Onde!?**, v. 7, n. 1, p. 17-24.

MATHIEU, R.; KING, C. e LE BISSONNAIS, Y. 1996. Contribution of multitemporal SPOT data to the mapping of a soil erosion index. **Soil Technology**, v. 10, p. 99 –110.

MORAIS, M. V. A. 2016. **Monitoramento e avaliação de processos erosivos marginais em reservatórios de usinas hidrelétricas por meio de varredura a laser**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, Mestrado em Ciências Cartográficas. 96p.

MORGAN, R. P. C. 2005. **Soil Erosion and Conservation**. 3rd Edition. Oxford: Blackwell Publishing. 304p.

NASERMOADDELI, M. H. e E. PASCHE. 2008. Application of terrestrial 3D laser scanner in quantification of the riverbank erosion and deposition. **Anais...4th International Conference on Fluvial Hydraulics, International Association for Hydro-Environment Engineering and Research, Izmir, Turkey**. 10p.

OLIVEIRA, C. M. M. e FRANCELINO, M. R. 2013. Comparação de Modelos Digitais de Elevação gerados com dados oriundos de levantamentos de voçorocas com laser scanner. **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE**, p. 6502-6509.

PERROY, R. L.; BOOKHAGEN, B.; ASNER, G. P. e CHADWICK, O. 2010. A Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. **Geomorphology**, v. 118, p. 288-300.

RAMOS, I. Q.; FRANCELINO, R. M.; MAGALHÃES, C. F. S.; OLIVEIRA, M. M. C. e SALAMENE, S. 2011. Uso do laser scanner na modelagem de voçorocas do estado do Rio de Janeiro. **Anais...** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, Curitiba, PR, Brasil, p. 5793-5800.

RIBEIRO, J. C.; TOCANTINS, N. e FIGUEIREDO, M. 2013. Diagnóstico dos processos erosivos na sub-bacia do córrego Guanabara, município de Reserva do Cabaçal, Pantanal, MT. **Revista GeoPantanal**, UFMS/AGB, v. 8, n. 14, p. 152-169.

ROCHA, R. S. 2002. **Exatidão cartográfica para cartas digitais urbanas**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Tese de doutorado em Engenharia de Produção. 128p.

ROMANESCU, G.; COTIUGA, V. e ASANDULESEI, A. 2012. Use of Terrestrial 3D Laser Scanner in Cartographia and Monitoring Relief Dynamics and Habitation Space from Various Historical Periods. **In:** BATEIRA, C. Cartography – A Tool for Spatial Analysis. INTECH, p. 49-74.

RUIZ, L. F. C.; GUASSELLI, L.A.; TEN CATEN, A. e VITALIS F. 2015. Filtragem de Nuvem de pontos por Naive Bayes para obtenção de um Modelo Digital do Terreno **Anais...** XXV Congresso Brasileiro de Cartografia. 8p.

SCHEREN, R. S. 2014. **Urbanização na planície de inundação do Rio Gravataí-RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de mestrado em geografia. 123 p.

SHAN, J. e TOTH, C. K. 2008. **Topographic laser ranging and scanning: principles and processing**. Boca Raton: CRC press, 590p.

TEDESCO, A.; ANTUNES, A. F. B. e OLIANI, L. O. 2014. Detecção de formação erosiva (voçoroca) por meio de classificação hierárquica e por árvore de decisão. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 20, n. 4, p. 1005-1026.

WOLF, P. R. e DEWITT, B. A. **Elements of Photogrammetry: with applications in GIS**. Boston: McGraw-Hill, 2000. E-book (<https://www.amazon.com/Elements-Photogrammetry-Application-Mechanical-Engineering/dp/0071761128>)

WUTKE, D. J. 2006. **Métodos para avaliação de um sistema laser scanner terrestre**. Paraná: Universidade Federal do Paraná, Dissertação de mestrado em Ciências Geodésicas. 98p.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de técnicas de Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento, utilizando variáveis físicas como os compartimentos geológicos e bacias sedimentares, as características dos solos hidromórficos e os índices de vegetação NDWI e NDVI, além das imagens históricas do rio Gravataí, foram classificadas duas Unidades de Paisagem na APABG/BHRG: a) Unidade de paisagem Turfeira; b) Unidade de paisagem Ribeirinha/Planície de Inundação.

A série temporal de imagens satelitais permitiu mapear e quantificar evolução do avanço do processo erosivo, que passa de 2909,62 m² em 2003 para 12097,70 m² em 2015. Por tratar-se de uma área de banhado a dinâmica da voçoroca não se associa a ausência da cobertura vegetal ou a declividade, e sim, com o uso do solo para o cultivo de arroz e o manejo com a produção de gado que acelera este processo erosivo através do pisoteio.

O mapeamento da voçoroca e a análise temporal com imagens de satélites em área de banhado se mostrou eficaz, indicando como evolui o processo erosivo. O canal construído pelo DNOS passou por um processo erosivo remontante, chegando a área limítrofe do banhado e do canal que corta perpendicularmente a percolação da água que sai do banhado em direção à planície de inundação do rio Gravataí, ocasionando o acelerado processo de voçorocamento.

A evolução da voçoroca faz com que ela se torne um canal de fluxo acumulado, onde existe uma preferência no escoamento hídrico do banhado em direção ao canal de irrigação. Provavelmente, este fluxo hídrico antes da retificação do canal, era um fluxo mais lento associado a densa cobertura de vegetação e à capacidade de carga do banhado em direção à planície de inundação.

A análise dos solos da vertente da voçoroca permitiu identificar horizontes superficiais com maior porcentagem de areia até o “nível de base”, com solos com maior porcentagem de argila.

O “Laser Scanner” terrestre mostrou-se uma ferramenta com grande potencial para o estudo da voçoroca em virtude de sua alta precisão e rapidez na coleta de dados em campo. A geração de modelos digitais de elevação com alta precisão e a elaboração do perfil topográfico expuseram uma diferença entre as margens, tanto de altura, quando na forma abrupta da margem esquerda de montante para jusante, representando assim, a margem erosiva do canal da voçoroca. Ao contrário da margem direita onde existe uma suavização do barranco, demonstrando ser uma área de depósitos de sedimentos.

O uso do Sensoriamento Remoto e do Geoprocessamento tornou possível a delimitação das AUs e suas tipificações; o mapeamento da evolução temporal da voçoroca na área de banhado; e a análise das melhores técnicas para o mapeamento e monitoramento de processos erosivos no banhado.

Assim, considera-se necessário o monitoramento contínuo do processo erosivo na área do Banhado Grande, combinando métodos para modelar sua dinâmica. Essas ferramentas de apoio são fundamentais para a elaboração do Plano de Manejo da APABG e estudos que visam a restauração das Áreas Úmidas do rio Gravataí.

ANEXO: A

Comprovante de submissão à *Journal of maps*.

Submetido em: 26 de junho de 2017.

Journal of Maps



EMPORAL EVOLUTION OF THE GULLY, BANHADO GRANDE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA, CITY OF GLORINHA, RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

Journal:	<i>Journal of Maps</i>
Manuscript ID	TJOM-2017-0036
Manuscript Type:	Original Article
Date Submitted by the Author:	26-Jun-2017
Complete List of Authors:	Etchelar, Cecilia; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sensoriamento Remoto Guasselli, Laurindo; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Sensoriamento Remoto
Keywords:	wetlands, swamp, gully, erosion

SCHOLARONE™
Manuscripts