



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DINÂMICA E ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL,
BANHADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE SÃO DONATO - RS**

DANIELA ZANETTI BITTENCOURT

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

PORTO ALEGRE, JULHO DE 2017

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**DINÂMICA E ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL,
BANHADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE SÃO DONATO - RS**

DANIELA ZANETTI BITTENCOURT

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli (POSGEA/ Orientador)

Profa. Dra. Eliane Maria Foletto (PPGGEO/UFSM)

Profa. Dra. Lucimar de Fátima dos Santos Vieira (POSGEA/UFRGS)

Prof. Dr. Sidnei Luís Bohn Gass (UNIPAMPA/Campus Itaqui)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

PORTO ALEGRE, JULHO DE 2017

CIP - Catalogação na Publicação

Bittencourt, Daniela Zanetti
Dinâmica e Análise de Fragilidade Ambiental,
Banhado da Reserva Biológica de São Donato - RS /
Daniela Zanetti Bittencourt. -- 2017.
114 f.

Orientador: Laurindo Antonio Guasselli.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências,
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre,
BR-RS, 2017.

1. Padrões de Inundação. 2. Fragilidade Ambiental.
3. Processo Analítico Hierárquico. 4. Itaqui. 5.
Maçambará. I. Guasselli, Laurindo Antonio, orient.
II. Título.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós Graduação em Geografia, pela disposição de estrutura, pelo ensino e por auxílio para eventos científicos e para trabalhos de campo.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia pela disponibilização de espaço e computadores para a realização da minha dissertação.

Ao meu orientador, Laurindo Antonio Guasselli, que me auxiliou do início ao fim em minha dissertação, através de sua dedicação na orientação.

À professora Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e ao professor Luis Alberto Basso pelas contribuições em minha defesa do projeto de qualificação.

Ao Felipe da Divisão de Unidades de Conservação da Secretaria Estadual do Meio Ambiente, que me auxiliou com documentações e contatos para a realização de trabalho de campo na Reserva Biológica de São Donato.

Ao Antenor Calegaro, gestor da Reserva Biológica de São Donato, que me auxiliou com informações e transporte para a realização de trabalho de campo na Reserva Biológica de São Donato.

Ao Ricardo Aranha Ramos, da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, que me auxiliou com o empréstimo do projeto de novos limites para a Reserva Biológica de São Donato, realizado em 2002, pela Fundação Zoobotânica.

Aos colegas e amigos do LAGAM, Cecília, Tássia, Renata, João Paulo Delapasse Simioni, João Paulo Brubacher, Viviane, Luis, Camilo e Carlos Renato, pelas conversas e trocas de conhecimento.

À minha família, João Carlos (pai), Maria de Fátima (mãe) e Marcelo (irmão) por toda a compreensão, apoio e amor que me proporcionaram durante todo o tempo da realização do mestrado. Só tenho a agradecer e dizer que amo vocês!

Ao meu namorado, Fabiano, que está comigo desde a graduação da Geografia e que me acompanhou em toda a caminhada do mestrado. Amo-te!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

DINÂMICA E ANÁLISE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL, BANHADO DA RESERVA BIOLÓGICA DE SÃO DONATO - RS

Autor(a): Daniela Zanetti Bittencourt
Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli
Data e Local de Defesa: Porto Alegre, 27 de julho de 2017

A Reserva Biológica (REBIO) de São Donato é uma Unidade de Conservação localizada na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, no trecho médio da bacia do rio Uruguai, no bioma Pampa. A área da REBIO é constituída por uma área úmida – banhado – característico do Pampa. Entretanto, desde o seu decreto em 1975, o banhado vem sofrendo impactos da rizicultura, essa região é a maior produtora do estado. Assim, o objetivo geral dessa dissertação é analisar a dinâmica e a fragilidade ambiental da Reserva Biológica de São Donato, a partir de geoprocessamento. Para atingir esse objetivo foram utilizados: dados de precipitação diários e imagens orbitais, de 1984 a 2016, que indicassem inundação no banhado e sua sub-região hidrográfica; reconhecimento de campo; análise de uso e cobertura do solo do raio de amortecimento da REBIO; análise da fragilidade ambiental a partir da metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP). Os resultados de análise da inundação do banhado e sua sub-região hidrográfica indicaram três padrões: um padrão regional, que afeta grande parte do trecho médio e alto da bacia do rio Uruguai; um padrão de inundação sub-regional, que compreende a sub-região hidrográfica dos rios Butuí-Icamaquã; um padrão que afeta a área local que compreende o banhado da REBIO de São Donato. As análises do uso e cobertura do solo e da fragilidade ambiental indicaram que as áreas mais frágeis da REBIO correspondem ao banhado e sua vegetação adaptada a umidade, e áreas de planícies de inundação. A avaliação do AHP para a análise da Fragilidade Ambiental se mostrou coesa, confirmando observações realizadas principalmente com relação ao impacto ambiental gerado pelo cultivo de arroz. Espera-se que as informações possam contribuir para estudos futuros de planejamento e gestão da área, e como base para a elaboração do Plano de Manejo da REBIO de São Donato.

Palavras-chave: Padrões de Inundação, Fragilidade Ambiental, Processo Analítico Hierárquico, Áreas Úmidas, Itaqui, Maçambará.

ABSTRACT

Master Dissertation
Geography Post Graduation Program
Federal University of Rio Grande do Sul

DYNAMICS AND ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL FRAGILITY, MARSH OF THE BIOLOGICAL RESERVE OF SÃO DONATO - RS

Author: Daniela Zanetti Bittencourt
Adviser: Laurindo Antonio Guasselli
Defense Place and Date: Porto Alegre, 27 of July of 2017

The San Donato Biological Reserve (REBIO) is a Conservation Unit located on the western border of Rio Grande do Sul, in the middle stretch of the Uruguay River basin, in the Pampa biome. The area of the REBIO is constituted by a wetland - marsh - characteristic of the Pampa. However, since its decree in 1975, the marsh has been suffering from the impacts of rice cultivation, this region is the largest in the state. Thus, the general objective of this dissertation is to analyze the dynamics and environmental fragility of the San Donato Biological Reserve, based on geoprocessing. To achieve this objective, daily precipitation data and orbital images from 1984 to 2016 were used to indicate flooding in the marsh and its sub-river basin; Field recognition; Use analysis and soil cover of the REBIO Damping Ray; Analysis of the environmental fragility from the Analytic Hierarchy Process (AHP) methodology. The results of flood analysis of the marsh and its hydrographic sub-region indicated three patterns: a regional pattern, which affects much of the middle and upper reaches of the Uruguay River basin; A subregional flood pattern comprising the sub-river basin of the Butuí-Icamaquã rivers; A pattern that affects the local area comprising the marsh of San Donato Biological Reserve. The analyzes of soil use and cover and environmental fragility indicated that the most fragile areas of REBIO correspond to the wetland and its vegetation adapted to humidity and floodplain areas. The evaluation of the AHP for the analysis of the Environmental Fragility showed to be cohesive, confirming observations made mainly in relation to the environmental impact generated by rice cultivation. It is hoped that the information may contribute to future planning and management studies of the area, and as a basis for the elaboration of the São Donato REBIO Management Plan.

Keywords: Flood Patterns, Environmental Fragility, Analytic Hierarchy Process, Wetlands, Itaquí, Maçambará.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação do NDPI	63
Equação 2 – Equação do Índice de Consistência	67
Equação 3 – Equação da Taxa de Consistência.....	67
Equação 4 – Equação do Índice de Consistência para a Fragilidade Ambiental na área de estudo.....	89
Equação 5 - Equação da Taxa de Consistência para a Fragilidade Ambiental na área de estudo.....	90

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 - Unidades de Conservação de proteção integral	39
Quadro 2 - Unidades de Conservação de uso sustentável	40
Quadro 3 - Classificação de intensidade das precipitações, conforme os registros diários	62
Tabela 1 - Definição dos pesos dos fatores segundo a Escala Saaty	65
Tabela 2 - Matriz comparativa do grupo de critérios para a Fragilidade Ambiental	66
Tabela 3 - Matriz comparativa do conjunto de critérios da Vegetação	67
Tabela 4 - Matriz comparativa da fragilidade do subcritério campo úmido	68
Tabela 5 - Graus de prioridade resultantes do cruzamento dos dados de graus AHP relativos à cobertura e uso do solo com os valores das áreas relativas a áreas úmidas e corpos de água	68
Tabela 6 - Valores de AHP da prioridade global de cada conjunto de sub-critérios	70
Tabela 7 - Cota de nível de água do rio Uruguai, nas datas das imagens TM do Satélite LANDSAT-5. Fonte: Estação Fluviométrica do Passo São Borja (ANA).....	76
Tabela 8 - Áreas inundadas dos rios principais e de banhado inundado, sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã	76
Tabela 9 - Classes de uso e cobertura do solo, Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato, área em km ²	85
Tabela 10 - Área total de cultivo de arroz, Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato	85
Tabela 11 - Área dos graus de fragilidade ambiental, Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da REBIO de São Donato e de sua Zona de Amortecimento	22
Figura 2 - Mapa da Sub-Bacia dos rios Butuí-Icamaquã, área da REBIO de São Donato - RS	26
Figura 3 - Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul	27
Figura 4 - Influência das massas de ar no estado do Rio Grande do Sul	29
Figura 5 - Distribuição dos principais banhados do Rio Grande do Sul	47
Figura 6 - Regiões espectrais da vegetação (reflectância pelo comprimento de onda)...	52
Figura 7 - Esquema representativo do método AHP	55
Figura 8 - Localização das estações meteorológicas, pluviométricas e fluviométricas na sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã e em seu entorno.....	57
Figura 9 - Coordenadas relativas às coberturas e usos do solo, REBIO de São Donato e de seu entorno.....	59
Figura 10 - Organograma da problematização da fragilidade, contendo critérios e subcritérios	65
Figura 11 - Média dos dados de precipitação mensal na sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã.....	71
Figura 12 - Dados de precipitação diária: (a) e (d) da Estação Pluviométrica de Porto Lucena (ANA); (b), (c) e (e) da Estação Pluviométrica de Palmitos (ANA).....	73
Figura 13 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã: (a) imagem de 24/05/1987; (b) imagem de 18/09/1989; (c) imagem de 17/06/1990; (d) imagem de 20/02/1994; (e) imagem de 25/05/2005.....	74
Figura 14 - Mapa de altitudes, corpos d'água e áreas inundadas, sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã: (a) imagem de 24/05/1987; (b) imagem de 18/09/1989; (c) imagem de 17/06/1990; (d) imagem de 20/02/1994; (e) imagem de 25/05/2005	75
Figura 15 - Dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA).....	80
Figura 16 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã: (a) imagem de 09/06/1987 e (b) imagem de 30/04/1990	80
Figura 17 - Dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA).....	81
Figura 18 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã: (a) imagem de 31/03/1985 e (b) imagem de 24/04/2011	82

Figura 19 – Mapas da Classificação de Uso e Cobertura do Solo: (a) 31/03/1985, (b) 20/02/1994, (c) 13/01/2015, Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato	84
Figura 20 – Foto referente a lavoura de arroz no dia 13/04/2016	87
Figura 21 – Foto do canal construído com recursos do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (Pró-Várzea)	87
Figura 22 – Foto da classe campo úmido com presença de vegetação adaptada a umidade, no dia 13/04/2016	88
Figura 23 – Foto da transição de campo úmido para o campo, no dia 13/04/2016.....	88
Figura 24 – Foto da classe mata no entorno do banhado, no dia 13/04/2016	89
Figura 25 – Graus de fragilidade (%) da prioridade global dos subcritérios: (a) vegetação, (b) uso do solo, (c) áreas úmidas e corpos de água	91
Figura 26 – Mapas de Fragilidade Ambiental: (a) Vegetação, (b) uso do solo, (c) áreas úmidas e corpos de água, Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato.....	92
Figura 27 – Mapa de Fragilidade Ambiental da Altitude, REBIO de São Donato e Zona de Amortecimento	94
Figura 28 – Grau de fragilidade da prioridade global do subcritério altitude	95
Figura 29 – Mapa de Fragilidade Ambiental, REBIO de São Donato e Zona de Amortecimento	96

SIGLAS

AHP – Processo Analítico Hierárquico

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

APP – Área de Preservação Permanente

ARIE – Área de Relevante Interesse Ecológico

ASPAN - Associação São-Borjense de Proteção ao Ambiente Natural

AU – Área Úmida

CEPED/UFRGS - Centro Universitário de Pesquisas e Estudos sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

CCJ – comissão de Constituição e Justiça

CI – Índice de Consistência

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CNZU – Comitê Nacional de Zonas úmidas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CR – Taxa de Consistência

DEFAP – Departamento de Florestas e Áreas Protegidas

DN – Nível Numérico

DRH – Departamento de Recursos Hídricos

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ESEC – Estação Ecológica

FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental

FZB – Fundação Zoobotânica

GPS – *Global Positioning System*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

INAU – Instituto Nacional de Áreas Úmidas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz

IUPN - União Internacional para a Proteção da Natureza

MAB – Homem e a Natureza
MAXVER – Máxima Verossimilhança
MDE – Modelo Digital de Elevação
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MNDWI – *Modified Normalized Difference Water Index*
MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*
NDPI – *Normalized Difference Pond Index*
NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*
NDWI – *Normalized Difference Water Index*
OLI – *Operational Land Imager*
ONU – Organização das Nações Unidas
PEC – Proposta de Emenda à Constituição
PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos
REBIO – Reserva Biológica
REM – Radiação Eletromagnética
RI – Consistência Aleatória
RS – Rio Grande do Sul
SEMA – Secretaria Especial do Meio Ambiente
SEMA – Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEUC – Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SRTM – *Shuttle Radar Topographic Mission*
SUDEPE – Superintendência do Desenvolvimento da Pesca
SUD-HEVEA – Superintendência da Borracha
TM – *Thematic Mapper*
TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*
UC – Unidade de Conservação
UICN – União Internacional para Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais
USGS – *United States Geological Survey*
UTM – *Universal Transversa de Mercator*

UNIDADES

cm – Centímetro

ha – Hectare

km – Quilômetro

km² – Quilômetro Quadrado

L/s/ha – Litro por segundo por hectare

m – Metro

mm – Milímetro

t – Tonelada

µm – Micrômetro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Justificativas.....	18
1.2. Objetivos Geral e Específicos.....	20
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	21
2.1. Reserva Biológica do São Donato: uma Unidade de Conservação	22
2.2. Contexto Hidrográfico: Sub-Bacia do Baixo Trecho Médio do Rio Uruguai	25
2.3. Geologia e Geomorfologia.....	26
2.4. Solos.....	28
2.5. Clima.....	28
2.6. Biodiversidade da REBIO de São Donato	29
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	31
3.1. Impactos Ambientais	31
3.2. Análise Ambiental: Da Ecodinâmica à Fragilidade Ambiental	32
3.2.1. Ecodinâmica	32
3.2.2. Fragilidade Ambiental	33
3.3. Unidades de Conservação	35
3.3.1. Legislação ambiental: panorama normativo para gestão de áreas protegidas	37
3.4. Áreas Úmidas	41
3.4.1. Legislação Brasileira quanto as Áreas Úmidas	43
3.5. Os Banhados do Rio Grande do Sul e os Impactos Ambientais	45
3.6. Enxurradas e Inundações.....	49
3.7. Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental.....	50
3.5. Processo Analítico Hierárquico (AHP)	54
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	56
4.1. Materiais	56
4.2. Metodologia.....	61
4.2.1. Fragilidade Ambiental	64
5. RESULTADOS	71
5.1. Dados Pluviométricos.....	71
5.2. Padrões de Inundação no banhado da REBIO de São Donato	72
5.2.1. Inundação no rio Uruguai e sua influência nos rios Butuí e Icamaquã	72

5.2.2. Inundação no rio Butuí e sua influência no Banhado da REBIO de São Donato	79
5.2.3. Inundação no Banhado da REBIO de São Donato	81
5.3. Análise Temporal de Uso e Cobertura do Solo na Zona de Amortecimento da REBIO de São Donato	83
5.4. Uso do AHP para o Mapeamento da Fragilidade Ambiental	89
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
7. REFERÊNCIAS	101

1. INTRODUÇÃO

Na atual circunstância dos interesses da sociedade, a biodiversidade tem seu valor único não mensurável, porém também é considerada um recurso natural. Esta contradição leva a ideia de um caminho que possui sentido duplo: a conservação ambiental e a sustentabilidade dos recursos naturais na busca de funcionar em conjunto.

A preocupação com a conservação do meio ambiente levou a criação de Espaços Especialmente Protegidos. Estes espaços devem cumprir importantes funções ecológicas, científicas, econômicas, sociais e políticas, e sua administração e manejo fundamentados em princípios de planejamento atualizado e dinâmico (IBAMA, 1996).

O Brasil possui uma Legislação Ambiental vigente que engloba e determina leis concernentes às Unidades de Conservação e áreas de grande interesse de preservação, sendo uma destas áreas, as Áreas de Preservação Permanente (APP). Entretanto, existem algumas lacunas na legislação, principalmente no que se trata de áreas úmidas, como também nas práticas de ação dessas leis. Como exemplo, pode-se citar as Unidades de Conservação com ausência de plano de manejo; a regularização fundiária que não ocorre; a falta de equipes de profissionais que possam elaborar um planejamento e gestão mais eficiente. Esta ausência pode ser observada a partir das descrições de cada unidade no site da Secretaria Estadual do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMA), por exemplo. Além disso, existe pouca participação da sociedade nas decisões legais e nas atividades, no diálogo com aqueles que, de fato, vivem nos lugares que devem ser protegidos por lei.

Segundo Vieira (2007), as áreas protegidas devem fazer parte do processo de planejamento e desenvolvimento socioeconômico do município no qual estão inseridas e não serem consideradas um problema para a administração municipal onde se encontram. Devem-se buscar alternativas para sua sustentação econômica e reduzir os conflitos com as prefeituras e outros atores sociais locais e regionais, através de ações tomadas em conjunto.

Existem no mundo várias áreas protegidas consideradas áreas úmidas. Estas áreas úmidas, por muito tempo foram, e ainda são, locais de pouco interesse de conservação, porém de alto uso para atividades econômicas, como é o caso do cultivo do arroz irrigado.

Deve-se compreender que a outorga de água – constituída pela Lei Estadual nº 10.350/94, que instituiu o Sistema Estadual de Recursos Hídricos – é um instrumento de gestão dos recursos hídricos que o Poder Público dispõe para autorizar, conceder ou

permitir aos usuários a utilização desse bem público (SEMA/DRH, 2014). Para que ocorra a outorga, é necessário o licenciamento ambiental que está relacionado a resolução 284/2001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). A resolução determina o Licenciamento Ambiental por empreendimento e propriedade individual.

No caso do arroz irrigado, entende-se como empreendimento de irrigação o conjunto de obras e atividades que o compõe, tais como: o reservatório e captação, a adução e distribuição de água, a drenagem, os caminhos internos e a lavoura propriamente dita, bem como qualquer outra ação indispensável à obtenção do produto final do sistema de irrigação. Entretanto, em nenhum dos documentos supramencionados há uma definição deste uso em áreas úmidas e como pode ser realizado este processo legalmente nessas áreas. Mencionam apenas como proceder com o licenciamento do uso e a definição do mesmo.

Tornar as áreas úmidas conhecidas e divulgar a imensa importância de preservação desses ecossistemas, foi um passo realizado em 1971, através da Convenção de Ramsar que estabelecia um tratado com vários países para que fossem criados diversos sítios de preservação de áreas úmidas no mundo inteiro.

Com relação aos banhados, um tipo de área úmida, característico do bioma pampeano, ainda se desconhece a sua hidrodinâmica. De acordo com Brinson (1993), as áreas úmidas são determinadas por sua hidrodinâmica, ou seja, refere-se ao movimento da água e a capacidade de transporte dos sedimentos e nutrientes para superfícies. Configurando-se em três categorias de hidrodinâmica: (a) flutuações verticais que resultam da evapotranspiração e posterior substituição por precipitação ou descarga de águas subterrâneas; (b) os fluxos unidirecionais que variam de fortes correntes para o fluxo lento através de uma planície de inundação; e (c) bidirecional de superfície ou perto da superfície, resultante de marés ou inundações.

Os banhados do Rio Grande do Sul, diferentemente das áreas úmidas brasileiras, como por exemplo, o Pantanal, não possuem uma sazonalidade considerando os períodos de inundação e seca, em função do clima subtropical, onde ocorre precipitação o ano inteiro. Entretanto, depende de períodos com precipitação o bastante para que aconteça o encharcamento do solo do banhado.

Devido a ausência de sazonalidade de períodos de inundação e seca nos banhados, da falta de conhecimento de sua grande importância ecológica e dos interesses econômicos que o entendem como recurso, há uma grande dificuldade na delimitação e na gestão dessas áreas.

Portanto, esta dissertação aplica metodologias buscando compreender a dinâmica e a fragilidade ambiental do banhado da Reserva Biológica de São Donato - RS, a partir de seu contexto hidrográfico que compreende condições geomorfológicas, meteorológicas e de solo.

1.1. Justificativas

A Reserva Biológica de São Donato (REBIO) é integrada ao bioma Pampa. No Brasil, o Pampa só se estabelece no Rio Grande do Sul, sendo uma área com características naturais únicas no país. Em 2009 foi proposta uma emenda na constituição¹ colocando o bioma Pampa na lista de biomas protegidos, mas somente em 2010, a PEC foi aprovada na Comissão de Constituição e Justiça (CCJ), porém ainda aguarda em processo para a deliberação do plenário.

Tratando-se do bioma Pampa na porção brasileira, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2015), 41,32% da área total possui sua cobertura vegetal original, sendo que 58,68% desta área foi modificada por algum tipo de uso antrópico, como a cultura do arroz que predomina em toda a metade sul do estado do Rio Grande do Sul. Este bioma possui ambientes que são conhecidos como banhados.

No passado, os banhados ocupavam grandes extensões da zona costeira e também de regiões mais internas do Estado (BURGER, 2000). Entretanto, atualmente, podem ser considerados como ecossistemas vulneráveis e ameaçados devido ao crescimento urbano, assoreamentos, drenagem e poluição (CARVALHO; OZÓRIO, 2007).

Deve-se considerar que os banhados são áreas úmidas e estas são abordadas no Plano Nacional de Recursos Hídricos como prioridades para o quadriênio 2012-2015, segundo (MMA, 2011; CUNHA et al., 2015), através de medidas, como o mapeamento das áreas úmidas brasileiras.

O banhado da REBIO de São Donato, sendo um ambiente característico remanescente do Pampa, é um local onde a preocupação com a conservação é crescente. A reserva foi criada para minimizar os impactos ambientais gerados pela irrigação das lavouras de arroz, a partir da drenagem dessa área úmida gerando vários problemas como a redução das áreas naturais e a retirada da vegetação; a variação do nível do lençol

¹ PEC Nº 5 de 2009, disponível em <http://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/90280>.

freático; erosão e/ou assoreamento de recursos hídricos; contaminação por agrotóxicos (no ambiente) e dispêndio excessivo de água (BURGER, 2000; FZB, 2002).

Segundo a Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (2002), a REBIO é um dos últimos refúgios para a fauna e flora típicas do ecossistema de banhado em toda a fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Além disso, é considerada como Área de Prioridade extremamente alta para conservação, segundo o MMA (2006). O banhado apresenta grande singularidade devido à ocorrência de espécies de distribuição geográfica bastante restrita no âmbito regional, como também, abriga animais considerados ameaçados de extinção em escala mundial, nacional e regional. Levantamentos biológicos efetuados na área comprovam sua importância para a conservação da biodiversidade do Estado, como é o caso de espécies protegidas pela legislação estadual, dentre as quais se destacam as leguminosas arbóreas grápia (*Apuleia leiocarpa*), açúcará (*Gleditsia amorphoides*) e cabreúva (*Myrocarpus frondosus*).

1.2. Objetivos

Objetivo Geral

Essa dissertação tem como objetivo analisar a dinâmica e a fragilidade ambiental da Reserva Biológica de São Donato - RS, a partir de geoprocessamento.

Objetivos Específicos

Para atingir esta proposta foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Compreender a dinâmica de inundação do banhado da REBIO de São Donato e de seu contexto hidrográfico;
- Identificar os usos e seus impactos, a partir de análise multitemporal do uso e cobertura do solo;
- Avaliar, a partir da metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) e do conceito de Fragilidade Ambiental, as áreas mais frágeis que afetam as perspectivas sobre a conservação do banhado remanescente da REBIO de São Donato.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Reserva Biológica de São Donato e seu raio de amortecimento (10 km, a partir do centro da reserva) estão localizadas na região da Fronteira Oeste do estado do Rio Grande do Sul, a bacia do Rio Uruguai, na Sub-Bacia do Baixo Trecho Médio do Rio Uruguai, onde fazem fronteira com a Argentina. Além disso, a REBIO é cortada pela rodovia federal 472.

A REBIO de São Donato sendo uma unidade de conservação, criada através do Decreto Nº 23.798 de 1975, possui o objetivo de proteger seu ambiente natural, sendo o mesmo característico do bioma Pampa. A REBIO é ao mesmo tempo uma área úmida remanescente deste bioma. Entretanto, existem alguns usos que geram impactos ambientais negativos que afetam o banhado, sendo estes o cultivo de arroz irrigado e a pecuária extensiva. Portanto, esses usos podem gerar impactos e fragilidades como, por exemplo, erosões e assoreamentos, entre outros.

Deve-se compreender que a Fronteira Oeste do RS é a região maior produtora de arroz irrigado, segundo o IRGA (2015). Sabendo-se desse fato os municípios que abrangem a reserva e seu raio de Amortecimento são Itaqui, Maçambará e São Borja (Figura 1), que são produtores do arroz irrigado.

Destaca-se que os limites da reserva não abrangem toda a área do banhado, Figura 1, inclusive algumas áreas estão ocupadas por áreas de lavoura de arroz. Além disso, o raio de amortecimento da REBIO não é considerado Zona de Amortecimento, pois não há nenhum planejamento de gestão nessa área. Entretanto, o limite do raio é chamado de Zona de Amortecimento no arquivo do *shape*, disponível na página da SEMA, na Reserva Biológica de São Donato.

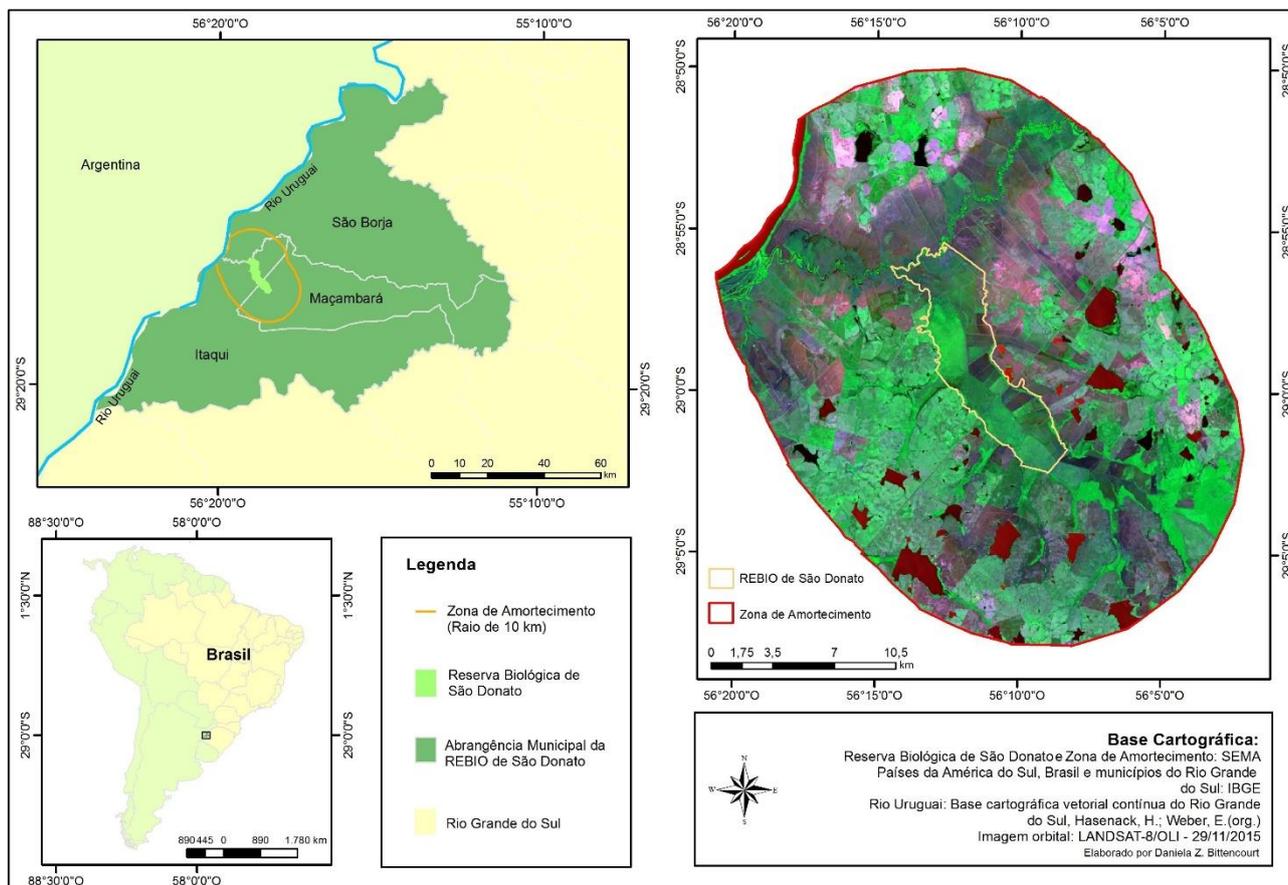


Figura 1 – Localização da REBIO de São Donato e de seu raio de amortecimento.

2.1. Reserva Biológica do São Donato: uma Unidade de Conservação

A Reserva Biológica (REBIO) de São Donato é uma unidade de conservação de proteção integral. Segundo a Lei N° 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza, no Art. 10 diz que:

“A Reserva Biológica tem como objetivo a preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, excetuando-se as medidas de recuperação de seus ecossistemas alterados e as ações de manejo necessárias para recuperar e preservar o equilíbrio natural, a diversidade biológica e os processos ecológicos naturais”. (BRASIL, 2000).

Segundo o objetivo descrito na lei, o termo “atributos naturais”, no caso da REBIO de São Donato, seria o banhado característico do estado do Rio Grande do Sul e do bioma do Pampa. Segundo o Decreto N° 38.814 de agosto de 1998, que regulamenta o SEUC,

artigo 12, a Reserva Biológica:

“Área destinada à preservação integral da biota, administrada pelo Poder Público, sem interferência humana direta, cuja superfície varia em função do ecossistema ou ente biológico de valor científico a ser preservado. O acesso público é restrito à pesquisa científica e a educação ambiental”. (RS, 1998).

No Brasil o bioma Pampa está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa uma área de 176.496 km² (MMA, 2015). Isto corresponde a 63% do território estadual e a 2,07% do território brasileiro. As paisagens deste bioma se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, matas de encosta, matas de pau-ferro, formações arbustivas, butiazais, banhados, afloramentos rochosos, etc. Trata-se de um patrimônio natural, genético e cultural de importância nacional e global (MMA, 2015). Entretanto, grande parte de sua área foi modificada por algum tipo de uso antrópico, como a cultura do arroz que predomina na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul.

A Reserva Biológica de São Donato foi criada com o Decreto Nº 23.798, de 12 de março de 1975 pelo governo do estado do Rio Grande do Sul em conjunto com outras Unidades de Conservação. Estas foram criadas para atender às finalidades previstas na Convenção para Proteção da Flora, da Fauna e das Belezas Cênicas dos Países da América, aprovada pelo Decreto Legislativo Federal Nº 58.054, de 23 de março de 1966. Essa Convenção tem como objetivo proteger e conservar no seu ambiente natural exemplares de todas as espécies e gêneros da flora e fauna indígenas, incluindo aves migratórias, em número suficiente e em locais que sejam bastante extensos para que se evite, por todos os meios humanos, a sua extinção; e de proteger e conservar as paisagens de grande beleza, as formações geológicas extraordinárias, as regiões e os objetos naturais de interesse estético ou valor histórico ou científico (BRASIL, 1966).

Deve-se considerar que a REBIO se localiza entre dois municípios que são os maiores produtores de arroz do estado, São Borja e Itaqui. Nessa região a rizicultura inicia a partir de 1930, sendo impulsionada a partir de 1960 pela Revolução Verde (PAULA, 2013).

Em 1981, é sancionado o Decreto Nº 86.146² do Programa Nacional para

² O programa foi criado originalmente pelo Ministério da Agricultura no campo da irrigação agrícola. Atualmente, o IBAMA tem por objetivo estabelecer bases técnicas, científicas e políticas para a

Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (Pró-Várzea) com a finalidade de promover o aproveitamento racional e gradativo de áreas de várzeas nacionais em nível de propriedade rural. Segundo o decreto, foram beneficiários do Pro-Várzea Nacional os produtores rurais e suas cooperativas, através de financiamento e suporte técnico-administrativo na drenagem e sistematização de suas várzeas, onde se dava prioridade ao atendimento dos mini e pequenos produtores localizados, preferencialmente, em áreas com infraestrutura básica já implantada. A partir do Pró-Várzea os agricultores da região passaram a drenar as áreas alagadas, utilizando-as para o cultivo do arroz irrigado. Segundo a Fundação Zoobotânica (2002), desde a criação da REBIO de São Donato, 70% do banhado de mesmo nome foi transformado em lavouras de arroz.

Como ocorre com várias outras unidades de conservação do Estado, a criação da Reserva Biológica de São Donato, em 1975, não foi seguida de sua implementação efetiva. Isto oportunizou uma acentuada degradação das características naturais da área, respaldada pelo modelo de desenvolvimento agrícola vigente. Grande parte da área proposta para essa unidade de conservação foi usada para lavouras de arroz e drenada por produtores rurais. Um canal de drenagem foi construído ao longo de toda a extensão do banhado São Donato, alterando assim a hidrodinâmica natural do sistema (Fundação Zoobotânica, 2002).

Em meados de 1990 a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) deu início a tratativas para a regularização dos produtores de arroz estabelecidos junto ao canal do banhado São Donato. Entretanto, as ações não foram concluídas em virtude de dificuldades relacionadas com as exigências a serem atendidas pelos produtores (Fundação Zoobotânica, 2002).

Na mesma década, em 1997, foi protocolada uma ação pública contra o Estado do Rio Grande do Sul, através da ASPAN (Associação São-Borjense de Proteção ao Ambiente Natural), a qual culminou com uma determinação judicial que obriga o Estado do Rio Grande do Sul a efetivar a implementação imediata da REBIO, sob pena de sofrer as sanções cabíveis, da qual determinava a nomeação de um responsável (gestor) e de nova delimitação para a UC.

Em 2002, a Fundação Zoobotânica finalizou a primeira parte do relatório da Proposição de Limites da REBIO de São Donato, com três propostas de limites, levando em consideração a defasagem do limite criado em 1975. Esses limites foram baseados em

critérios de habitats, da proteção da fauna e flora, das nascentes e isolamento de sub-bacias, de solo, de minoração do impacto econômico negativo, através da exclusão das áreas com atividades econômicas.

Entretanto, em 2003 houve uma audiência pública para a discussão das propostas dos limites, mediada pela SEMA e do Departamento de Florestas e Áreas Protegidas (Defap). Os convocados para a audiência pública foram algumas entidades, como a ASPAN e proprietários de terras. Todavia, não houve um consenso entre os integrantes da audiência e, portanto, foram dificultadas quaisquer mudanças nos limites da reserva.

Atualmente, a REBIO de São Donato conta com apenas um gestor, com sede em Itaquí, não havendo guardas parque. Continua com os mesmos limites propostos em sua criação, entorno de 4.392 ha com área de amortecimento de um raio de 10 km, segundo SEMA (2010), Figura 1.

2.2. Contexto Hidrográfico: Sub-Bacia do Baixo Trecho Médio do Rio Uruguai

A sub-bacia corresponde à região da bacia hidrográfica do rio Uruguai que se encontra na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Tem como principal rio o Ibicuí, incluindo seu afluente principal o rio Santa Maria, mas conta ainda com três grandes rios, o Quaraí, o Butuí e o Icamaquã. A sub-bacia está dividida em quatro sub-regiões de planejamento, que correspondem às unidades de planejamento e gestão do SERH-RS (Sistema Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul): Butuí - Icamaquã, Santa Maria, Ibicuí e Quaraí (ORICONSUL, ECOPLAN e SKILL, 2008).

A REBIO de São Donato se localiza à sudoeste da sub-bacia/região (Figura 2), e segundo o Relatório do Diagnóstico da Região da Bacia do Rio Uruguai (ORICONSUL, ECOPLAN e SKILL, 2008), a sub-região dos rios Butuí e Icamaquã ocupa uma área de 8.948,3 km².

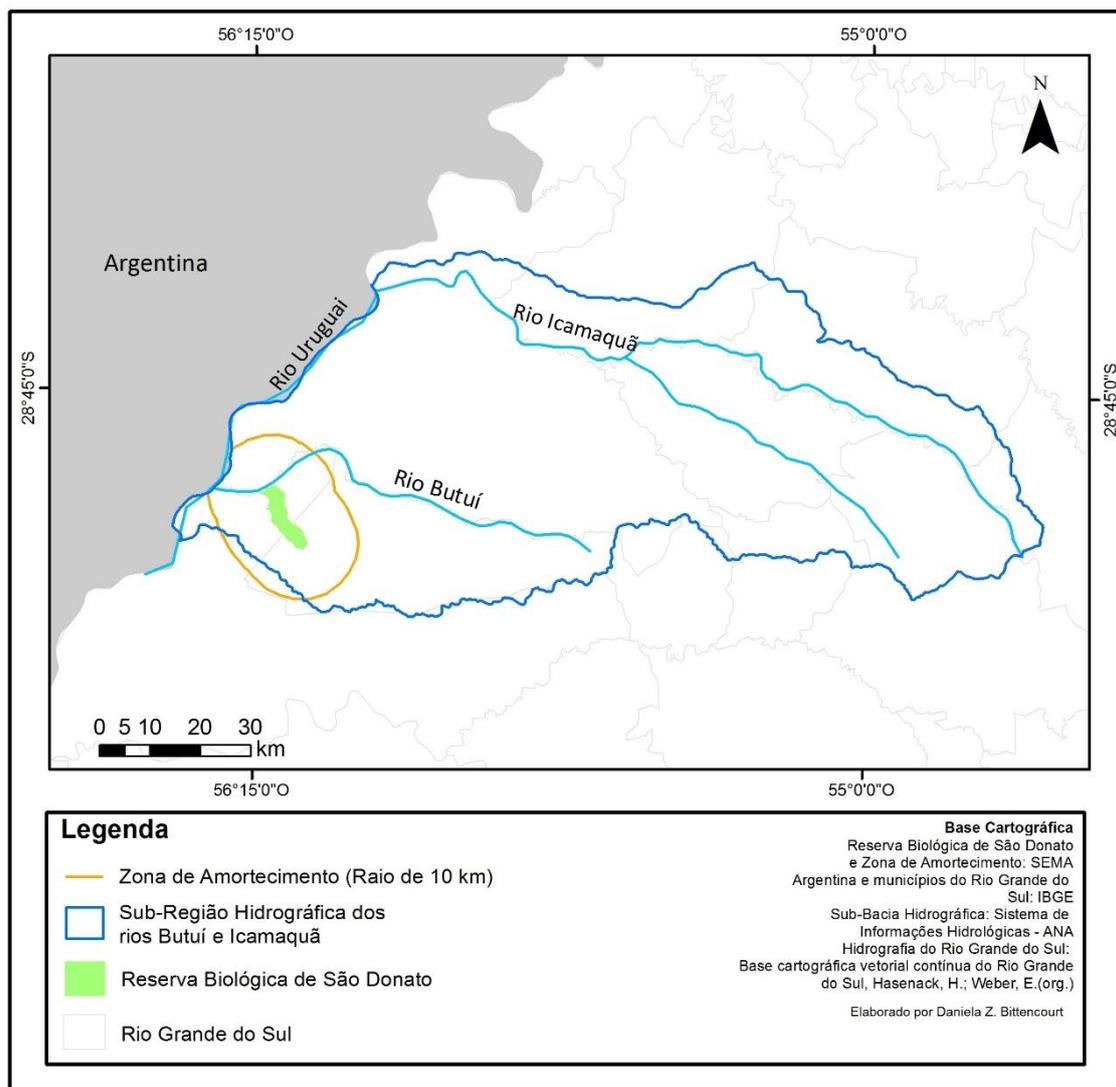


Figura 2 – Mapa da Sub-Bacia dos rios Butuí-Icamaquã, área da REBIO de São Donato - RS.

2.3. Geologia e Geomorfologia

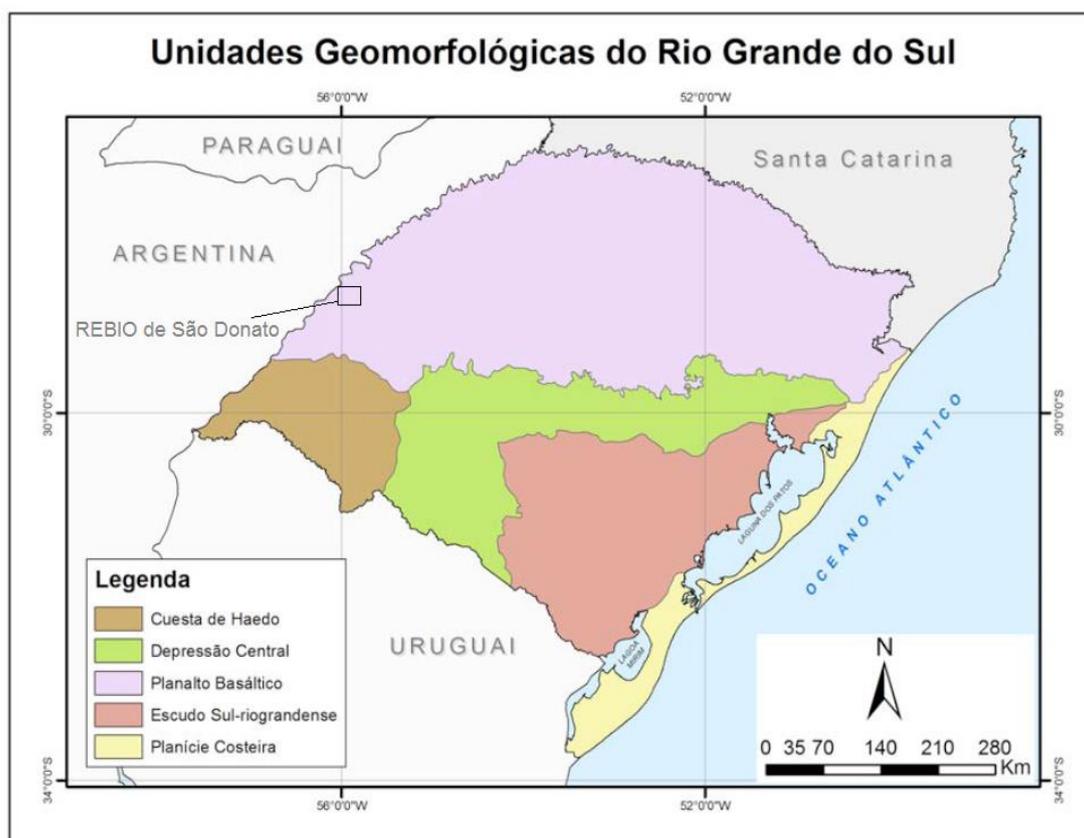
Conforme o Atlas Geoambiental de São Borja (LAGEOLAM, 2007), a REBIO de São Donato possui uma altitude máxima de 50 metros, e uma declividade de até 2%. Isto significa dizer que é uma área plana, ou de relevo de aplanamento, desnudado nas áreas interfluviais, em uma ampla superfície, com situações topográficas superiores que descem em direção aos terraços fluviais do rio Uruguai. A área entre esses dois níveis de aplanamento se refere à dissecação de colinas com pequenos aprofundamentos dos vales, associados à erosão fluvial (RIGHI, 2012).

Esta atual conformação do relevo é origem de vários processos geológicos. A região da bacia do rio Butuí é representada por rochas pertencentes à Bacia do Paraná e a depósitos recentes associados aos rios e arroios da região. Esta morfologia plana que

caracteriza a sub-bacia dos rios Butuí e Icamaquã é resultante do desgaste natural das rochas efusivas da Formação Serra Geral e dos arenitos da Formação Botucatu. Geologicamente, a região é composta por derrames basálticos, afloramentos areníticos e grandes aluviões nas planícies fluviais, resultando no Planalto Meridional (IBGE, 1986).

Segundo Suertegaray e Guasselli (2004), a unidade geomorfológica da qual abrange a área de estudo é a do Planalto Basáltico, na sua parte do extremo oeste (Figura 3). O Planalto Basáltico se encontra no extremo sul do Planalto Meridional. Conforme esse fato, a REBIO de São Donato se localiza no planalto basáltico, no vale do rio Uruguai.

Figura 3 – Unidades Geomorfológicas do Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de Muller Filho (1970), *apud* Suertegaray (2011).

2.4. Solos

Segundo o Atlas Geoambiental de São Borja (LAGEOLAM, 2007), o solo de predominância da Reserva é o Gleissolo - termo que associa ao processo de gleização (redução do ferro) atuante em ambientes alagadiços. Isto ocorre devido a presença de matéria orgânica, com ou sem alternância de oxidação, por efeito de flutuação de nível do lençol freático, em condições de regime de excesso de umidade permanente ou periódico.

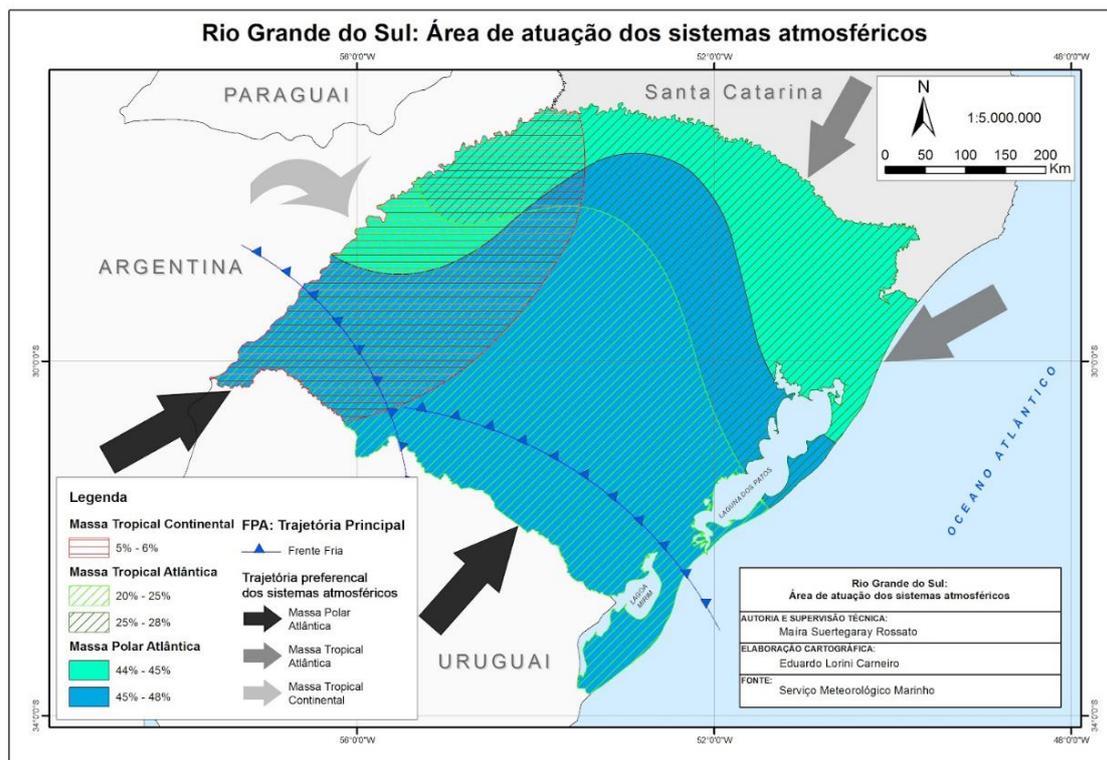
Gleissolos são solos hidromórficos (originado de formação sedimentar recente) constituídos por material mineral. Além disso, os solos desta classe encontram-se permanente ou periodicamente saturados por água, salvo se artificialmente drenados. A água permanece estagnada internamente, ou a saturação é por fluxo lateral no solo. Em qualquer circunstância, a água do solo pode se elevar por ascensão capilar, atingindo a superfície. Estes solos se formam em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos, como também em materiais residuais em áreas abaciadas e depressões. Além disso, eventualmente formados em áreas inclinadas sob influência do afloramento de água subterrânea. São solos que ocorrem sob vegetação hidrófila ou higrófila herbácea, arbustiva ou arbórea (EMBRAPA, 2006).

2.5. Clima

De acordo com a classificação climática elaborada por Rossato (2011), a área da REBIO de São Donato e seu raio de amortecimento, localiza-se num espaço de transição do clima Subtropical III (úmido com variação longitudinal das temperaturas médias) para o Subtropical IVa (muito úmido, com inverno fresco e verão quente) na Fronteira Oeste.

Conforme Rossato (2011), o clima subtropical III possui maior influência da massa tropical continental, onde sofre influência direta da continentalidade. Além disso, é encontrado na faixa localizada na escarpa do Planalto Basáltico. Já o clima subtropical IVa, encontrado no Planalto Basáltico, também sofre maiores influências da massa tropical continental, porém, tendo maiores associações na primavera e verão, combinado com a ação do relevo e influência direta da continentalidade (Figura 4). Deve-se compreender que os sistemas frontais em ambos os tipos de climas subtropicais são responsáveis pela maior parte das precipitações.

Figura 4 – Influência das massas de ar no estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Rossato (2011).

Conforme Righi (2016), eventos de inundação na bacia hidrográfica do rio Uruguai são recorrentes. Entretanto, não há uma sazonalidade para essas ocorrências, devido ao clima subtropical que influencia a região da bacia; e de sua característica de chuvas bem distribuídas ao longo do ano. De acordo com Righi (2010) entre 1980 a 2005 foram registradas 41 ocorrências de inundação.

2.6. Biodiversidade da REBIO de São Donato

Segundo Mitsch e Gosselink (2015), o conjunto de biodiversidade que se forma no banhado de São Donato é considerado único da região, em função de suas condições hidrológicas e de desenvolvimento de vida, todavia não é isolado, este ecossistema interage com outros.

Segundo a Fundação Zoobotânica (2002), o banhado caracteriza-se por um mosaico de comunidades vegetais herbáceas altas e densas com predomínio de distintas espécies, refletindo condições diferenciadas de habitats. Também estão presentes macrófitas flutuantes/fixas, flutuantes/livres e submersas nos locais com maior

profundidade da lâmina de água.

A formação florestal estacional presente na área mostra diluição de elementos da floresta do Alto Uruguai, apresentando espécies em comum com a flora argentina. O “mato” São Donato é uma mancha bastante representativa das florestas da região, sendo também importantes os remanescentes de matas que apontam o limite natural do banhado, especialmente aquelas localizadas ao sul deste. Nestas, segundo Widholzer (1986), em acompanhamento às elevações do terreno, nota-se a ocorrência de variação para a mata de galeria. Os campos limpos são raros, sendo os campos com espinilho (*Acacia caven*) mais comuns na região. Além disso, acompanhando a borda do banhado, encontram-se salgueiros e corticeiras, com grande número de orquídeas, cactáceas e bromeliáceas.

A REBIO de São Donato abriga espécies que, no Rio Grande do Sul, apresentam distribuição muito restrita, incluindo a rara *poligonácea Cocoloba argentinensis*, fanerógama típica da Província do Chaco, que em território brasileiro só ocorre no extremo oeste do Estado e no oeste do Mato Grosso do Sul, e a anonácea araticum (*Rollinia emarginata*), presente no extremo oeste e noroeste do Rio Grande do Sul. Além disso, encontram-se a família Leguminosae, *Aschynomene montevidensis*, com poucos registros restritos às áreas úmidas da fronteira oeste do Estado, também foi observada na área da REBIO de São Donato, assim como a gramínea *Paspalum haumanii var. haumanii* (Fundação Zoobotânica, 2002).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O referencial teórico insere aspectos conceituais, desde a caracterização da área de estudo à caracterização do método utilizado.

3.1. Impactos Ambientais

Segundo a resolução N°1 do CONAMA de 1986, impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas. Entretanto, segundo Sánchez (2013), há duas variações de conceito de impactos ambientais, os positivos e negativos, cujos impactos positivos não possuem a necessidade da influência de atividades humanas.

Segundo Espinoza (2007), os impactos ambientais positivos são ações envolvendo melhoria do ambiente, tanto em processos naturais quanto em atividades humanas que auxiliam na regeneração de ecossistemas. Portanto, segundo Sánchez (2013), a primeira situação, pode ser explicitada por uma condição em que uma determinada área ocupada por uma formação vegetal, que já foi, no passado, alterada por ação do homem através de corte seletivo de espécies arbóreas, na situação atual, não sofrendo ações antrópicas, tende a realizar um processo de regeneração natural. Assim, com a regeneração natural, dentro de certo período, a vegetação tende a voltar para uma situação próxima a original.

Tratando-se da segunda situação de impacto ambiental positivo, onde há influência antrópica, segundo Sánchez (2013), tem-se como exemplo um projeto que envolva a coleta e o tratamento de esgotos, que resultará em melhoria da qualidade das águas, em recuperação do habitat aquático e em efeitos benéficos sobre a saúde pública.

Segundo Sánchez (2013), os impactos ambientais negativos são equivalentes à degradação ambiental. Portanto, é qualquer situação adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou como uma alteração adversa da qualidade ambiental.

Portanto, deve-se considerar que os impactos negativos ocorrem a partir de supressão de elementos do ambiente, como um determinado tipo de vegetação; inserção de elementos no ambiente, considerado como espécie exótica ao ambiente que não é natural a ela e a poluição, gerada pela demanda de bens e serviços, que dependem de grandes edificações.

3.2. Análise Ambiental: Da Ecodinâmica à Fragilidade Ambiental

O conceito e objetivo da Fragilidade Ambiental, criado por ROSS (1994), fundamenta-se no estudo qualitativo de Unidades Ecodinâmicas de Jean Tricart (1977). Portanto, para determinar e definir Fragilidade Ambiental é preciso definir Ecodinâmica.

3.2.1. Ecodinâmica

Segundo Silva (2016), a proposta da Ecodinâmica de Tricart (1977) foi fundamentada na teoria da bio-resistância de H. Erhart (1956), aplicado a um sistema de classificação dos meios naturais, no qual distinguiu as unidades ecodinâmicas em função do predomínio dos processos morfodinâmicos, ou seja, da morfogênese ou da pedogênese. Além disso, segundo Tricart (1977), o conceito de unidades ecodinâmicas é integrado no conceito de ecossistema, tendo como enfoque as relações mútuas entre os diversos componentes de um ambiente, da dinamicidade do mesmo e dos fluxos de energia/matéria no meio ambiente.

Deve-se considerar que a gestão das unidades ecodinâmicas tem como objetivo a avaliação do impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema, determinando a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema ou determinar as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação (TRICART, 1977).

Jean Tricart se apoiou na tríade – vegetação, relevo, e solos – para a identificação das unidades ecodinâmicas, sendo este tripé responsável pelo balanço da morfodinâmica (pedogênese-morfogênese), de acordo com Silva (2016).

Portanto, segundo Jansen (2013) sobre Tricart, as intervenções humanas afetam primeiramente a cobertura vegetal, e isso faz com que haja uma modificação no valor econômico da qualidade da água, da pedogênese e do regime dos rios. As unidades ecodinâmicas foram classificadas por Tricart em: estáveis (evolução lenta e de difícil percepção – pedogênese prevalece sobre a morfogênese), intergrades (pedogênese equivalente à morfogênese) e instáveis (meio em que a morfogênese é o elemento predominante na dinâmica natural).

Tratando-se dos meios estáveis, estes possuem condições de cobertura vegetal suficientemente fechada para impedir os processos de intemperismos provenientes da morfogênese, sendo esta a principal característica que auxilia na estabilidade de determinados meios, além da própria característica morfogênica (TRICART, 1977). Já os

meios intergrades, são considerados meios de transição entre os meios estáveis e os meios fortemente instáveis. E por último, segundo Silva (2016), os meios fortemente instáveis, com predomínio da morfogênese, esta caracterizada por uma cobertura vegetal ausente ou muito aberta, por isso fortemente suscetível a ação mecânica da morfogênese. Nesses ambientes as formas de relevo são fortemente dissecadas e possuem elevado ângulo de declividade. Em geral, os solos são rasos ou pedregosos.

Segundo Silva (2016), a partir da aplicação dos modelos de fragilidade ambiental e vulnerabilidade ambiental, desenvolvidos respectivamente por Ross (1994) e por Crepani et al. (1996), a proposta da Ecodinâmica tornou-se um método tangenciável, ou seja, ambas são propostas de cunho prático, que poderiam ser mapeadas pelo método de síntese cartográfica.

Além disso, mais recentemente, a partir do desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas (SIG's), estes modelos tornaram-se bastante utilizados no contexto das atividades de geoprocessamento.

3.2.2. Fragilidade Ambiental

Para Christofolletti (1999), o termo fragilidade ou sensibilidade representa o nível em que um sistema responderá a uma mudança ocorrida em seus elementos controladores que envolvem os condicionamentos gerais ligados com o clima e a geodinâmica, e com as interações funcionais entre seus componentes, atrelados com os processos geomorfológicos, hidrológicos e ecossistêmicos.

Schumm (1991) define fragilidade como a propensão de um sistema responder às mudanças externas menores, de modo que se um sistema for sensível e estiver próximo de um limiar ele responderá a uma influência externa. Essa análise se torna significativa quando da identificação e prognóstico de azares geomorfológicos e ambientais.

Segundo o Dicionário da Natureza (1987), a fragilidade ambiental diz respeito à susceptibilidade do meio ambiente a qualquer tipo de dano, ante a incidência de determinadas ações. As áreas frágeis são aquelas que, por suas características, são particularmente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação, apresentando assim impedimentos ao uso e ocupação do solo.

Nota-se que as duas primeiras definições de Christofolletti (1999) e Schumm (1991), abrangem aspectos morfodinâmicos como os principais definidores do aspecto da fragilidade, onde fatores externos da própria natureza podem ser definidores da mesma.

Entretanto, a terceira definição impõe os impactos ambientais oriundos de uso e ocupação do solo como fatores externos a propensão da fragilidade ambiental.

Portanto, a concepção e o estudo de Ross (1994), consideram uma mescla desses conceitos, pois depende das características morfológicas e pedogênicas, como também, considera fatores externos naturais e oriundos de ações humanas. Segundo ROSS (1994), a fragilidade relacionada com o zoneamento ambiental pode configurar:

“O estudo de um determinado território pressupõe o entendimento da dinâmica de funcionamento do ambiente natural com ou sem a intervenção das ações humanas. Assim, a elaboração do Zoneamento Ambiental deve partir da adoção de uma metodologia de trabalho baseada na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural, e do meio socioeconômico, visando buscar a integração das diversas disciplinas científicas específicas, por meio de uma síntese do conhecimento acerca da realidade pesquisada.”

As fragilidades dos ambientes naturais devem ser avaliadas quando pretende-se aplica-la ao planejamento territorial ambiental, onde Ross (1994) busca uma base no estudo de Tricart (1977). Conforme essa teoria há troca de energia e matéria na natureza que mantem relações de equilíbrio dinâmico. Entretanto, esse equilíbrio é constantemente afetado pelas intervenções humanas nos diversos componentes da natureza, gerando estado de desequilíbrios temporários ou até permanentes. Portanto, os ambientes que estão em equilíbrio dinâmico são estáveis e quando estão em desequilíbrio são instáveis (TRICART, 1977).

A partir dessas concepções, Ross (1990), inseriu novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e as Unidades Ecodinâmicas Instáveis, apropriando-os de forma mais detalhada, ampliando esses conceitos, estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente, desde Instabilidade Muito Fraca a Muito Forte. Já as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, apresentam-se Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial, desde Muito Fraca a Muito Forte. Após, simplificando, para Fragilidade Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte (ROSS, 1994).

Segundo Ross (1994), a análise empírica da fragilidade exige estudos básicos do relevo, do subsolo, do solo, de cobertura e uso da terra e do clima. O autor considera altitudes e declividades maiores como as mais frágeis. Além disso, é importante

considerar que as áreas desmatadas e queimadas, com presença de solo exposto e culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas como áreas muito frágeis. Entretanto, não aborda áreas que são consideradas úmidas, apenas pontua que as florestas são consideradas áreas de maior proteção, assim como a presença densa de plantas herbáceas.

3.3. Unidades de Conservação

Tratando-se da temática sobre Unidades de Conservação (UC's), deve-se compreender como surgiu o interesse sobre a preservação de áreas consideradas relevantes em aspectos ambientais e de biodiversidade num panorama local, nacional e mundial.

Segundo a União Internacional para Conservação da Natureza (2008), as Áreas Protegidas englobam o conceito de Unidades de Conservação, sendo estas “áreas com limites geográficos definidos e reconhecidos, cujo intuito, manejo e gestão buscam atingir a conservação da natureza, de seus serviços ecossistêmicos e valores culturais associados de forma duradoura, por meios legais ou outros meios efetivos”.

De acordo com VIEIRA (2007), as primeiras UC's criadas não tinham como finalidade principal a conservação da biodiversidade, elas estavam relacionadas com o estabelecimento da conservação da natureza, com a preservação de belezas cênicas e espaços para atividades de caráter recreativo e educacional. É importante salientar que este viés estava relacionado com a criação do Parque Nacional de Yellowstone, em 1872 (BRITO, 2000).

Em nível mundial, a preocupação com as áreas protegidas obteve seu marco de início no ano de 1948, com a criação da União Internacional para a Proteção da Natureza (IUPN), renomeada em 1956 para União Internacional para Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais (UICN) que tinha como objetivo a conservação da biodiversidade em escala mundial (ALMEIDA, 2014). Entretanto, anteriormente ficou definido um conceito universal para as Áreas Protegidas, pois já havia várias pelo mundo. Este conceito foi criado na Convenção para Preservação da Fauna e Flora em seu Estado Natural, em Londres, 1933 (BRITO, 2000).

Antes da criação da UICN, foi realizada a Conferência para a Proteção da Flora, da Fauna e das Belezas Cênicas Naturais dos Países da América em 1942 em Washington. Esta conferência visou discutir resultados da conferência em Londres e discutir as experiências dos países presentes, como também, unificar os conceitos e objetivos das

áreas das quais eram primordiais para a proteção e comprometer os países sul-americanos a criarem áreas protegidas (BRITO, 2000).

Na Conferência da Biosfera, em 1968, ocorre uma discussão mais aprofundada quanto aos conflitos socioambientais que ocorrem em vários países, de como deveriam ser os usos mais racionais dos recursos naturais, como também, um trabalho de convencimento para as nações menos desenvolvidas conservarem áreas primordiais à proteção. Não obstante, em 1972, ocorreu a Conferência de Estocolmo³, sendo esta um desdobramento da Conferência da Biosfera (BRITO, 2000; VIEIRA, 2007).

A Conferência de Estocolmo ocorreu como um marco importante na história do ambientalismo no mundo. Nela, foram discutidos diferentes problemas sociais, políticos, econômicos e ambientais, onde havia o intuito de criar soluções aos conflitos socioambientais (McCORMICK, 1992). Deve-se ressaltar que neste evento foi estabelecido que os problemas ambientais transcendiam as fronteiras, e que estavam associados aos problemas atuantes que formam e complementam uma sociedade (BRITO, 2000).

Além disso, a conferência trouxe a criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), que segundo a ONU (2015), tem entre seus principais objetivos manter o estado do meio ambiente global sob contínuo monitoramento; alertar povos e nações sobre problemas e ameaças ao meio ambiente e recomendar medidas para melhorar a qualidade de vida da população sem comprometer os recursos e serviços ambientais das gerações futuras.

Em 1976 foi criado o MAB (Homem e a Biosfera), um programa que tinha como objetivo a preservação de grandes áreas, interpretando a realidade da ocupação humana no interior das mesmas e em seu entorno (BRITO, 2000). Portanto, neste programa foram criadas as Reservas da Biosfera, que segundo Vieira (2007) são áreas de ambientes marinhos ou terrestres, representativos, reconhecidos internacionalmente pelo seu valor para a conservação ambiental e para o provimento do conhecimento científico, da experiência e dos valores humanos com vistas à promoção do desenvolvimento sustentável. Portanto, é estabelecida uma relação da qual o ser humano não é distanciado da natureza, todavia, fazendo parte dela.

Em 1992, realizou-se a Conferência Mundial das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92). A Rio-92 estabelece uma nova e justa parceria

³ Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em Estocolmo.

global mediante a criação de novos níveis de cooperação entre os Estados, os setores-chaves da sociedade e os indivíduos, trabalhando com vistas à conclusão de acordos internacionais que respeitem os interesses de todos e protejam a integridade do sistema global de meio ambiente e desenvolvimento, reconhecendo a natureza integral e interdependente da Terra, nosso lar (ONU, 1992).

3.3.1. Legislação ambiental: panorama normativo para gestão de áreas protegidas

Em 1934 com a elaboração da Constituição Brasileira é decretado o Código Florestal⁴, que estabelece importância das florestas e de outros tipos de vegetação para o bem comum da sociedade:

Art. 1º As florestas existentes no território nacional, consideradas em conjunto, constituem bem de interesse comum a todos os habitantes, do país, exercendo-se os direitos de propriedade com as limitações que as leis em geral, e especialmente este código, estabelecem.

Art. 2º Aplicam-se os dispositivos deste código assim às florestas como às demais formas de vegetação, reconhecidas de utilidade às terras que revestem.

Em 1965, a preocupação com o meio ambiente retorna aos cenários socioeconômicos e políticos, através do novo Código Florestal⁵ desta década, onde é notável a importância de criação de unidades de conservação. Assim, no artigo 5, o Poder Público⁶ tinha como objetivo criar:

a) Parques Nacionais, Estaduais e Municipais e Reservas Biológicas, com a finalidade de resguardar atributos excepcionais da natureza, conciliando a proteção integral da flora, da fauna e das belezas naturais com a utilização para objetivos educacionais, recreativos e científicos; (Revogado pela Lei nº 9.985, de 18.7.2000)

O Brasil, comprometido com a Conferência de Estocolmo para a criação de um órgão ambiental federal, criou a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA) em 1973.

⁴ Decreto Nº 23.793 de 23 de janeiro de 1934.

⁵ Lei Nº 4.771 de 15 de setembro de 1965.

⁶ Nesta época as UC's eram administradas pelo Ministério da Agricultura (VIEIRA, 2007).

Este órgão era subordinado ao Ministério do Interior e fora criado para cuidar dos problemas relacionados à poluição, mas depois o órgão começou a criar categorias e a implantar unidades de conservação: Estação Ecológica (ESEC), Área de Proteção Ambiental (APA) e Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE). E a primeira UC criada pela SEMA foi a ESEC Pau-Brasil, nos municípios de Porto Seguro e Santa Cruz de Cabrália, na Bahia, em 1977 (ALMEIDA, 2014).

Em 1989, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA)⁷ é criado, sendo este oriundo da extinção do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), da Superintendência da Borracha (SUD-HEVEA), da Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA) e da Superintendência do Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE)⁸. Portanto, de acordo com art. 2 da lei Nº 7.735 de 1989, o IBAMA teria autonomia administrativa e financeira, vinculada ao Ministério do Interior com a finalidade de formular, coordenar, executar e fazer executar a política nacional do meio ambiente e da preservação, conservação e uso racional, fiscalização, controle e fomento dos recursos naturais renováveis (BRASIL, 1989).

Segundo Vieira (2007), no ano de 2000 foi aprovado o projeto de Nº 2.892 sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). No ano de 2000 é aprovada a Lei Nº 9.985, que institui o SNUC e dá outras providências. O art. 1º, estabelece critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. E no capítulo III, artigo 7º, as Unidades de Conservação ficam divididas de acordo com os Quadros 1 e 2.

⁷ Lei Nº 7.735 de 1989.

⁸ IBDF e SUD-HEVEA extintos pela Lei Nº 7.732 de 1982.

Quadro 1 - Unidades de Conservação de proteção integral.

Unidades de Conservação de Proteção Integral		
Categorias	Objetivos	Uso
Estação Ecológica	Preservação da natureza e a realização de pesquisas científicas	Pesquisas científicas, visitação pública com objetivos educacionais
Reserva Biológica	Preservação integral da biota e demais atributos naturais existentes em seus limites	Pesquisas científicas, visitação pública com objetivos educacionais
Parque Nacional	Preservação dos ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica	Pesquisas científicas, desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico
Monumento Natural	Preservação dos sítios naturais raros, singulares ou de grande beleza cênica	Visitação pública
Refúgio de Vida Silvestre	Proteção dos ambientes naturais onde se asseguram condições para a existência ou reprodução de espécies ou comunidades da flora local e da fauna residente ou migratória	Pesquisa científica e visitação pública

Fonte: VIEIRA (2007).

Quadro 2 – Unidades de Conservação de uso sustentável.

Unidades de Conservação de Uso Sustentável		
Área de Proteção Ambiental (APA)	Proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais	Pesquisa científica e visitação pública. Normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada
Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE)	Manter os ecossistemas naturais e regulares ao uso admissível dessas áreas	Podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de uma propriedade privada
Floresta Nacional (FLONA)	Uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas	Visitação, pesquisa científica e manutenção de populações tradicionais
Reserva Extrativista (RESEX)	Proteger os meios de vida e a cultura das populações tradicionais e assegurar o uso sustentável dos recursos naturais	Extrativismo vegetal, agricultura de subsistência e criação de animais de pequeno porte. Visitação e pesquisa científica podem ser permitidas.
Reserva de Fauna	Área natural com populações animais de espécies nativas, terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias adequadas para estudos técnico-científicos sobre o manejo econômico sustentável de recursos faunísticos	Visitação pública e pesquisa científica
Reserva de Desenvolvimento Sustentável	Preservação da natureza e assegurar as condições e os meios necessários para a reprodução e a melhoria dos modos e da qualidade de vida e exploração dos recursos naturais das populações tradicionais, bem como valorizar, conservar e aperfeiçoar o conhecimento e as técnicas de manejo do ambiente.	Visitação pública, pesquisa científica voltada a conservação da natureza, à melhorar a relação das populações residentes com seu meio e à educação ambiental.
Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN)	Conservar a diversidade biológica	Pesquisa científica e a visitação com objetivos turísticos, recreativos e educacionais

Fonte: VIEIRA (2007).

Segundo a Lei Nº 9.985, as Unidades de Conservação de Proteção Integral possuem o objetivo de preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais, conforme a descrição do Quadro 1. Já as Unidades de Conservação de Uso Sustentável, possuem como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, conforme Quadro 2. Além disso, considera-se, através da Resolução Nº 319 de 2016 do estado do Rio Grande do Sul que existem critérios de licenciamento ambiental para empreendimentos no entorno das Unidades de Conservação, sendo a Zona de Amortecimento ou área circundante (raio)

de 10 km a partir do centro da UC (RS, 2016).

No estado do Rio Grande do Sul em 1992, o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC) é criado pelo Decreto N° 34.256. O Art. 1° constitui-se pelo conjunto de UC's estaduais e municipais que serão administradas por esse órgão. Entretanto, em 1998, o governo do estado conforme Decreto Estadual N° 38.914, Art. 1°, o SEUC integraria o Sistema Estadual de Proteção Ambiental, tendo como Órgão Superior o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA. Ainda no Art. 1° o SEUC deve:

“promover a criação, implantação e manutenção de unidades de conservação de forma a proteger ecossistemas naturais representativos, no território estadual, e suas águas jurisdicionais, garantindo a conservação ou preservação da biodiversidade nelas contida”.

Em 2008, é importante salientar que ocorreu a instituição do Código Estadual do Meio Ambiente do estado do Rio Grande do Sul, através da Lei N° 12.995, para atualizar a Lei N° 11.520 de 2000, onde no Art. 1°:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Estado, aos municípios, à coletividade e aos cidadãos o dever de defendê-lo, preservá-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras, garantindo-se a proteção dos ecossistemas e o uso racional dos recursos ambientais, de acordo com a presente Lei”.

3.4. Áreas Úmidas

Ao tratar da temática de Áreas Úmidas se observa que ainda há muito desconhecimento sobre o seu significado, assim como também, sobre que tipos de ecossistemas se enquadram nas suas diferentes definições. A seguir serão apontadas algumas definições de diferentes autores.

Segundo o conceito da Convenção de RAMSAR, AU's são áreas de diferentes tipos de pântanos, brejos, turfeiras ou de água rasa, tanto naturais quanto artificiais,

permanentes ou temporárias, doces, salobras ou salinas, incluindo áreas marinhas até uma profundidade de 6 metros durante a maré baixa (INAU, 2014).

Segundo INAU (2014), Áreas Úmidas (AU) são ecossistemas na interface de ambientes terrestres e aquáticos, continentais ou costeiros, naturais ou artificiais, permanentemente ou periodicamente inundados por águas rasas ou com solos encharcados, doces, salobras ou salgadas, com comunidades de plantas e animais adaptadas à sua dinâmica hídrica.

As Áreas Úmidas, segundo Mitsch e Gosselink (2015), possuem muitas características distintivas, sendo que as mais notáveis são a presença de água parada por algum período durante a estação de crescimento, condições únicas do solo e organismos, especialmente vegetação, adaptada para/ou tolerante dos solos saturados.

Observando os três conceitos citados anteriormente, nota-se que possuem alguns elementos em comum como o nível de saturação do solo com a água e a vegetação. Entretanto, no conceito de Mitsch e Gosselink (2015) há uma importante consideração da condição única de cada área úmida.

No século XIX, a drenagem de áreas úmidas era uma forma de manejo que ocorria - e ainda ocorre - de forma exacerbada, não considerando o futuro dos ecossistemas afetados. Estas áreas não eram consideradas cenários de grande beleza cênica, no entanto, eram desejáveis como a base da produção agrícola que necessitasse de irrigação (MITSCH e GOSELINK, 2015).

Segundo Mitsch e Gosselink (2015), uma das primeiras referências às Áreas Úmidas estava na publicação “Áreas Úmidas dos Estados Unidos”. Antes dessa época, as áreas úmidas foram referidas por muitos termos comuns que se desenvolveram no século XIX e antes, como pântano e charco. Além disso, mesmo que a importância dessas áreas fosse reconhecida no início de 1970, havia pouco interesse em precisar suas definições e reconhecimento desses locais. Entretanto, percebeu-se que era necessária uma melhor contabilização dos recursos naturais das áreas úmidas e de sua definição. Portanto, quando as leis e regulamentos relativos a áreas úmidas começaram a ser escritas no final de 1970, a necessidade de precisão de conceitos e de recursos naturais se tornou ainda maior.

Em 1971, estabeleceu-se a Convenção de Ramsar⁹. Esta convenção é um tratado intergovernamental – com tempo indeterminado – que estabelece marcos para ações

⁹ Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, na cidade iraniana de mesmo nome.

nacionais e para a cooperação entre países com o objetivo de promover a conservação e o uso racional de zonas úmidas no mundo. Essas ações estão fundamentadas no reconhecimento, pelos países signatários da Convenção, da importância ecológica e do valor social, econômico, cultural, científico e recreativo de tais áreas (MMA, 2015).

Em 1993, o Brasil assinou a Convenção de Ramsar, ratificando-a três anos depois, realizando o Decreto N° 1.905, de maio de 1996. Portanto, segundo o artigo 1º, a Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional, especialmente como Habitat de Aves Aquáticas, conhecida como Convenção de Ramsar, assinada em Ramsar, Irã, em 02 de fevereiro de 1971, apensa por cópia ao presente Decreto, deverá ser executada e cumprida tão inteiramente como nela se contém (BRASIL, 1996).

Atualmente o Brasil possui 12 sítios Ramsar (RAMSAR, 2015) – áreas úmidas de importância mundial. Entretanto, existem muitas áreas que necessitam e que poderiam se enquadrar nesta categoria, deixando estes locais frágeis e dispersos, sujeitos aos impactos ambientais.

3.4.1. Legislação Brasileira quanto as Áreas Úmidas

Existe no Brasil, uma preocupação crescente, porém ainda distante de metas de preservação e de manejos sustentáveis que concernem sobre todas as áreas úmidas no país. Estas se tornam um espaço obscurecido pela falta de conhecimento científico e são consideradas ainda, em muitos casos, áreas sem valor econômico, ecológico e/ou social.

Esses fatos são evidentes em uma leitura mais atenta do novo Código Florestal Brasileiro¹⁰. A legislação não cobre a necessidade de enquadramento dessas áreas, sendo elas tão distintas, porém possuindo grande importância, como por exemplo, as de tampão hidrológico que consistem em diminuir os picos de enchentes e secas, fornecendo água para riachos de cabeceira e águas subterrâneas por infiltração (CUNHA et al., 2015). Todavia, a legislação ambiental aborda ambientes fluviais, lacustres e recursos hídricos subterrâneos para fins diversos, como o industrial e o de tratamento de esgoto. Não se aprofunda com clareza nas áreas úmidas e isto se torna um problema para as opções de manejo adequadas para cada circunstância e para definir um órgão responsável para exercer controle sobre a preservação da área úmida.

Quanto a temática sobre recursos hídricos, estes se encontram agregados na Lei

¹⁰ Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012.

das Águas¹¹, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e possui em um dos seus instrumentos, denominado de Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), um conjunto de ações para efetivação da gestão de recursos hídricos no Brasil.

Existem alguns programas derivados da PNRH que abordam com mais detalhamento a questão das áreas úmidas, como é o caso do Programa IX (Gestão de Recursos Hídricos Integrada ao Gerenciamento Costeiro, incluindo as Áreas Úmidas) e o Programa XI (Conservação das Águas do Pantanal, em especial suas Áreas Úmidas) focam, de maneira prioritária, várias ações relacionadas às Áreas Úmidas dessas regiões. Entretanto, todas as ações, planejamentos e gestões abarcam as características somente dessas áreas, não incluindo outros tipos de áreas úmidas (CUNHA et al., 2015).

Para suprir algumas lacunas com relação às áreas úmidas, o governo criou algumas prioridades que constam no Plano Nacional de Recursos Hídricos para o quadrilênio 2012-2015, destacando-se: identificação, atualização e mapeamento das AUs do Brasil; elaboração e implementação de projetos de conservação nas bacias hidrográficas com AUs; adoção das ações do Centro de Saberes e Cuidados Socioambientais da Bacia do Prata e do Instituto Nacional de Áreas Úmidas, como referência na elaboração de estudos e pesquisa; elaboração e implementação de política de áreas úmidas; desenvolvimento de estudos sobre áreas úmidas e normatização do uso e da ocupação das AUs interiores; mapear e monitorar empreendimentos em áreas costeiras e úmidas; reavaliar o mecanismo de gestão das AUs e integrá-las ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; propor adequação das legislações estaduais às especificidades dos biomas caatinga e cerrado, zona estuarina e áreas úmidas (MMA, 2011; CUNHA et al., 2015).

Nota-se grande confusão quanto à situação legal das Áreas Úmidas no Brasil relacionada a um grande número de instituições envolvidas em sua gestão e à estrutura pouco transparente das interligações entre elas, como é o caso de grandes AUs. Entretanto, ainda existem muitas áreas que não se enquadram em nenhuma lei, permanecendo desprotegidas.

Deve-se considerar que a classificação das AUs brasileiras e de seus macrohabitats, como as diferentes definições foram apresentados ao MMA em diferentes reuniões de trabalho, junto ao MMA, a cientistas relacionados ao INAU, Comitê Nacional

¹¹ Lei Nº 9.433 de 1997.

de Zonas úmidas (CNZU), que culminaram com a seguinte recomendação, segundo Junk e Piedade (2015):

“Recomenda ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH que aprecie a seguinte proposta de conceito de recursos hídricos. [...]. Aqui foi citada pelo CNZU a definição do consorcio, incluindo todos os tipos de AUs. Recomenda aos órgãos, entidades e colegiados relacionados à formulação de políticas e legislação e a conservação de áreas úmidas brasileiras que: 1. Adotem a definição das AUs e o seu delineamento; 2. Adotem o sistema de classificação de AUs Brasileiras.”

3.5. Os Banhados do Rio Grande do Sul e os Impactos Ambientais

O termo “banhado” está relacionado a um conjunto de locais que são considerados Áreas Úmidas, e advém da palavra “bañado” pela influência dos países vizinhos. Os “bañados”, segundo Ringuelet (1962), como correspondente a palavra “marshes” do idioma inglês, são definidos como áreas de solo cobertas por uma delgada lâmina de água, com vegetação palustre e sem o desenvolvimento de uma população limnética.

Segundo o Código Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (Lei N° 12.995), os banhados são extensões de terras normalmente saturadas de água onde se desenvolvem fauna e flora típicas.

É importante citar também a definição elaborada por Martins-Mazzitelli (1998) para zonas correspondentes a banhados, estes são zonas de transição terrestre-aquática que são periodicamente inundadas por reflexo lateral de rios e lagos e/ou pela precipitação direta ou pela água subterrânea e que resultam num ambiente físico-químico particular que leva a biota a responder com adaptações morfológicas, anatômicas, fisiológicas, fenológicas e/ou etológicas e a produzir estruturas de comunidades características para estes sistemas.

Segundo Carvalho e Ozório (2007), os banhados se formam em regiões planas resultantes de sedimentação ou encordoamentos paralelos à linha de costa, onde a água doce é represada e flui lentamente. 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. Os banhados podem ter comunicação direta com outros

corpos hídricos, desenvolvendo-se na planície de inundação, ligando-se com lagoas e rios apenas no período das cheias, ou serem isolados. O padrão oscilatório natural das águas nos banhados alterna períodos de seca (verão), quando a água é evaporada total ou parcialmente, e períodos de cheia (inverno) decorrente das chuvas – pulsos de inundação.

No caso do estado do Rio Grande do Sul, os banhados existentes não possuem um padrão regular da presença de água, pois no estado o clima é subtropical, e a precipitação ocorre o ano inteiro, sendo que alguns meses mais que outros, todavia não há uma sazonalidade.

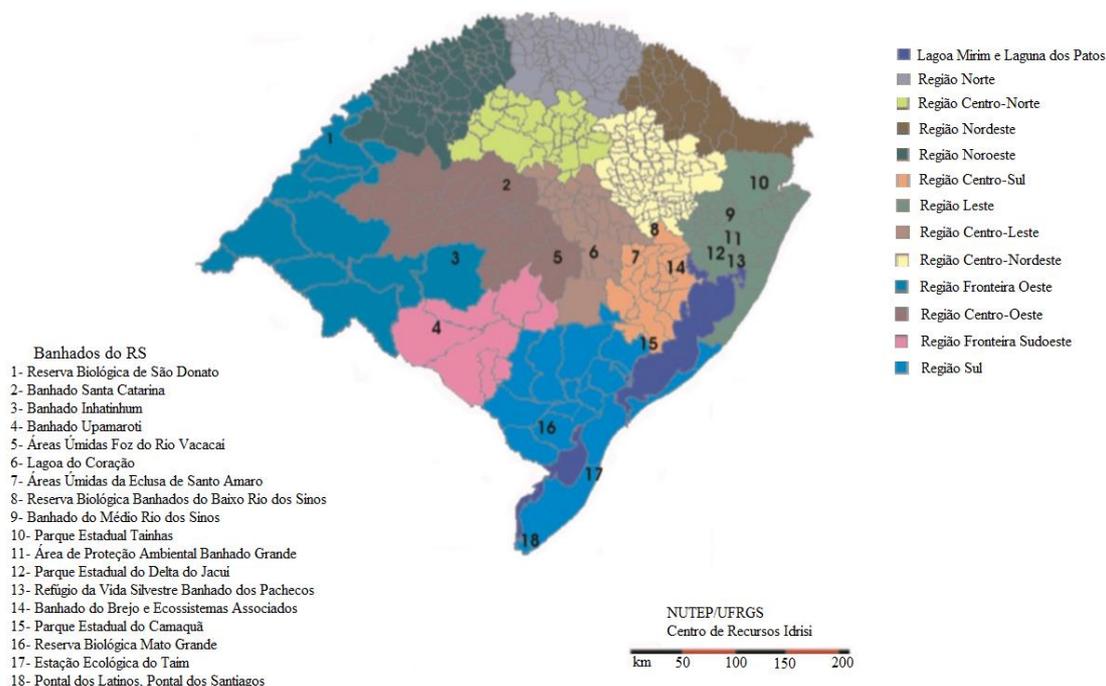
Segundo Widhozer (1986 apud Niering e Hetchum, 1972), os banhados possuem diversas qualidades, dentre elas: áreas de altíssima produtividade biológica, pois a maior parte de sua produção tornar-se detrito que vem a ser fonte de alimento, tanto para os organismos que vivem no local, quanto para os que habitam os estuários e enseadas que recebem as águas, drenadas, naturalmente dos banhados; locais de pouso e nidificação para as aves e são também muito ricos em matéria orgânica, em decorrência da decomposição de juncos e gramíneas.

Os banhados constituem criadouros e local de alimentação para toda a fauna aquática, desde peixes à mamíferos de pequeno porte, como as capivaras. Entretanto, o ecossistema depende, e muito, do elo mais fraco que o compõe. Como uma cadeia alimentar e de vida é uma inter-relação, qualquer elo que se quebre irá rompê-la, modificando-a e fragilizando-a (Daronch et al., 2006). Além disso, essas áreas são consideradas como tampões para prevenir danos de enchentes. Portanto, o papel do banhado na natureza é o de garantir a sobrevivência de seus ecossistemas vizinhos: quando ocorre uma seca o banhado fornece água ao rio, enquanto que nas cheias auxilia na retenção temporária do excesso d'água, desempenhando o papel de esponja natural (Daronch et al., 2006);

Os banhados do Rio Grande do Sul, ao longo do tempo e dos interesses econômicos, foram reduzindo sua área. Os banhados remanescentes vistos atualmente resultam da desvalorização desse tipo de ecossistema. O período de maior degradação foi durante o Programa Pró-Várzea, época dos governos militares, no final da década de 1970, que favorecia a drenagem de água dessas áreas para uso agrícola (Carvalho e Ozório, 2007). Segundo Fundação Zoobotânica (2002), o estado possuía originalmente 5,3 milhões de hectares de áreas úmidas, incluindo banhados e várzeas. Entretanto, é possível observar a grande redução em termos de área que esses ambientes sofreram ao longo dos anos através de imagens de satélite.

No Rio Grande do Sul, apesar de muitas áreas úmidas terem sido degradadas, existem ainda remanescentes importantes que traduzem as características do bioma Pampa no estado. Sendo aqueles mais característicos, os banhados da Planície Costeira, como, por exemplo, o Banhado do Taim e o Banhado Grande; e o banhado da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, São Donato. (Figura 5).

Figura 5 - Distribuição dos principais banhados do Rio Grande do Sul.



Fonte: Adaptado de CARVALHO e OZÓRIO (2007).

Desde 1908, com a introdução da rizicultura irrigada no Rio Grande do Sul, as áreas junto aos cursos d'água passaram por uma série de transformações para atender a demanda desta cultura. Entre as transformações impostas às zonas úmidas está a drenagem dos banhados presentes nestas áreas que, para ampliar a área cultivada, era e continua sendo uma prática danosa ao sistema hidrográfico como um todo.

Além disso, outra atividade bastante prejudicial a estes ecossistemas é a bovinocultura, já que para os produtores de gado é melhor que o banhado esteja no nível mais baixo, a fim de aumentar a área de pastagem. Por outro lado para os rizicultores, uma lâmina d'água maior para irrigação da lavoura é importante. No entanto, ambas as atividades, extremas e conflitantes, danificam o ecossistema nativo (Daronch *et al.*, 2006).

Segundo o Instituto Rio Grandense de Arroz (IRGA, 2015), o Rio Grande do Sul produz cerca de 6 a 8 milhões de toneladas de arroz por ano, correspondendo em torno de 50% do total da produção brasileira. De acordo com a safra 2014/15 há uma área cultivada em torno de 1 milhão e 100 mil hectares, com uma produtividade de aproximadamente 8.000 kg/ha. Estes resultados mostram que na última década a área plantada no Estado correspondeu, em média, a 1/3 a área cultivada no país. Portanto, o Estado possui uma produtividade elevada a nível nacional.

É importante salientar que, segundo o IRGA (2015), a área do Rio Grande do Sul que mais produz a cultura de arroz é a Fronteira Oeste com um total de quase 3 milhões de toneladas na safra de 2014/15. Os municípios que mais produzem, respectivamente são Uruguaiana (964.973 t), Itaqui (736.831 t) e São Borja (354.269 t).

Segundo o Manual de boas práticas agrícolas (IRGA, 2011), é importante salientar que as épocas de irrigação dependem do tipo de solo e das condições meteorológicas (temperatura, vento e umidade relativa do ar), pois possuem forte influência no volume de água a ser utilizado. Deve-se notar que pelas condições de solo e umidade, os banhados propiciam uma fonte de recurso hídrico para a atividade de cultura de arroz irrigado. Além disso, para irrigar um hectare são necessários cerca de 8.000 a 14.000 m³ de água, considerando aí as perdas na sua condução e distribuição como em canais e o tempo de irrigação é de até 80 a 100 dias, dependendo da época de semeadura e do ciclo do cultivar. Sendo que, as lavouras devem ser irrigadas de forma contínua até cerca de 15 dias após o florescimento, quando deverá ser suspensa a entrada de água. Além de prever a vazão de 3 a 5 L/s/ha para a inundação inicial, e prever a vazão de 1,0 a 1,5 L/s/ha para a manutenção da lâmina, deve ser mantida a altura da lâmina de água em 2,5 cm.

As lavouras de cultura de arroz irrigado devem respeitar a exigência presente na Lei N° 9.433 de 1997 da legislação ambiental brasileira, da qual define que é obrigatória a quantificação da demanda de água destinada para irrigação das lavouras, nos procedimentos destinados a outorga e ao licenciamento ambiental. Entretanto, existem muitas lavouras irregulares, como também, muitas dessas estão presentes em áreas de preservação ambiental.

Um dos maiores problemas quanto a rizicultura é a retirada de água dos mananciais e banhados para irrigação das lavouras, pois ocorre em época de estiagem (entre dezembro, janeiro e fevereiro), ampliando e agravando os conflitos de uso. Portanto, isso prejudica o sistema natural na hidrodinâmica do banhado e na vazão do rio,

por exemplo, em conjunto com comportamento e desenvolvimento da biodiversidade desses ecossistemas.

A retirada da água do banhado para a cultura do arroz irrigado em consórcio com a pecuária de corte, leva à quase ou total extinção do ecossistema que dele dependia, através da alteração do comportamento da fauna e da flora local e extra local, além do regime dos rios (Daronch *et al.*, 2006).

Para Burger (2000), os impactos provocados pelo cultivo do arroz irrigado sobre banhados e outros sistemas de áreas úmidas são muitos: redução de ecossistemas naturais (drenagem do solo e retirada da vegetação, principalmente por queimadas); compactação, redução de porosidade e salinização do solo; variação do nível do lençol freático; eutrofização; erosão e/ou assoreamento de recursos hídricos; riscos de contaminação por derrame de combustível e outros produtos; contaminação por agrotóxicos (no ambiente e nos seres humanos); riscos decorrentes da monocultura; escassez da oferta de água; contaminação ambiental (localizada e em grandes áreas); dispêndio excessivo de energia; dispêndio excessivo de água; redução do potencial de uso agrícola da área; redução do potencial de outros usos da área.

3.6. Enxurradas e Inundações

Segundo o Centro Universitário de Pesquisas e Estudos sobre Desastres da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - CEPED/RS-UFRGS (2016), as enxurradas são desencadeadas por chuvas intensas e concentradas, e consistem na elevação súbita dos rios acompanhadas de um escoamento de alta velocidade e energia. Já as inundações, consistem no aumento lento e previsível dos níveis de água em cursos e corpos hídricos, gerando um transbordamento que se mantém em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam gradualmente. Deve-se compreender que a inundação é ocasionada, geralmente, por chuvas prolongadas em áreas de planície CEPED/RS-UFRGS (2016).

Ainda sobre o conceito de inundação, conforme Kobyama *et al.* (2006), inundação é o aumento do nível dos rios além da sua vazão normal, ocorrendo o transbordamento de suas águas sobre as áreas próximas a ele (planícies de inundação). Além disso, segundo Viana *et al.* (2010), com a presença de precipitação abundante por um período de tempo, o solo dessas áreas passa a ter sua capacidade de infiltrar reduzida ou, mesmo, suplantada, grande parte do volume escoam para o sistema de drenagem, que vê sua capacidade natural de escoamento saturada. O excesso de volume não-drenado

ocupa a planície de inundação, que é inundada de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios.

3.7. Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental

O sensoriamento remoto se estruturou como uma importante ferramenta para observação e análise dos recursos naturais de nosso planeta, inclusive suas mudanças ao longo do tempo. Existem diversos tipos de sensores para diferentes objetivos de observação da superfície terrestre e em diferentes escalas, como é o caso do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), do satélite TERRA que detecta queimadas e o sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT-5, que detecta imagens orbitais para estudos de análise ambiental, principalmente (USGS, 2015).

Percebe-se que neste período de 1960 aos dias atuais há uma crescente preocupação com o meio ambiente e sua relação com as atividades humanas: crescimento das cidades e a conseqüente poluição; a expansão de fronteira agrícola, da qual suprime a vegetação existente no local; o desmatamento de grandes florestas; entre outros diversos conflitos socioambientais.

Estes fatos exprimem uma necessidade do uso de técnicas e metodologias para o monitoramento de diversos locais em degradação ambiental, por exemplo. Conseqüentemente, o sensoriamento remoto se torna uma ferramenta de estudos e controle de diferentes aspectos do meio ambiente. Um exemplo disso é o Projeto RADAM Brasil, criado em 1971, do qual foi um projeto oriundo do RADAM-Amazônia, do qual utilizou radar para um mapeamento integrado dos recursos naturais do Brasil (OLIVEIRA e ESCOBAR, 2007).

Segundo Novo (2010), a radiação eletromagnética (REM) é o meio pelo qual a informação é transferida do objeto ao sensor. A REM pode ser definida como uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria.

Os diferentes alvos na superfície terrestre possuem valores de radiância distintos, dos quais esta medida é realizada por determinado sensor, onde o mesmo calcula a densidade de fluxo de energia que deixa um elemento de área da superfície do terreno, e que se propaga em uma direção definida por um cone elementar de um ângulo sólido contendo aquela direção. Portanto, para compreender como são as respostas dos objetos de acordo com o espectro eletromagnético, deve-se entender o conceito de reflectância. Segundo Meneses e Almeida (2012):

É a razão entre a quantidade de energia radiante que deixa uma unidade de área no terreno (Radiância) pela quantidade de energia incidente naquela área (Irradiância), medida no mesmo instante de tempo. Como irradiância e radiância são densidades de fluxo, o valor dessa razão torna-se adimensional, sendo, portanto, expresso em porcentagem. Qualquer alvo no terreno poderá refletir uma porcentagem $> 0\%$ e $< 100\%$ da radiação nele incidente.

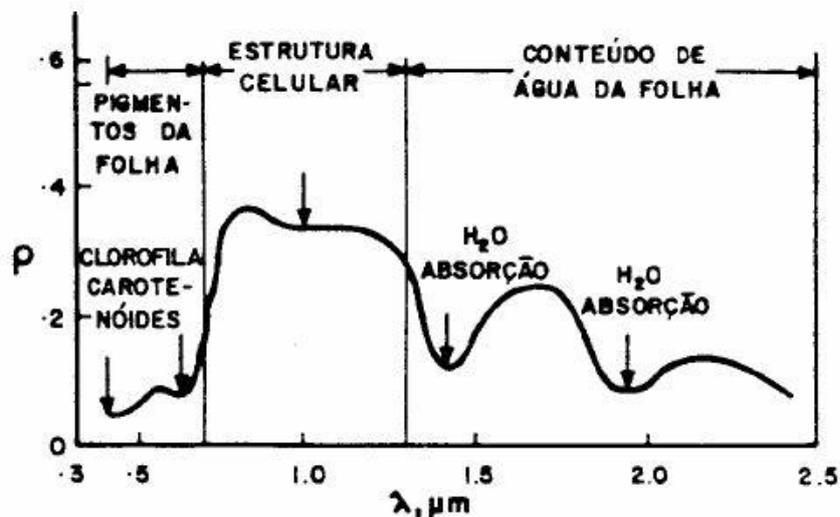
Tratando-se de áreas úmidas, deve-se compreender que há a interação de diferentes alvos que correspondem a reflectâncias distintas, como a água, o solo, os pigmentos fotossintetizantes, a matéria orgânica dissolvida, as plantas adaptadas a umidade e as macrófitas (plantas adaptadas ao meio aquático). No caso da água na natureza, esta nunca será pura, haverá sempre alguma interação com outro alvo para influenciar nos dados de reflectância (Adam *et al.*, 2009).

A interação de alvos, como plantas adaptadas a umidade e macrófitas, com influência no alvo “água”, em imagens orbitais, é bastante complexa. Segundo Adam *et al.* (2009), este tipo de vegetação possui alta variabilidade espectral e espacial, devido ao gradiente de diversas espécies vegetais com relação ao nível de água e solo, ocorrendo respostas diferentes de reflectância, sendo assim, é difícil identificar os limites entre os níveis do gradiente.

Com relação à interação da água, a curva espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, de acordo com o comprimento de onda, pode ser dividida em três partes (Figura 6): em $0,56 \mu\text{m}$ possui uma reflectância responsável pela percepção dos pigmentos da folha de determinada vegetação específica; de $0,7 \mu\text{m}$ a $1,3 \mu\text{m}$, tem-se a região dominada pela alta reflectância da vegetação, devido à interferência da estrutura celular; e de $1,3 \mu\text{m}$ a $2,5 \mu\text{m}$, a reflectância da vegetação é dominada pelo conteúdo de água das folhas. Nesta região, encontram-se dois máximos de absorção pela água, um em $1,4 \mu\text{m}$ e outro em $1,95 \mu\text{m}$ (NOVO, 2010). Além disso, segundo Adam *et al.* (2009), outro fator que afeta a reflectância é a bioquímica e biofísica das plantas (clorofila a e b).

Segundo Adam *et al.* (2009), a reflectância da vegetação de áreas úmidas pode ser subdividida em dois principais domínios: alta reflectância e transmitância na região do infravermelho próximo e absorção de água na região do infravermelho médio.

Figura 6 – Regiões espectrais da vegetação (reflectância pelo comprimento de onda).



Fonte: INPE (2008).

Classificação de Uso e Cobertura do Solo

Um dos processamentos de imagens mais utilizados para estudos ambientais, que constitui uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, é o de Classificação, que segundo Novo (2010), é um processo onde se atribui significado a um pixel em função de suas propriedades numéricas, ou seja, cada pixel obterá um rótulo (classe) em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais.

Tratando-se da classificação digital de imagens, segundo Crosta (1992), a maioria das técnicas disponíveis se baseia apenas no agrupamento de valores de intensidade espectral, representados pelos níveis numéricos (DNs) presentes na imagem. Sabe-se que o conteúdo de informação de uma imagem de sensoriamento remoto se baseia tanto na intensidade (nível de cinza ou cor) de cada pixel individual, como no arranjo espacial dos pixels (textura e forma). Ocorre que as técnicas-padrão de classificação só dão conta das características espectrais, deixando de lado as texturais. Nesse sentido, a classificação apresenta resultados satisfatórios na indicação de tipos de cobertura, caracterizadas apenas por variações de intensidade. Exemplo de aplicações típicas de classificação em sensoriamento remoto é o reconhecimento de tipos de cobertura vegetal e uso de solo.

Segundo o INPE (2008), o classificador por máxima verossimilhança (MaxVer) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes,

utilizando parâmetros estatísticos. Assume que todas as bandas possuem distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica. Além disso, as classes de treinamento são utilizadas para estimar a forma da distribuição dos pixels contidos em cada classe no espaço de n bandas, como também a localização do centro de cada classe.

Para que a MaxVer seja precisa é necessário um número razoavelmente elevado de pixels para cada conjunto de treinamento (amostras). Este número permite uma base segura para tratamento estatístico. Portanto, na classificação de máxima verossimilhança cada pixel é destinado à classe que tem a mais alta probabilidade.

Índices de Vegetação

De acordo com Feitosa *et al.* (2006), a utilização de índices de vegetação (IVs), que são operações aritméticas de bandas, gerados de dados de sensoriamento remoto, constitui uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas. Os modelos de IVs foram desenvolvidos com o objetivo de estudar quantitativamente e qualitativamente o estado de vigor da vegetação através de canais espectrais apropriados à observação da vegetação à superfície.

No caso das áreas úmidas, os índices derivados de diferentes bandas espectrais por operações aritméticas, nem sempre detectam de maneira clara o alvo desejado, pois estes ambientes possuem uma grande dinâmica em sua biodiversidade e possuem grande heterogeneidade. Portanto, para cada área úmida é necessário conhecer a sua dinâmica de inundação com relação à vegetação e ao solo, sendo possível uma análise da resposta da influência da água, gerada por diferentes índices, nos diferentes alvos de interesse.

No caso de Áreas Úmidas (AU) é necessário conhecer a sua dinâmica de inundação com relação à vegetação e ao solo, sendo possível uma análise da resposta da influência da água, gerada por diferentes índices, nesses alvos de interesse, como o NDWI (*Normalized Difference Water Index*), o MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) e o NDPI (*Normalized Difference Pond Index*).

O NDWI tem sido mais utilizado em áreas úmidas como planícies inundáveis, (BRUBACHER e GUASSELLI, 2013; BORGES *et al.*, 2015; BRENNER, 2016); o MNDWI para identificação de corpos de água e áreas úmidas (WANG *et al.*, 2013; SAAVEDRA *et al.*, 2015); e o NDPI para delinear limites e classificar áreas úmidas definindo seus principais compartimentos (JI *et al.*, 2009; RAY *et al.*, 2012;

MOZUMDER *et al.*, 2014; KUMAR, 2015).

3.8. Processo Analítico Hierárquico (AHP)

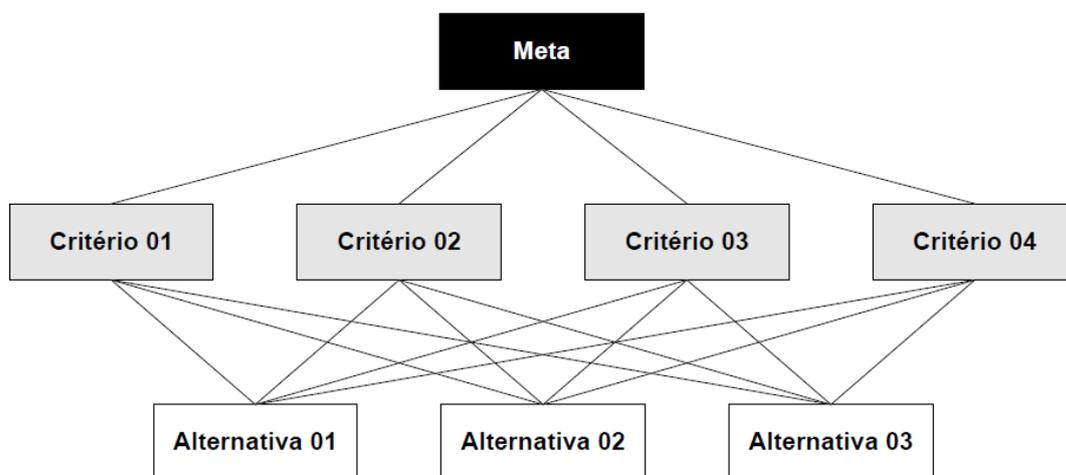
O método do Processo Analítico Hierárquico foi desenvolvido em 1971, e encontra-se mais detalhado em Saaty (1990). A aplicação deste método matemático serve para a tomada de decisão em diversos cenários complexos, em que pessoas trabalham em conjunto para tomar decisões e onde percepções humanas, julgamentos e consequências possuem repercussão de longo prazo (VARGAS, 2010).

O AHP é uma técnica de tomada de decisão com múltiplos critérios, em que um problema complexo possui uma hierarquia de solução a partir das variáveis utilizadas nessa solução (ALPHONCE, 1997). Portanto, pode ser utilizada para vários tipos de problemáticas como, por exemplo, priorizar projetos numa gestão de portfólios (VARGAS, 2010); identificar áreas favoráveis ao agroecossistema (BARROS *et al.*, 2007); determinar graus de fragilidade ambiental para mapeamento (GONÇALVES *et al.*, 2016).

Segundo Barros *et al.* (2007), o AHP tem sido aplicado em trabalhos relacionados à agricultura e gestão de recursos naturais. Na agricultura, destacam-se estudos para determinar as áreas aptas a cultivos, melhores métodos de irrigação e áreas favoráveis à conservação. Além disso, o AHP também tem sido utilizado para mapeamentos de risco à inundação, como é o caso da proposta utilizada por Rezende *et al.* (2017), da qual propõe o método para avaliação de risco à inundação em uma área urbana.

No método AHP, segundo Ribeiro Júnior e Vieira (2013), existem cinco passos: (1) criar uma estrutura hierárquica levando em conta o problema (meta), os critérios que devem ser considerados e as variáveis envolvidas (Figura 7); (2) realizar as comparações binárias entre as variáveis; (3) (4) definir as prioridades globais entre as variáveis e comparação binária entre os critérios; (5) avaliar as prioridades por meio da determinação das coerências tanto em relação as variáveis quanto aos critérios adotados.

Figura 7 – Esquema representativo do método AHP.



Fonte: VARGAS (2010).

Segundo Vargas (2010), o AHP transforma as comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados. O peso de cada um dos fatores permite a avaliação de cada um dos elementos dentro da hierarquia definida. Essa capacidade de conversão de dados empíricos em modelos matemáticos é o principal diferencial do AHP com relação a outras técnicas comparativas.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nos procedimentos metodológicos são apresentados os materiais e metodologias utilizadas para a elaboração dos resultados presentes nessa dissertação.

4.1. Materiais

Os materiais utilizados representam o levantamento de dados para a posterior execução da metodologia, obtendo-se dados pluviométricos, fluviométricos, reconhecimento de campo e dados cartográficos.

Dados Pluviométricos

Para análise dos dados pluviométricos foram utilizados quatro levantamentos na área de estudos e mais dois em área de influências das inundações da bacia do rio Uruguai:

(1) com base em Cassol *et al.* (2008), contém dados de precipitação de São Borja de 1956 a 2003, obtidos da estação agrometeorológica da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), no Centro de Pesquisa de Cereais em São Borja, localizada em coordenada 28° 24' 16.135" Sul e 55° 34' 23.614" oeste;

(2) do produto 3B43 V6, satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), precipitação mensal de 2000 a 2013, obtido do INPE "Visualização de Séries Temporais MODIS para análise de mudanças de uso e cobertura da Terra" na América do Sul, disponíveis nas séries temporais EVI2-MODIS (INPE, 2013). Portanto, para relacionar com os dados da Estação Meteorológica do INMET, os dados pluviométricos do produto 3B43 V6 foram coletados na mesma coordenada da estação do INMET, em São Borja;

(3) da Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática de São Borja, localizada em coordenada 28° 39' 0.331" Sul e 56° 0' 58.648" Oeste, a partir de 2007. Serviu como base para os dois primeiros levantamentos;

(4) da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí, da Agência Nacional de Águas (ANA), na sub-região hidrográfica dos rios Içamaquã e Butuí, coordenadas 28° 59' 22.913" Sul e 55° 40' 27.149" Oeste, de 1984 a 2016;

(5) da Estação Pluviométrica de Palmitos, da Agência Nacional de Águas (ANA), a nordeste da sub-região hidrográfica dos rios Içamaquã e Butuí, no trecho do alto Uruguai em Santa Catarina, coordenadas 27° 3' 52.279" e 53° 9' 24.113" Oeste, de 1989,

1990 e 2005;

(6) da Estação Pluviométrica de Porto Lucena, da Agência Nacional de Águas (ANA), ao norte da sub-região hidrográfica dos rios Icamaguã e Butuí, coordenadas 27° 51' 14.544" Sul e 55° 1' 26.947" Oeste, de 1987 e 1990.

Dados Fluviométricos

Os dados de cota média do rio foram obtidos através da Estação Fluviométrica do Passo São Borja, pertencente à ANA, localizada no rio Uruguai, coordenadas 28° 37' 28.304" Sul e 56° 2' 13.387" Oeste, do período de 1987 a 2005. A Figura 8 mostra a localização das estações utilizadas.

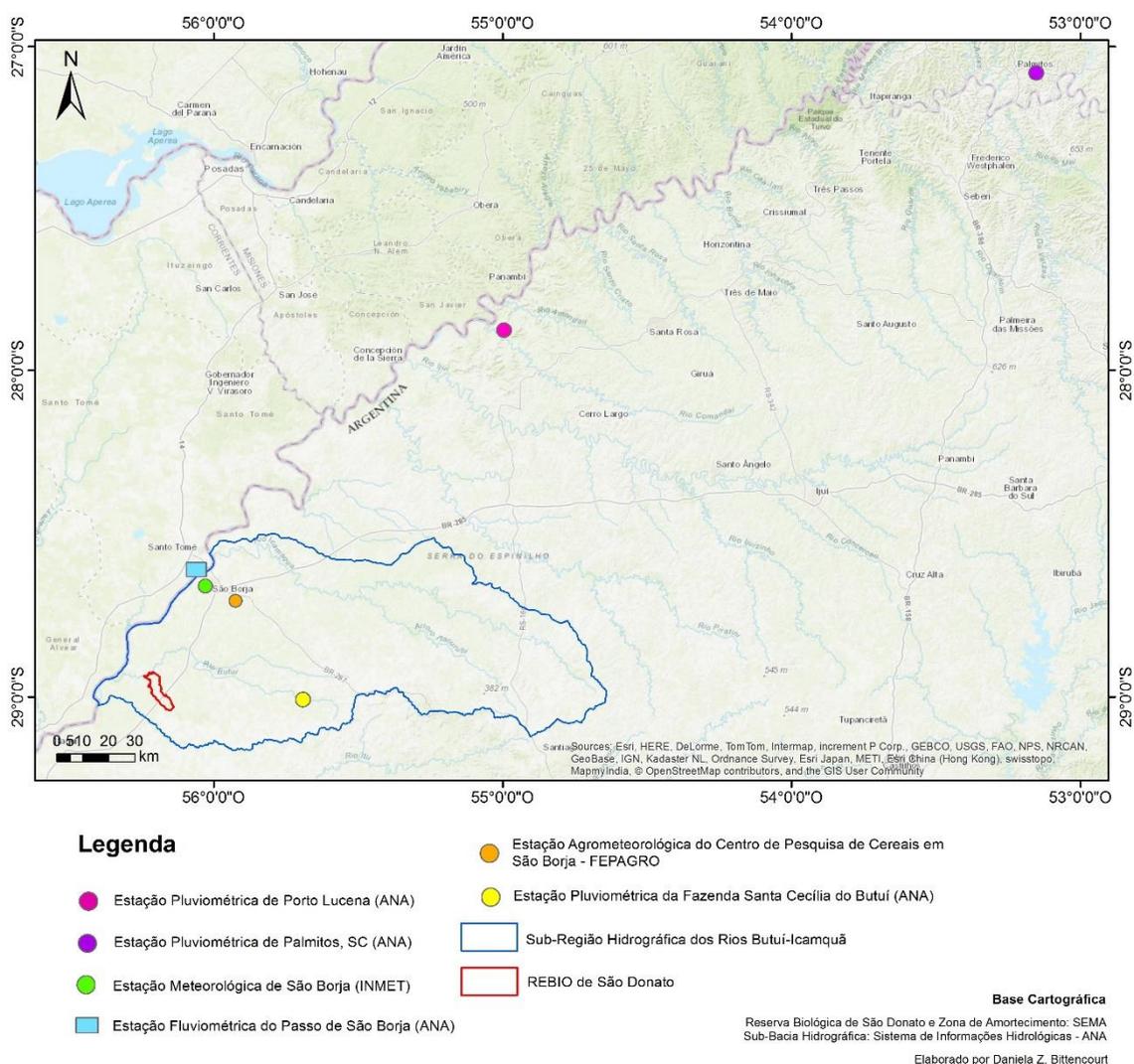


Figura 8 – Localização das estações meteorológicas, pluviométricas e fluviométricas na sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaguã e em seu entorno.

Reconhecimento de Campo

A pesquisa em campo auxilia a análise da REBIO de São Donato, identificando os impactos ambientais que influenciam diretamente no banhado e em sua dinâmica.

Salienta-se que os locais para a realização da pesquisa são trechos de banhados remanescentes com e sem interferência de uso do solo no interior dos limites da REBIO, como também, em seu entorno. Esse reconhecimento visou identificar, através da visita em campo orientada pelo gestor da UC, as diferentes áreas que compõe a Unidade de Conservação e seu entorno. Para esta etapa utiliza-se câmera fotográfica para registro da cobertura e uso do solo. Além disso, coletar na visita de campo, pontos de coordenadas, através de GPS, relativas às coberturas e usos do solo identificados, para auxiliar no procedimento de classificação de uso e cobertura do solo.

O reconhecimento de campo da REBIO de São Donato e de seu raio de amortecimento ocorreu no dia 13/04/2016 e visou auxiliar na identificação das classes utilizadas para a classificação de uso e cobertura do solo nas Figuras 19(a), (b) e (c). Seis pontos foram planejados para observação, Figura 9, entretanto, o último ponto não pôde ser visitado, devido ao acesso negado à propriedade.

A visita de campo orientada seguiu um padrão linear através da BR 472, vindo em direção sul-nordeste, do município de Itaqui. Os pontos 1 ao 4 e ponto 6 já tinham sido previamente planejados com o auxílio do *Google Earth*. Entretanto, o ponto 5 foi demarcado em visita de campo.

O ponto 1 representa a transição entre o campo e o campo úmido, como também, marca o limite da REBIO. Já o ponto 2 demarca área do banhado sem interferência ou alteração humana.

O ponto 3 demarca o cruzamento da BR 472 com o canal principal de irrigação. Sendo assim, o ponto 4 demarca área com lavoura de arroz no interior da REBIO.

O ponto 5 representa área ainda preservada do banhado fora dos limites da REBIO. Entretanto, não houve oportunidade de acesso.

O ponto 6 foi demarcado durante a visita de campo, representando área de campo.

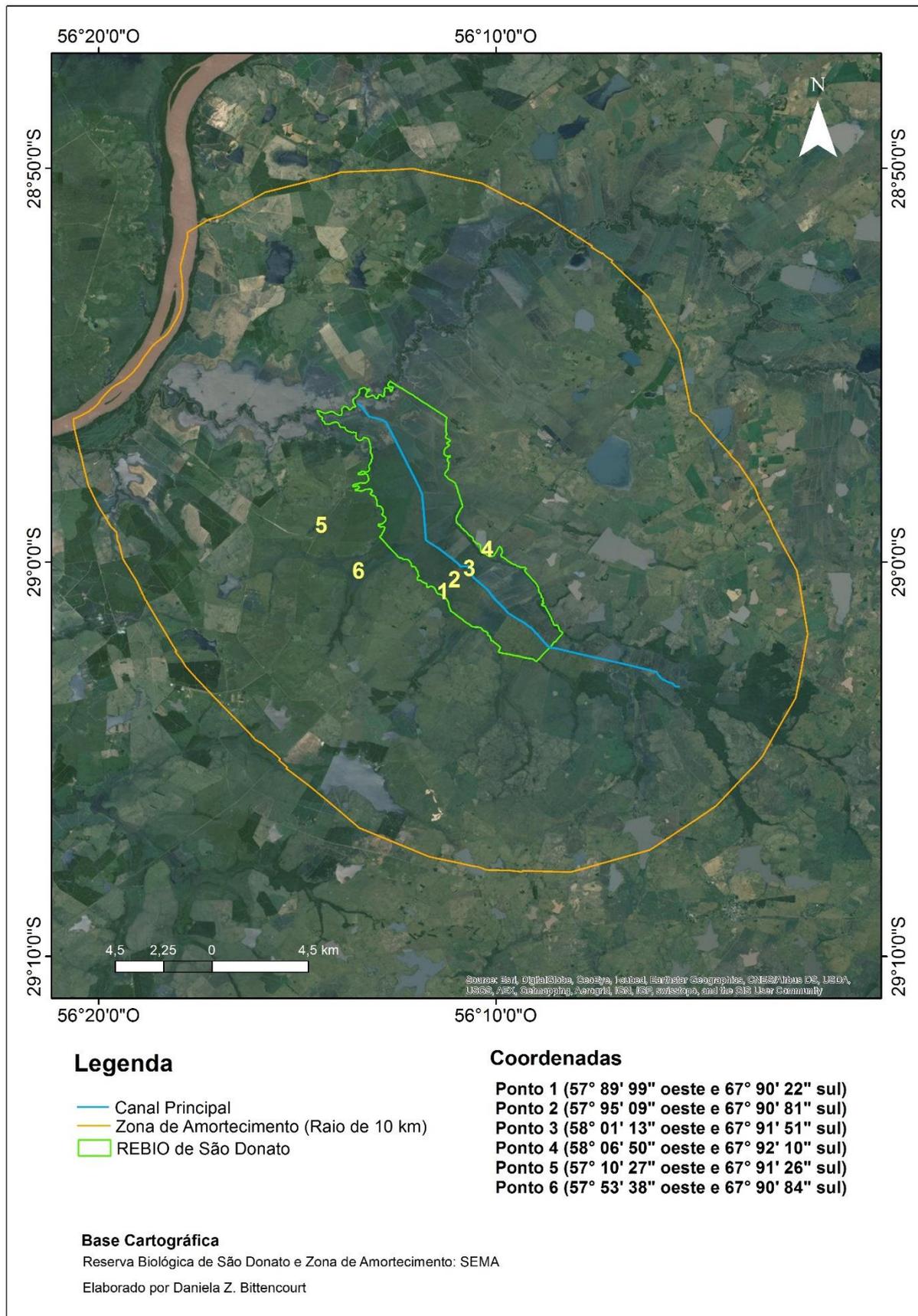


Figura 9 - Coordenadas relativas às coberturas e usos do solo, REBIO de São Donato e de seu entorno.

Dados Cartográficos

Os dados cartográficos compuseram a base cartográfica do mapeamento de uso e cobertura do solo e da análise da dinâmica de inundação do banhado da Reserva Biológica de São Donato. Estes dados correspondem ao levantamento de imagens de satélite, dados topográficos e limites de áreas importantes para o projeto.

Os dados de limite, em formato *shapefile*, da REBIO de São Donato têm como base o seu próprio limite, disponibilizado desde seu Decreto de criação, e seu raio de amortecimento com 10 km (SEMA, 2010). Para fins de análise de correlação de dados foi utilizado o raio de amortecimento, para o uso e cobertura do solo e fragilidade. Para fins de análise da dinâmica de inundação do banhado da Reserva Biológica de São Donato, em seu contexto hidrográfico, foi utilizada a área da sub-região hidrográfica dos rios Butuí-icamaquã, que fazem parte da bacia hidrográfica do rio Uruguai.

As imagens de satélite referentes ao período de 1984 a 2016, foram selecionadas tendo como critério os períodos com valores mais altos de precipitação relativos à sub-região hidrográfica dos rios Butuí-Icamaquã, que segundo o Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai (Consórcio Oriconsul, 2008), ocorrem no outono e no inverno; e em época de colheita de arroz, segundo o Zoneamento Agroclimático do Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2007). Estas imagens, pertinentes para a análise da dinâmica de inundação e uso e cobertura do solo do banhado, foram obtidas a partir da consulta ao banco de imagens da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no site <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Estas imagens de satélite compreendem as imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT-5 e do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite LANDSAT-8.

Os dados topográficos foram adquiridos no site que abriga o projeto Topodata do INPE <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>, Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, que disponibiliza o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações, a partir de dados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM).

4.2. Metodologia

A metodologia consiste no processamento de dados que foram escolhidos. Portanto, dados de precipitação mensais e diários, dados de cota de nível, imagens para a definição de valores de NDPI, imagem de classificação de uso e cobertura do solo e de definição da variação da Fragilidade Ambiental são estruturados e correlacionados.

Os dados referentes à precipitação mensal foram organizados em uma tabela relacionada à origem dos dados de Cassol *et al.* (2008), do satélite TRMM, da Estação Meteorológica e Observação de Superfície Automática de São Borja (INMET), e da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA). Foi realizada uma média de todos os dados pluviométricos mensais dos anos coincidentes dos quatro primeiros levantamentos. A média foi utilizada para análise local, englobando a montante do rio Butuí e o raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

No *software Excel* foram gerados gráficos de precipitação média dos quatro primeiros levantamentos, de cada ano com relação a média mensal dos 12 meses relativos às datas para a análise da dinâmica do banhado da REBIO de São Donato em seu contexto hidrográfico.

Foram analisadas apenas as datas com pertinência para o estudo, e conforme a disponibilidade das imagens no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), são as datas: 31/03/1985, 24/05/1987, 09/06/1987, 18/09/1989, 30/04/1990, 17/06/1990, 20/02/1994, 25/05/2005, 24/04/2011 e 24/06/2016.

Com base no Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai (Consórcio Oriconsul, 2008), não houve uma caracterização definindo média de máximas e mínimas mensais de precipitação para ocorrência de inundação. Portanto, para definir um mínimo de precipitação para ocorrência de inundação, obteve-se mais informações em Righi e Robaina (2010). Esse trabalho analisou a ocorrência de enchentes na bacia do rio Uruguai (entre 1980 e 2005), definindo um padrão de precipitação relacionado a ocorrência de enchentes, utilizando valores diários de precipitação relativos a todas as sub-bacias, obtendo-se um padrão a partir de 50,1 mm para a ocorrência de inundações e enchentes. Entretanto, as precipitações consecutivas de 40 a 50,1 mm, também podem influenciar na ocorrência de inundações, conforme Quadro 3, das classes de intensidade de precipitação.

Quadro 3 – Classificação de intensidade das precipitações, conforme os registros diários.

Classes	Chuva (mm)	Caracterização
1	2 - 10	Menores índices de chuva, praticamente toda a água é interceptada e armazenada pela vegetação e devolvida à atmosfera por evaporação.
2	10,1 - 50	Chuvas intermediárias, sendo responsáveis pela recarga dos mananciais a partir da água de infiltração.
3	50,1 - 100	Chuvas de baixa frequência e alta intensidade, potencializa desastres naturais. Pouco contribuem para a manutenção da estabilidade hidrológica do geoecossistema, uma vez que o volume de água produzido é rapidamente perdido pelo sistema na forma de escoamento superficial e subsuperficial.
4	> 100	

Fonte: Adaptado de Righi e Robaina (2010).

Foram gerados gráficos, no software Excel, das precipitações diárias dos meses relativos às datas das imagens selecionadas dos dados da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA), para análise local e na sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã. Além de gráficos de dados de precipitação diários das Estações Pluviométricas de Palmitos e de Porto Lucena, para análise regional.

Os dados referentes à cota média de nível do rio foram organizados conforme as datas que demonstraram inundação do rio Uruguai, no *software Excel*. Para análise comparativa foi utilizada uma imagem sem ocorrência de inundação.

Imagens dos Satélites LANDSAT-5 e LANDSAT-8

A série temporal de imagens (1984 a 2016), foi definida conforme os dados de precipitação diários, em datas onde houve precipitação abundante, pouca precipitação e época de plantio e colheita de arroz (datas/períodos), conforme disponibilidade na plataforma do INPE.

Para o georreferenciamento das imagens do satélite LANDSAT-5, sensor TM, utilizou-se como referência uma imagem do LANDSAT-8, sensor OLI, já corrigida geometricamente pela USGS/NASA, de modo que as imagens sejam disponibilizadas ortorretificadas, não sendo, necessário realizar processos de georreferenciamento antes da utilização desses dados (DUARTE *et al.*, 2015).

Com base nas imagens de datas 31/03/1985 e 20/02/1994 do sensor TM (1984 a

2012) e a imagem de data 13/01/2015 do sensor OLI (2013 a 2016) foi realizada a classificação de uso e cobertura do solo, através do método de classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança (MaxVer), no *software* Idrisi Selva com o auxílio da base de pesquisa de reconhecimento de campo – coordenadas e fotos. Foram obtidas amostras, conforme conhecimento prévio do reconhecimento de campo, da REBIO de São Donato e seu entorno (raio de amortecimento de 10 km), definindo-se as classes: corpos de água, arroz em crescimento, arroz com presença de água, lavoura de arroz, solo exposto, campo úmido (considerando a presença de vegetação adaptada a umidade), campo (considerando presença de pecuária expansiva) e mata. Devido as classes “arroz com presença de água” e “campo úmido” terem uma resposta espectral muito próxima, trazendo confusão na classificação, realizou-se a vetorização da classe “arroz com presença de água”. Após, realizou-se cálculo de área para as classes em hectare.

As imagens foram recortadas a partir da máscara do limite da sub-bacia dos rios Butuí-Icamaquã. Após o recorte, as mesmas foram utilizadas para a aplicação de uma equação de bandas, o índice NDPI (*Normalised Difference Pond Index*). A Equação 1, do NDPI, pode ser observada:

$$NDPI = (\rho_{swir} - \rho_{green}) / (\rho_{swir} + \rho_{green}) \quad (1)$$

Em que: ρ_{swir} é a banda do infravermelho distante; ρ_{green} é a banda verde do visível.

Segundo Lacaux *et al.* (2007) os valores de NDPI variam de -1 a 1. Os valores próximos a 1 são relacionados com corpos de água ou solos inundados e os valores próximos a -1 representam áreas mais secas, com menos umidade presente no solo.

No *software Idrisi Selva*, os valores resultantes do NDPI, para cada imagem, foram reclassificados, de acordo com as classes definidas como Muito Seco, Seco, Úmido e Muito Úmido, obtendo respectivamente os intervalos de -1 a 0,05, 0,05 a 0,2, 0,2 a 0,5, 0,5 a 1. A definição desses intervalos foi elaborada a partir da análise das imagens com relação ao objetivo da dissertação.

Portanto, para cada data relativa ao NDPI, foi mensurada a área de cada classe NDPI. Buscou-se detalhar a classe Muito Úmido para aquelas imagens onde é notável a ocorrência de eventos de inundação no rio Uruguai: mensurando as áreas dos rios principais e suas áreas inundadas, como também o banhado inundado. Além disso, foi

utilizada uma imagem sem inundação para análise de comparação.

Após foi feita uma análise para compreender os padrões de inundação do banhado e de sua função no contexto da bacia hidrográfica. Este reconhecimento de padrões serviu como auxílio para interpretar o NDPI no raio de amortecimento da REBIO de São Donato e seu contexto de fragilidade.

Condicionante Topográfico: Altitude

As imagens geradas a partir da plataforma Topodata, do Banco de Dados Geomorfométricos do INPE, foram processadas no *software ArcGis 10.3*, e gerado um mosaico para a área do raio de amortecimento da REBIO de São Donato. Após, foi elaborado o mapa de altitude, com os intervalos de 11,19 a 72,6 m, 72,6 a 91,3 m, 91,3 a 113,56 m, 113,56 a 142,9 m e 142,9 a 238,18 m.

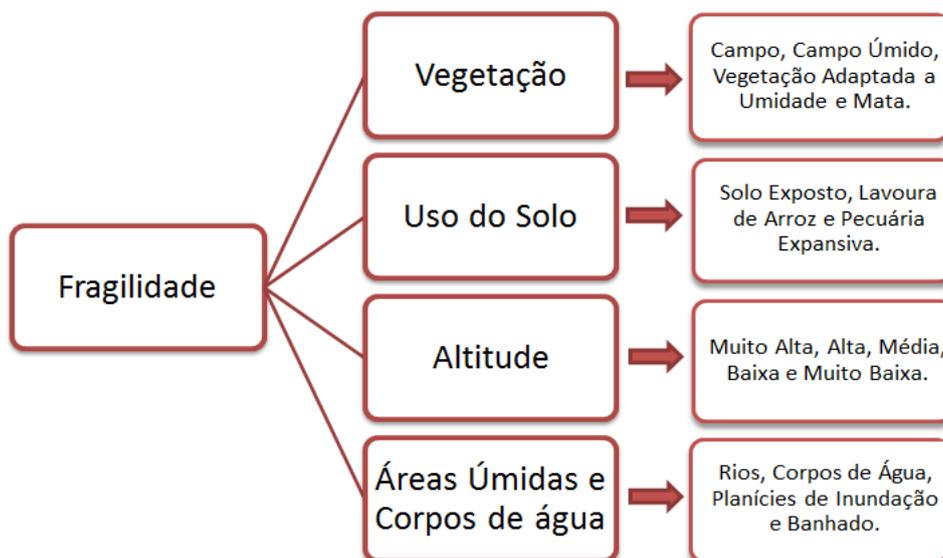
O mapa de altitude foi utilizado como base para sobreposição da classe NDPI Muito Úmido, em função da relação da altitude com os principais rios da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamauã, para considerar a análise do padrão de inundação nessa área. E como base para o Mapa de Fragilidade da Altitude.

4.2.1. Fragilidade Ambiental

Para definir as áreas de fragilidade ou não, foi utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process* ou Processo Analítico Hierárquico). Segundo Vargas (2010), para organizar uma tomada de decisão é necessário definir uma problemática (meta), e a partir dela, estabelecer uma decomposição hierárquica do problema em critérios mais facilmente analisáveis e comparáveis de modo independente.

Portanto, para estabelecer uma hierarquia a partir da problemática da fragilidade ambiental voltada para a área de estudo, foram estabelecidos critérios e subcritérios, conforme Figura 10.

Figura 10 – Organograma da problematização da fragilidade, contendo critérios e subcritérios.



Adaptado de VARGAS (2010).

A partir do estabelecimento de problema, critérios e subcritérios, a etapa seguinte foi a escolha dos pesos destes fatores, com base na Escala Saaty (Saaty, 2005), Tabela 1. Atribuem-se valores que variam entre 1 e 9, determinando a importância relativa de uma alternativa com relação a outra.

Tabela 1 – Definição dos pesos dos fatores segundo a Escala Saaty.

ESCALA	AValiaÇÃO NUMÉRICA	RECÍPROCO
Extremamente preferido	9	1/9
Muito forte a extremo	8	1/8
Muito fortemente preferido	7	1/7
Forte a muito forte	6	1/6
Fortemente preferido	5	1/5
Moderado a forte	4	1/4
Moderadamente preferido	3	1/3
Igual a moderado	2	1/2
Igualmente preferido	1	1

Fonte: SAATY (2005).

Conforme a Matriz comparativa do grupo de critérios para a Fragilidade Ambiental, Tabela 2, é estabelecida a relação entre os critérios principais (grupos), de acordo com a Escala Saaty. Tem-se um julgamento humano (reconhecimento de problemas do local) e dados concretos de referências para a determinação desses valores. Para determinar a importância de um critério, maior ou menor que outro, os critérios precisam ser avaliados dois a dois, visando determinar a importância relativa entre eles e seu peso relativo na meta global.

Tabela 2 – Matriz comparativa do grupo de critérios para a Fragilidade Ambiental.

	Altitude	Vegetação	Uso do Solo	Áreas Úmidas e Corpos de Água
Altitude	1	0,14	0,11	0,33
Vegetação	7	1	1	5
Uso do Solo	9	1	1	5
Áreas Úmidas e Corpos de Água	3	0,2	0,2	1

Fonte: Adaptado de SAATY (2005).

Para interpretar e dar os pesos relativos a cada critério é necessário normalizar a matriz comparativa anterior. A normalização é feita pela divisão entre cada valor da planilha com o total de cada coluna. Além disso, a determinação da contribuição de cada critério na meta organizacional é calculada a partir do vetor de prioridade ou vetor de Eigen¹². O vetor de Eigen apresenta os pesos relativos entre os critérios e é obtido de modo aproximado através da média aritmética dos valores de cada um dos critérios (VARGAS, 2010).

Os valores encontrados para o vetor de Eigen tem significado físico direto no AHP. Ele determina a participação, ou o peso, daquele critério no resultado total da meta. O valor total de Eigen (todos os critérios), Tabela 2, é de 4,057. O critério com o maior peso é o uso do solo com 43,8 % de prioridade com relação a outros. Além disso, através desse valor total de Eigen, foi calculada a eficiência dos valores ponderados para cada critério

¹² O cálculo exato do vetor de Eigen é determinado apenas em casos específicos. A maioria dos casos práticos utiliza essa aproximação visando simplificar o processo de cálculo, uma vez que a diferença entre o valor real e o valor aproximado é inferior a 10% (KOSTLAN, 1991).

a partir do cálculo do Índice de Consistência e da Taxa de Consistência.

Segundo Vargas (2010), o cálculo do índice de consistência é dado pela seguinte equação

$$CI = \frac{\lambda_{Max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Em que: CI é o índice de consistência; λ_{Max} é valor total do Vetor de Eigen; n é o número de critérios avaliados, sendo nesse caso, 4: altitude, vegetação, uso do solo e áreas úmidas e corpos de água.

Visando verificar se o valor encontrado do Índice de Consistência (CI) é adequado, Saaty (2005) propôs a Taxa de Consistência (CR). A taxa é determinada pela razão entre o valor do Índice de Consistência (CI) e o Índice de Consistência Aleatória (RI)¹³. A matriz será considerada consistente se a razão for menor que 10%:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1 \sim 10\% \quad (3)$$

Os processos de matriz comparativa e vetor de Eigen que foram realizados com os grupos de critérios também foram repetidos para cada conjunto de subcritérios, como exemplificado na matriz comparativa do conjunto de critérios da Vegetação, Tabela 3.

Tabela 3 – Matriz comparativa do conjunto de critérios da Vegetação.

	Campo	Campo Úmido	Mata	Vegetação Adaptada a Umidade
Campo	1	0.5	3	0,25
Campo úmido	2	1	2	1
Mata	0,33	0.5	1	0,33
Vegetação Adaptada a Umidade	4	1	3	1

¹³ O valor do RI é fixo e tem como base o número de critérios avaliados, conforme tabela de índices de consistência aleatória em Saaty (2005).

Foram definidos os valores de prioridade global para cada grupo de critérios e subcritérios. A prioridade global é determinada através da multiplicação de cada prioridade do primeiro nível (critério) por sua respectiva no segundo nível (subcritério).

A penúltima etapa do processo analítico hierárquico foi analisar os graus de fragilidade ambiental, baseados em ROSS (1994), como Muito Forte, Forte, Moderada, Fraca e Muito Fraca em cada subcritério, estabelecendo as mesmas etapas anteriores: matriz comparativa entre fragilidade ambiental e o subcritério campo úmido e o vetor de Eigen, Tabela 4.

Tabela 4 – Matriz comparativa da fragilidade do subcritério campo úmido.

	Muito Forte	Forte	Moderada	Fraca	Muito Fraca
Muito Forte	1	1	5	7	9
Forte	1	1	3	5	7
Moderada	0.2	0.33	1	3	5
Fraca	0.14	0.2	0.33	1	1
Muito Fraca	0.11	0.14	0.2	1	1

Após, foi realizado o cálculo de prioridade global para cada grau de fragilidade de acordo com cada subcritério. Por exemplo, um valor X de prioridade global para o grau Muito Forte e outro valor mais baixo, Z, para o grau Muito Fraco do subcritério campo úmido.

A última etapa do AHP foi o cálculo de prioridade final, do qual é determinado pelo somatório dos produtos entre o peso de prioridade do subcritério dentro do grupo (primeiros cálculos de prioridade) e o peso de cada grau de fragilidade do mesmo subcritério.

Os cálculos de matriz comparativa e vetor de Eigen foram realizados na AHP *Online Calculator*, disponível em: http://bpmsg.com/academic/ahp_calc.php. O restante dos cálculos, tabelas e gráficos de prioridades foram realizados no *software Excel*.

Mapa de Fragilidade Ambiental

A imagem LANDSAT-8, do sensor OLI, de data 13/01/2015 foi utilizada como base para a produção do Mapa de Fragilidade Ambiental da REBIO de São Donato e de seu entorno (raio de amortecimento).

Para o mapa de fragilidade ambiental, os fatores de ROSS (1994) e Gonçalves et al. (2016) foram adaptados: uso e cobertura do solo, altitude e análise de umidade na vegetação, através do NDPI, utilizando a imagem dos mapas de classificação de uso e cobertura do solo, de altitude e de valores de NDPI – relativos a data de 13/01/2015.

As imagens de uso e cobertura do solo e valores de NDPI foram cruzadas, através da sobreposição de valores máximos realizada através da função *Overlay* no *software Idrisi Selva*. A imagem resultante foi reclassificada com base nos valores de prioridade global para cada grau de fragilidade de acordo com cada subcritério. Onde alguns destes graus tiveram seus dados cruzados através de média e foram adaptados, Tabela 5, conforme Gonçalves et al. (2016).

A partir destes valores foi elaborado o Mapa de Fragilidade Ambiental com base no método do Processo Analítico Hierárquico. Além disso, os valores de prioridade global para cada grau de fragilidade de acordo com cada subcritério foram em cada subcritério, somados, obtendo-se os valores de prioridade global final de cada subcritério. Nota-se na Tabela 6, esse resultado final de valor de AHP em porcentagem.

A partir da Tabela 6, tendo em vista o valor de prioridade (grau AHP) de cada subcritério, a imagem de cruzamento de uso e cobertura do solo com a imagem resultante do NDPI, foi reclassificada conforme cada critério - considerando as prioridades dos subcritérios, resultando, portanto em Mapa da Fragilidade da Vegetação, Mapa da Fragilidade do Uso do Solo e Mapa da Fragilidade de Áreas Úmidas e Corpos de Água.

Ainda conforme a Tabela 6, a imagem relativa a altitude da área de estudo foi reclassificada a partir do critério altitude, e conseqüentemente seus subcritérios, resultando, portanto, no Mapa da Fragilidade da Altitude.

Tabela 5 - Graus de prioridade resultantes do cruzamento dos dados de graus AHP relativos a cobertura e uso do solo com os valores das áreas relativas a áreas úmidas e corpos de água.

Cobertura e Uso do Solo e Valores de NDPI	Fragilidade	Grau (AHP)	Adaptado de (Gonçalves et al., 2015)
Campo úmido, vegetação adaptada a umidade, banhado, planícies de inundação e solo exposto	Muito Alta	0.5	0.9
Lavoura de arroz	Alta	0.3	0.7
Campo e pecuária extensiva	Média	0.13	0.6
Mata	Baixa	0.1	0.4
Rios	Muito Baixa	0.14	0.2

Tabela 6 – Valores de AHP da prioridade global de cada conjunto de sub-critérios.

VEGETAÇÃO	AHP (%)	Grau (AHP)	USO DO SOLO	AHP (%)	Grau (AHP)
Campo	18.57	0.2	Solo Exposto	58.27	0.5
Campo úmido	34.55	0.3	Lavoura de Arroz	32.21	0.3
Mata	10.83	0.1	Pecuária Extensiva	9.84	0.09
Vegetação Adaptada a Umidade	38.36	0.4			
ÁREAS ÚMIDAS e CORPOS DE ÁGUA	AHP (%)	Grau (AHP)	ALTITUDE	AHP (%)	Grau (AHP)
Rios	14.14	0.1	Muito Alta	3.32	0.03
Planície de Inundação	27.58	0.2	Alta	6.95	0.06
Banhado	58.83	0.5	Média	13.96	0.1
			Baixa	33.63	0.3
			Muito Baixa	42.54	0.4

5. RESULTADOS

5.1. Dados Pluviométricos

A partir dos dados pluviométricos dos quatro levantamentos relativos à precipitação na área a jusante da bacia do rio Uruguai, em direção a estação meteorológica de São Borja do INMET (Figura 8) – localizadas no interior da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã – foi estabelecida a média considerando os seguintes anos: 1985, 1989, 1990, 1994, 2005, 2011 e 2016, Figura 11.

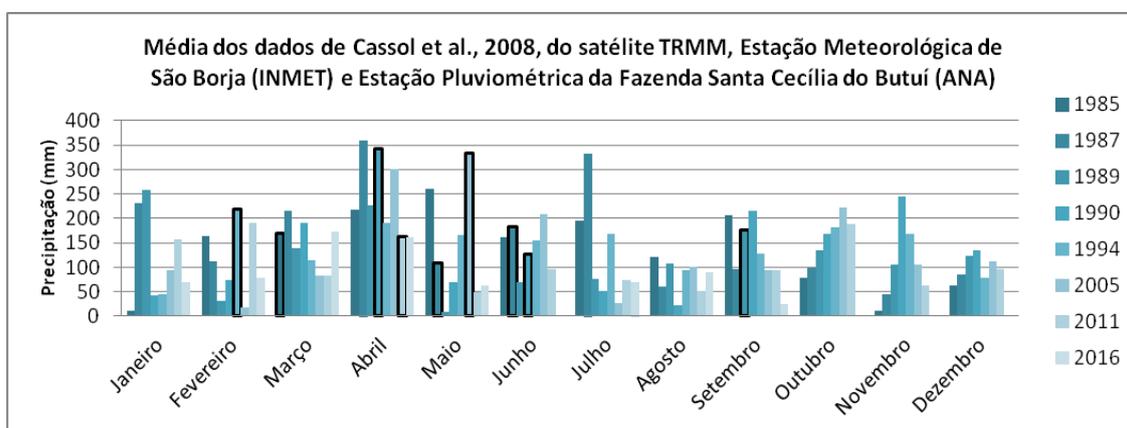


Figura 11 – Média dos dados de precipitação mensal na sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã.

Conforme a Figura 11 observa-se que os quatro picos mais altos de precipitação fazem parte do outono (abril de 1987 e 1990 e maio de 2005), com respectivamente 359,89 mm, 342,59 mm e 333,19 mm e inverno (julho de 1987), com 332,2 mm. Nos outros meses relativos às datas das imagens selecionadas, a média de precipitação ficou abaixo de 250 mm.

Como não há caracterização definindo média de máximas e mínimas mensais de precipitação para ocorrência de inundação, de acordo com o Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai, para o desenvolvimento dos resultados desta dissertação, segue nos próximos sub-itens a análise dos dados diários de precipitação relacionados com os mapas de classes de NDPI para determinar padrões de inundação do banhado São Donato e de seu contexto hidrográfico.

5.2. Padrões de Inundação no banhado da REBIO de São Donato

5.2.1. Inundação no rio Uruguai e sua influência nos rios Butuí e Içamaquã

Para mapear a influência da inundação no rio Uruguai sobre os rios Butuí e Içamaquã, foram analisadas as classes dos valores de NDPI a partir do processamento das seguintes datas de imagens: 24/05/1987, 18/09/1989, 17/06/1990, 20/02/1994 e 25/05/2005, com base nos registros de precipitação das Estações Pluviométricas de Porto Lucena e Palmitos.

Segundo Galvão (2014), maio de 1987 foi considerado um mês bastante chuvoso, com ocorrência de inundação no rio Uruguai, afetando alguns municípios da Fronteira Oeste do RS. De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica de Porto Lucena (ANA), Figura 12(a), nos dias 19 e 23, próximo a imagem de 24/05/1987, ocorreram picos altos de precipitação (classe 3), com respectivamente 61,7 mm e 46,3 mm.

Estes valores favoreceram o alto volume de água e consequente escoamento da mesma a jusante do rio Uruguai em direção a estação meteorológica de São Borja (Figura 8), influenciando no aumento do nível dos rios Içamaquã e Butuí e suas planícies de inundação, conforme mostra a Figura 13(a). Essa influência se dá pelo represamento dos rios pelo rio Uruguai.

Ainda de acordo com a Figura 13(a), pode-se observar que a mancha de classe “muito úmida” não atinge a maior parte da REBIO de São Donato, segundo a Tabela 8, a área do banhado inundado é de 66 ha. Portanto, o comportamento do banhado, nesta situação inicial de escoamento dos rios, segundo Brinson (1993), atua como tampão ecológico (diminuindo o pico da inundação, como uma esponja, fornecendo água para riachos de cabeceira e águas subterrâneas por infiltração, realizando o movimento bidirecional). Observa-se na Figura 14(a), que a altitude do banhado e da área da REBIO de São Donato está entre 11,19 m e 72,61 m.

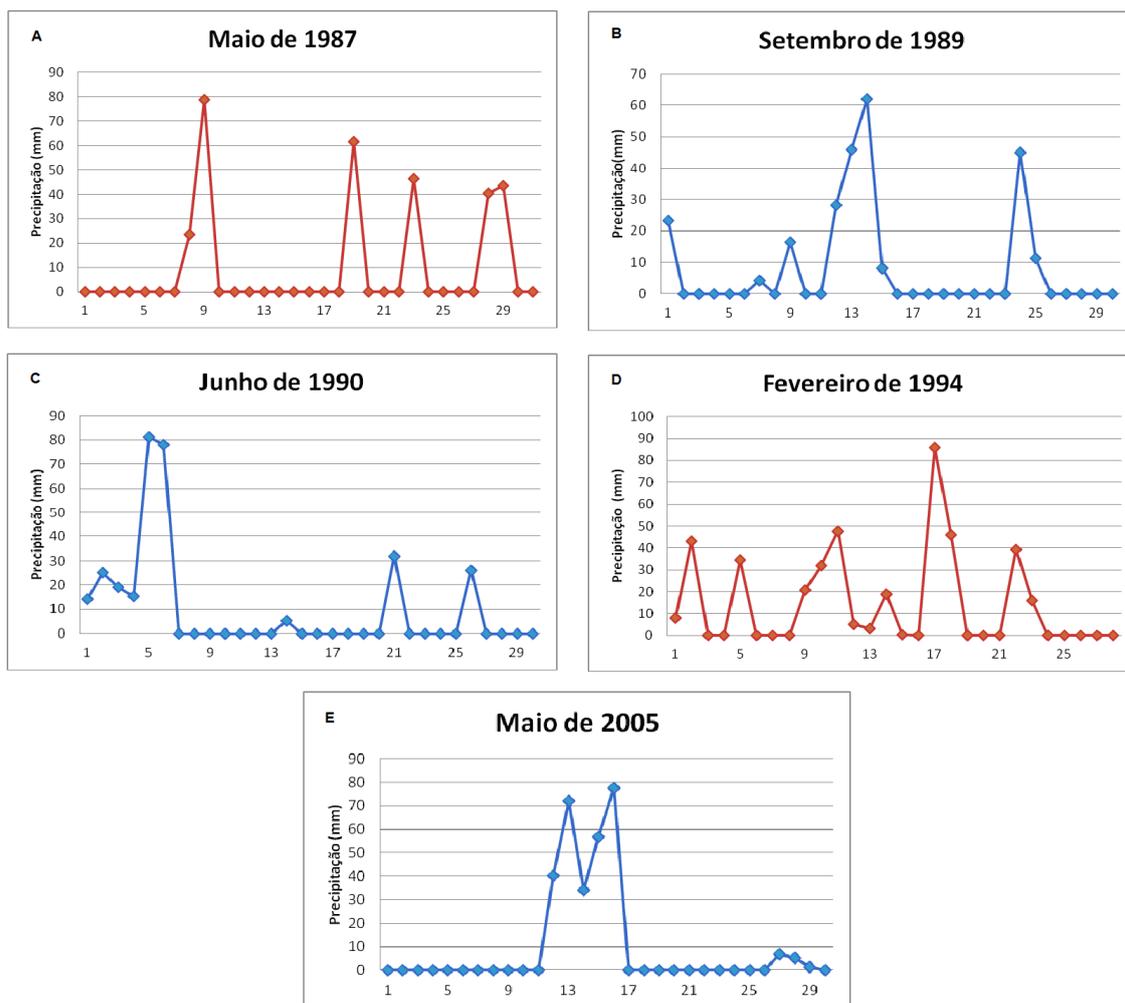


Figura 12 - Dados de precipitação diária: (a) e (d) da Estação Pluviométrica de Porto Lucena (ANA); (b), (c) e (e) da Estação Pluviométrica de Palmitos (ANA).

A Figura 13(a) representa a inundação no momento da captação da imagem pelo sensor. Segundo Huang et al. (2014), uma imagem apresenta a situação momentânea de uma data após a ocorrência de grande quantidade de precipitação no alto curso de um rio. Sabendo-se do fato, uma vez que um evento de inundação tem duração indeterminado a mancha de inundação extraída por uma única imagem raramente representa a extensão máxima da inundação.

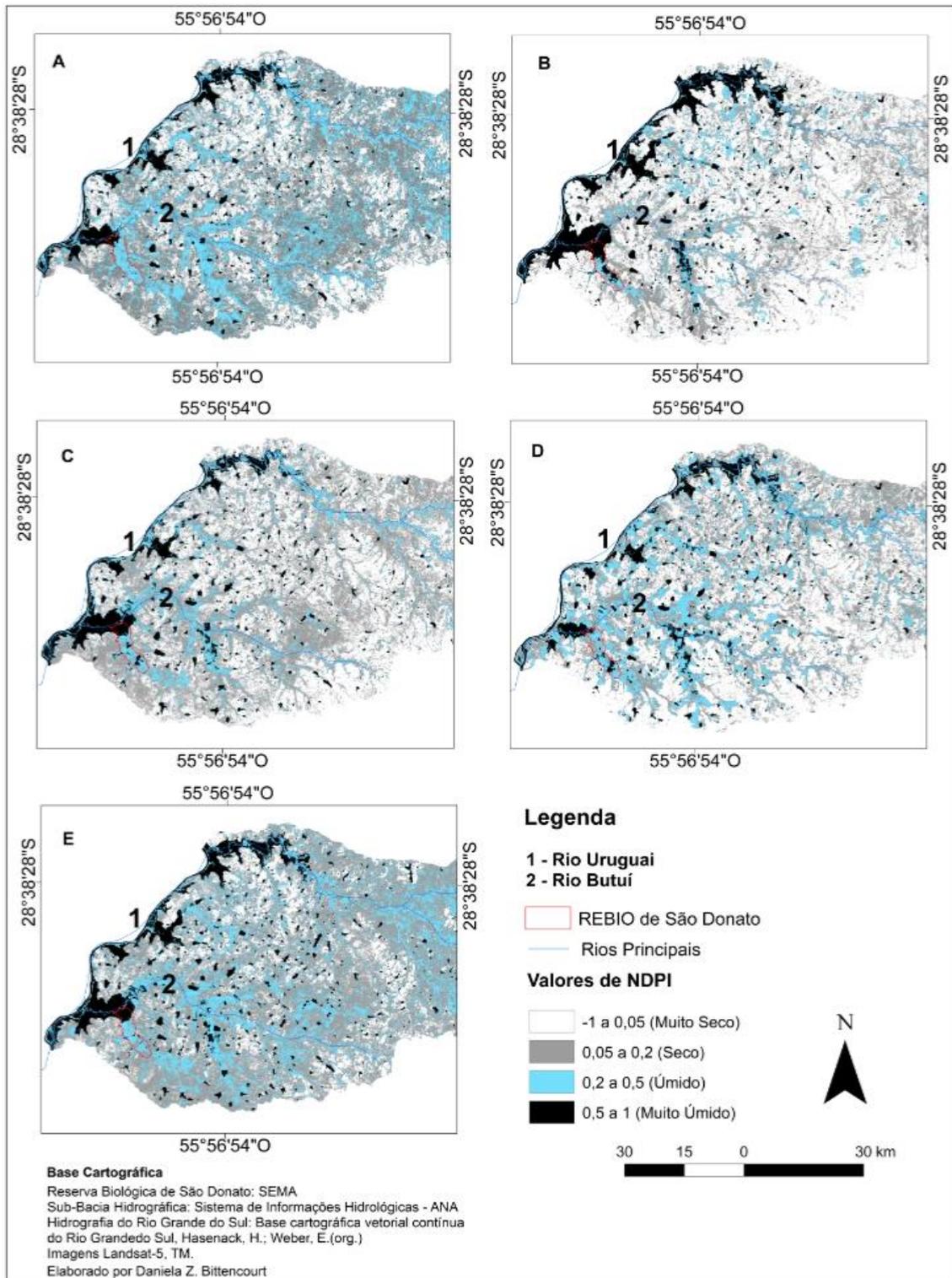


Figura 13 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Içamaquã: (a) imagem de 24/05/1987; (b) imagem de 18/09/1989; (c) imagem de 17/06/1990; (d) imagem de 20/02/1994; (e) imagem de 25/05/2005.

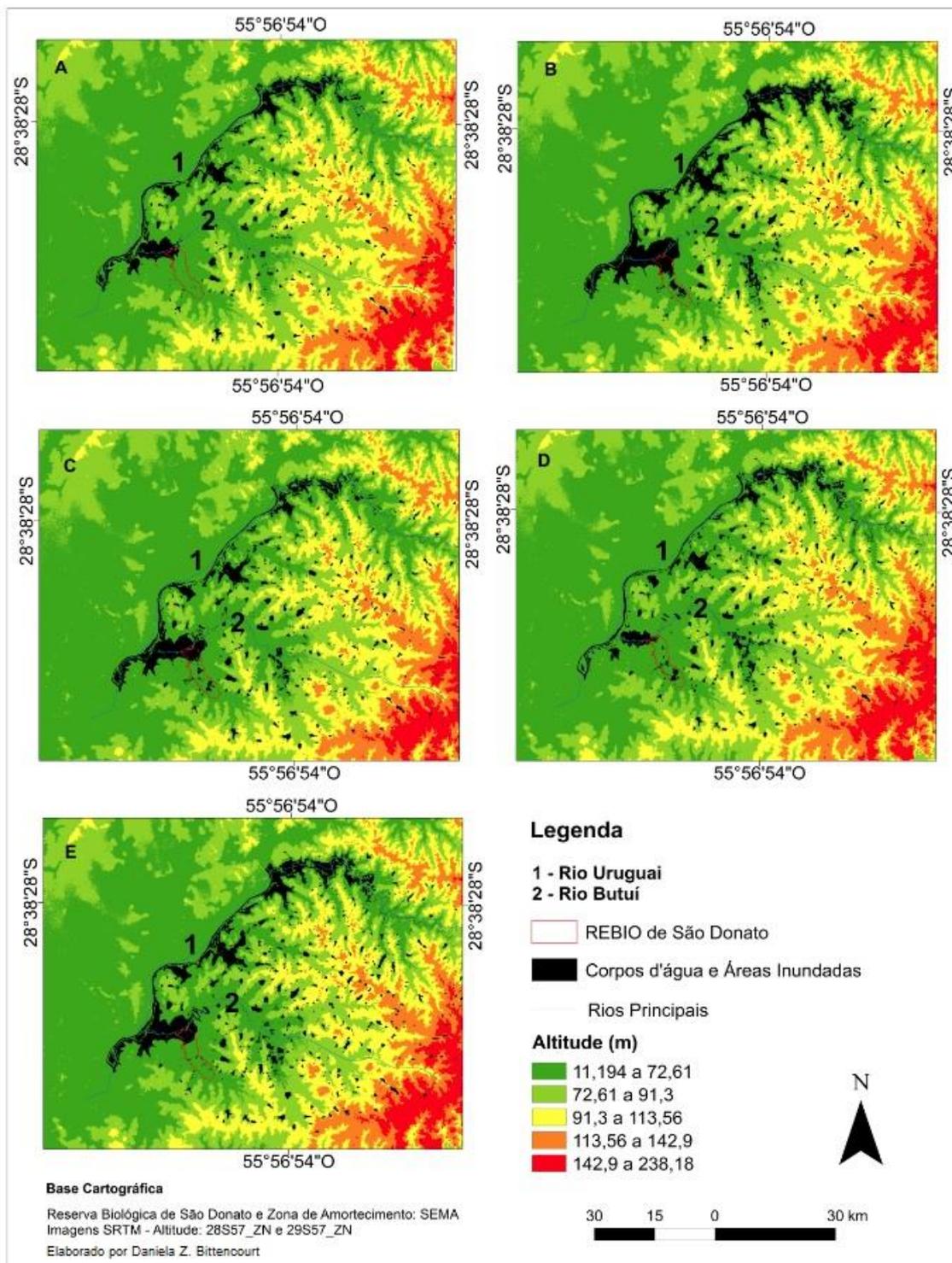


Figura 14 - Mapa de altitudes, corpos d'água e áreas inundadas, sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Içamaquã: (a) imagem de 24/05/1987; (b) imagem de 18/09/1989; (c) imagem de 17/06/1990; (d) imagem de 20/02/1994; (e) imagem de 25/05/2005.

A partir do registro de nível na Estação Fluviométrica do Passo de São Borja, foi possível verificar que a cota do rio Uruguai ao norte da REBIO de São Donato era 10,26 m (Tabela 7) e a área da classe “muito úmida” do NDPI, desconsiderando a área de barragens e açudes foi de 21290 ha, Tabela 8.

Tabela 7 – Cota de nível de água do rio Uruguai, nas datas das imagens TM do Satélite LANDSAT-5. Fonte: Estação Fluviométrica do Passo São Borja (ANA)

Data da Imagem	Cota de Nível de Água (m)
31/03/1985	3,42
24/05/1987	10,26
18/09/1989	12,9
17/06/1990	8,68
20/02/1994	9,48
25/05/2005	11,62

Tabela 8 – Áreas inundadas dos rios principais e de banhado inundado, sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã.

Data da imagem	Área do banhado inundado (ha)	Áreas inundadas dos rios principais (ha)	Total (ha)
31/03/1985	288	2511	2790
24/05/1987	66	21224	21290
18/09/1989	233	30020	30253
17/06/1990	249	21780	22029
20/02/1994	112	16274	16386
25/05/2005	61	29010	29071

Segundo Righi e Robaina (2010) o mês de setembro, representado pela imagem de data 18/09/1989, apresentou ocorrência de enchente no rio Uruguai - afetando alguns municípios da Fronteira Oeste. Várias estações meteorológicas localizadas no médio e alto curso do rio Uruguai – como a estação pluviométrica de Palmeira das Missões (totalizando 140 mm, apenas no dia 12) e a Estação Pluviométrica de Palmitos (totalizando 62 mm, no dia 14), principalmente em direção ao alto curso do rio Uruguai, possuem registros de precipitação altos durante setembro de 1989, favorecendo o escoamento a jusante no baixo curso do rio Uruguai.

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação pluviométrica de Palmitos, Figura 12(b), nos dias 13 e 14 ocorreram picos altos de precipitação (classe 3) com 46 mm e 62,1 mm; nos dias 1 e 9 precipitação intermediária com 23,3 mm e 16,4 mm (classe 2). Os registros de classe 3 proporcionaram um alto volume de água e consequente escoamento do mesmo a jusante do rio Uruguai em direção a estação meteorológica de São Borja do INMET (Figura 8), influenciando os rios Icamaquã e Butuí e o banhado da REBIO de São Donato, conforme é visto na Figura 12(b).

Nota-se na Figura 13(b), que o banhado e parte da REBIO de São Donato estão inundados, com área inundada de 233 ha, Tabela 8. Isto pode retratar uma situação em que o banhado está saturado, devido ao encharcamento do solo relacionado com sua baixa altitude, entorno de 11 m, Figura 13(b). A Figura 13(b) representando uma situação de pico de inundação em relação a sua ocorrência é compensada pela posição relativa do nível dentro da bacia, segundo Huang *et al.* (2014), onde uma zona em direção a montante teria provavelmente um atraso entre um fluxo e uma subsequente extensão de inundação, em comparação com uma área de planície em direção a jusante do rio.

Conforme Figura 14(b), a área de planície inundável do rio Uruguai e de banhado se encontram na altitude mais baixa. Além disso, o nível de água, de acordo com a Tabela 7, atingiu a cota de 12,9 m, suficiente para inundar a planície de inundação do rio Uruguai e dos rios principais.

Segundo Righi (2010) e Galvão (2014), o registro mais próximo de inundação da data de 17/06/1990 no rio Uruguai, foi no mês de maio, ocorrendo os maiores registros diários de precipitação nos dias 30 e 31, com respectivamente 120 mm (na Estação Pluviométrica de Palmitos) e 140 mm (na Estação Pluviométrica de Palmeira das Missões), caracterizando-se como enxurrada. Segundo Galvão (2014), com intensidade forte, onde houveram ocorrências de declaração de situação de emergência em alguns municípios da fronteira oeste, como é o caso de Porto Xavier. Destaca-se que a precipitação continuou em grande quantidade no início do mês de junho, conforme Figura 12(c).

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação pluviométrica de Palmitos, Figura 12(c); nos dias 5 e 6 ocorreram picos altos de precipitação, com respectivamente 81,2 mm (classe 3) e 78 mm (classe 3). Acumulando volume suficiente para escoamento superficial a jusante do rio Uruguai e ocorrência de infiltração no solo, influenciando os rios Icamaquã e Butuí e o banhado da REBIO de São Donato, conforme Figura 13(c). Além disso, pode-se observar que a mancha de classe “muito úmida” atinge

áreas ao norte e ao sul da REBIO de São Donato, percebendo-se a saturação do solo do banhado, onde possuiu uma área inundada de 249 ha (Tabela 8).

O nível de água, de acordo com a Tabela 7, alcançou 8,68 m, suficientes para inundar a planície de inundação do rio Uruguai e dos rios principais, Figura 14(c).

Não ocorreram registros de inundação em fevereiro de 1994 na área dos municípios da fronteira oeste do Rio Grande do Sul. Mas de acordo com os dados de precipitação diária da Estação pluviométrica de Porto Lucena, Figura 12(d), nos dias 2, 11, 17 e 18 ocorreram picos de precipitação altos, com respectivamente 43 mm, 47,7 mm, 86 mm e 46 mm. Favorecendo o escoamento a jusante do rio Uruguai em direção a estação meteorológica de São Borja do INMET (figura 8), influenciando no aumento do nível dos rios Icamaquã e Butuí e o banhado da REBIO de São Donato, Figura 13(d).

Na Figura 13(d) há presença da mancha da classe “muito úmida” a jusante dos rios Butuí e Icamaquã, próximo do rio Uruguai. Além disso, a parte leste do banhado da REBIO de São Donato está inundada, com área de 112 ha inundados (Tabela 8). O que pode estar relacionado com o fato de a precipitação ocorrer por um período de tempo de 8 dias e da altitude baixa onde ocorre a classe “muito úmida”, com 11,19 m, Figura 14(d). As áreas inundadas sem interferência da vegetação, detectados pelo NDPI, apresentam a refletância próxima da água pura – sem interferência de outros alvos (Gardelle *et al.*, 2010).

O nível de água, Tabela 7, alcançou 9,48 m, suficientes para inundar a planície de inundação do rio Uruguai e dos rios principais.

Segundo Benso *et al.* (2015) e Righi (2011), maio de 2005 foi considerado um mês bastante chuvoso, com ocorrência de inundação no rio Uruguai, afetando alguns municípios da Fronteira Oeste, como os municípios de Itaqui e São Borja (dado histórico, oriundo da Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul).

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica de Palmitos (ANA), Figura 12(e), nos dias 12, 13, 15 e 16 ocorreu precipitação considerada alta, com respectivamente, 40,3 mm (classe 2), 72,1 mm (classe 3), 56,7 mm (classe 3) e 77,5 mm (Classe 3). A sequência de dias de chuva favoreceu o alto volume de água influenciando os rios Icamaquã e Butuí e suas planícies de inundação, Figura 13(e).

De acordo com a Figura 13(e), as manchas de inundação da classe “muito úmida” nos rios Uruguai, Icamaquã e Butuí, coincidem com a precipitação consecutiva no mês de maio. Entretanto, o banhado não sofreu muita influência, com área inundada de 0,61 km² (Tabela 8). Nessa situação o comportamento do banhado e a baixa altitude, Figura

14(e), atuam de forma gradativa como tampão ecológico em fluxo bidirecional, com maiores taxas de infiltração no solo (Brinson, 1993; Huang *et al.*, 2014).

A cota do rio Uruguai, Tabela 7, atingiu 11,62 m, suficientes para inundar a planície de inundação do rio Uruguai e dos rios principais. Destaca-se que os valores da Tabela 7 e Tabela 8, relativos as datas de inundação do rio Uruguai, estão acima de 8 metros. A imagem da data de 31/03/1985 serve de comparativo com a situação do rio Uruguai sem ocorrência de inundação e sem situação de seca, quando a cota do nível do rio está em 3,42 m.

Considerando os resultados, para o rio Uruguai e seus afluentes (Butuí e Icamaquã) e, conseqüentemente o banhado da REBIO São Donato, a menor altitude da qual ocorreu de inundação foi de aproximadamente 8 metros. Além disso, para que ocorra a inundação, devem acontecer precipitações diárias intermediárias e altas, consecutivas a montante do rio Uruguai.

Este padrão de inundação analisado abrange não somente a sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã, como também parte do trecho médio da bacia do rio Uruguai.

5.2.2. Inundação no rio Butuí e sua Influência no Banhado da REBIO de São Donato

Para analisar a influência da inundação no rio Butuí no Banhado da REBIO de São Donato, foram analisadas as classes dos valores de NDPI a partir do processamento das seguintes datas de imagens: 09/06/1987 e 30/04/1990, com base nos registros de precipitação da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí.

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA) para o mês de junho, Figura 15(a), nos dias 4, 5 e 6 ocorreram picos altos de precipitação, com respectivamente, 30,8 mm, 42,4 mm (classe 2) e 75,1 mm (classe 3), causando a ocorrência de inundação no rio Butuí, devido aos volumes acumulados, influenciando o banhado da REBIO de São Donato, Figura 16(a).

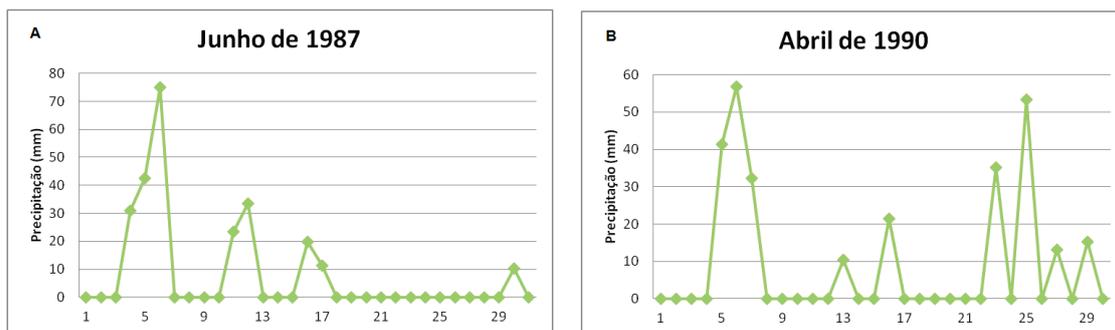


Figura 15 - Dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA).

A oeste da sub-região, os rios Butuí e Icamauã e suas planícies de inundação ocorrem manchas da classe NDPI “muito úmida” e “úmida”, Figura 16(a). As manchas da classe “muito úmida”, neste caso, mostram que ambos os rios estão inundados. Além disso, é notável que na área do banhado e da REBIO de São Donato também é possível observar a classe “muito úmida” e “úmida”, em situação de encharcamento do solo do banhado.

Deve-se considerar, segundo Kumar (2015), que 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 NDPI. O que pode dificultar a determinação das áreas totais da classe “muito úmido”.

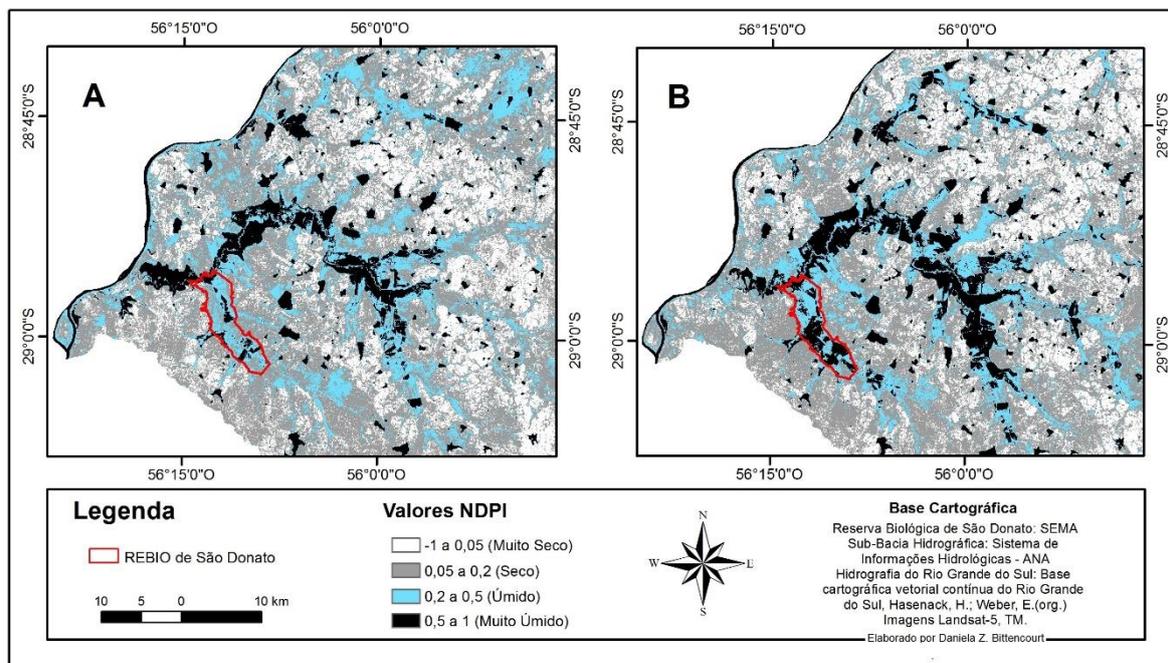


Figura 16 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamauã: (a) imagem de 09/06/1987 e (b) imagem de 30/04/1990.

As ocorrências das precipitações tiveram uma abrangência regional, no interior da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Içamaquã. Segundo Righi (2011) no mês de abril de 1990 ocorreu evento de enchente no município de São Borja, afetando diretamente o rio Butuí e o banhado da REBIO de São Donato.

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA) para o mês de abril, Figura 15(b), nos dias 5, 6, 7, 23 e 25 ocorreram os picos mais altos de precipitação, com respectivamente, 41,3 mm (classe 2), 56,8 mm (classe 3), 32,2 mm (classe 2), 35,2 mm (classe 2) e 53,4 mm (classe 3), com possibilidade de ocorrência de inundação na área do rio Butuí, influenciando diretamente o banhado da REBIO de São Donato, Figura 16(b).

A presença da mancha da classe “muito úmida” no entorno do rio Butuí e do banhado da REBIO de São Donato, Figura 16(b), relaciona-se as chuvas abundantes no mês de abril de 1990 na região de abrangência da REBIO de São Donato (São Borja, Maçambará e Itaqui). As precipitações tiveram uma influência regional, no interior da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Içamaquã, destacadas pela dinâmica de inundação, através das imagens resultantes do NDPI.

5.2.3. Inundação no Banhado da REBIO de São Donato

Para mapear as situações de inundação no Banhado da REBIO de São Donato, foram analisadas as classes dos valores de NDPI a partir do processamento das seguintes datas de imagens: 31/03/1985 e 24/04/2011.

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA) para o mês de março, Figura 17(a), os dias 23 e 25 ocorreram os picos mais alto de precipitação, 29,5 mm (classe 2) e 46 mm (classe 3).

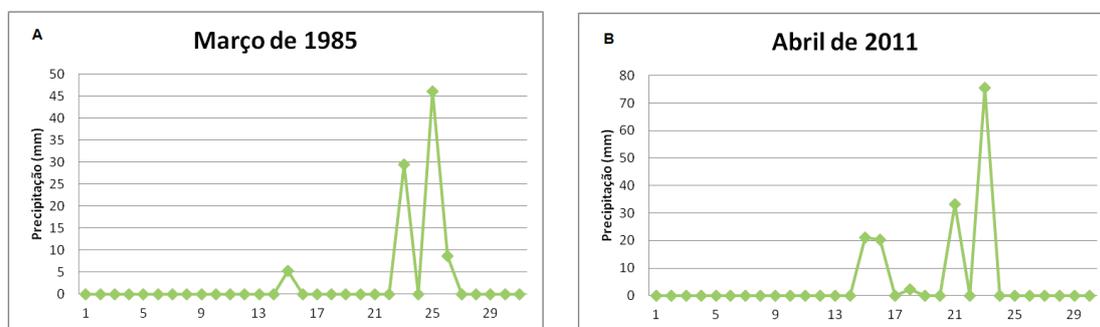


Figura 17 - Dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA).

Conforme a Figura 18(a), no entorno dos rios ocorrem áreas de classe “úmida”, com umidade abundante no solo. As áreas de classe “muito úmida” são corpos de água ou áreas inundadas. Neste caso, a oeste da REBIO de São Donato, parte do banhado está inundado. A classe “muito seco” predomina nessa situação de data 31/03/1985.

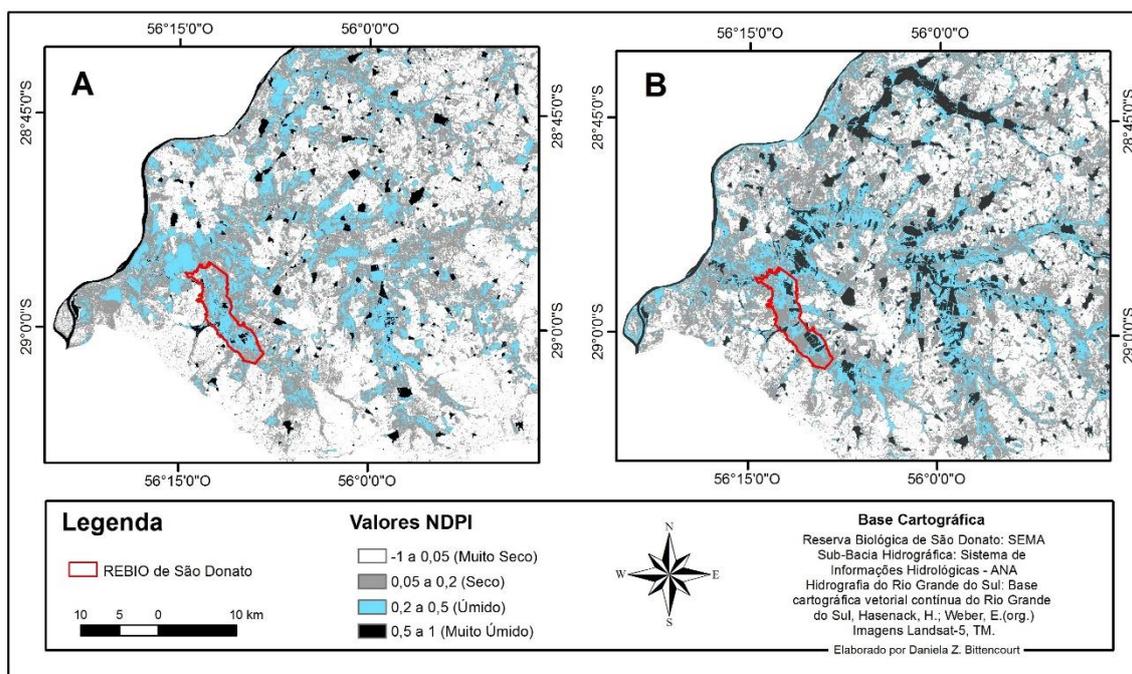


Figura 18 - Classes de NDPI da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Içamaquã: (a) imagem de 31/03/1985 e (b) imagem de 24/04/2011.

De acordo com os dados de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Fazenda Santa Cecília do Butuí (ANA) para o mês de abril, Figura 17(b), nos dias 21 e 23 ocorreram picos altos de precipitação, com respectivamente, 33,2 mm (classe 2) e 75,6 mm. Apesar de apenas dois picos de precipitação, o registro do dia 23 possibilita uma situação de encharcamento do solo da planície inundável do rio Butuí e do banhado da REBIO de São Donato da imagem do dia 24, notável pela presença de mancha da classe “muito úmida” em ambos, conforme a Figura 18(b).

Segundo Kumar (2015) e Mozumder *et al.* (2014), o NDPI é adequado para extrair as áreas de corpos de água e áreas inundadas, a partir de uma composição dos índices NDWI, MNDWI e NDVI para classificar áreas úmidas, diferenciando áreas com vegetação densa ou cobertura de macrófitas. Conforme os autores, a aplicação de um único índice não consegue identificar e classificar os diferentes compartimentos de áreas úmidas, devido as contribuições na resposta espectral do solo, vegetação e água nesse sistema.

5.3. Análise Temporal de Uso e Cobertura do Solo no Raio de Amortecimento da REBIO de São Donato

Para análise temporal de uso e cobertura do solo no raio de amortecimento da REBIO de São Donato, foram utilizadas as imagens dos dias 31/03/1985, 20/02/1994 e 13/01/2015, buscando representar o avanço das áreas de cultivo de arroz e as potenciais áreas de conflitos. O reconhecimento de campo foi utilizado para auxiliar na identificação de usos e coberturas do solo da REBIO de São Donato e seu entorno, principalmente na imagem mais recente, relativa a data de 13/01/2015.

Segundo Steinmetz e Braga (2001), a colheita de arroz depende do ciclo do cultivar que pode ser precoce, médio ou tardio e, principalmente, das condições de temperatura para a sementeira, que podem variar 20° a 35° C para a germinação, de 30° a 33° C para a floração e de 20° a 25° C para a maturação (meses com temperaturas mais quentes).

Para analisar a cobertura e uso do solo, foi essencial a escolha das imagens relativas a datas de colheitas, entre janeiro a março, segundo o Zoneamento Agroclimático do Arroz Irrigado do Rio Grande do Sul (Steinmetz *et al.*, 2007). Nesse período o arroz está no estágio reprodutivo da planta que atinge sua máxima estatura e área foliar, sendo possível ser observado com clareza nas imagens orbitais, segundo a Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado – SOSBAI (2014). Além disso, condições de luminosidade adequadas no período compreendido entre 20 dias antes a 20 dias após o florescimento aumenta a taxa fotossintética, facilitando a identificação de lavouras de arroz nas imagens orbitais (SOSBAI, 2014).

Na imagem de 31/03/1985, Figura 19(a), observa-se que as classes lavoura de arroz e arroz com presença de água são predominantes ao leste, no interior da reserva. Além disso, nas áreas de planície de inundação dos rios Uruguai e do rio Butuí há predomínio das lavouras de arroz, arroz com presença de água e solo exposto.

No raio de amortecimento da REBIO, Figura 19(a), predomina a classe campo, com 30777 ha (Tabela 9), a segunda é a classe arroz com 25610 ha (Tabela 10), e a terceira maior área é a classe campo úmido, com 7835 ha (Tabela 9).

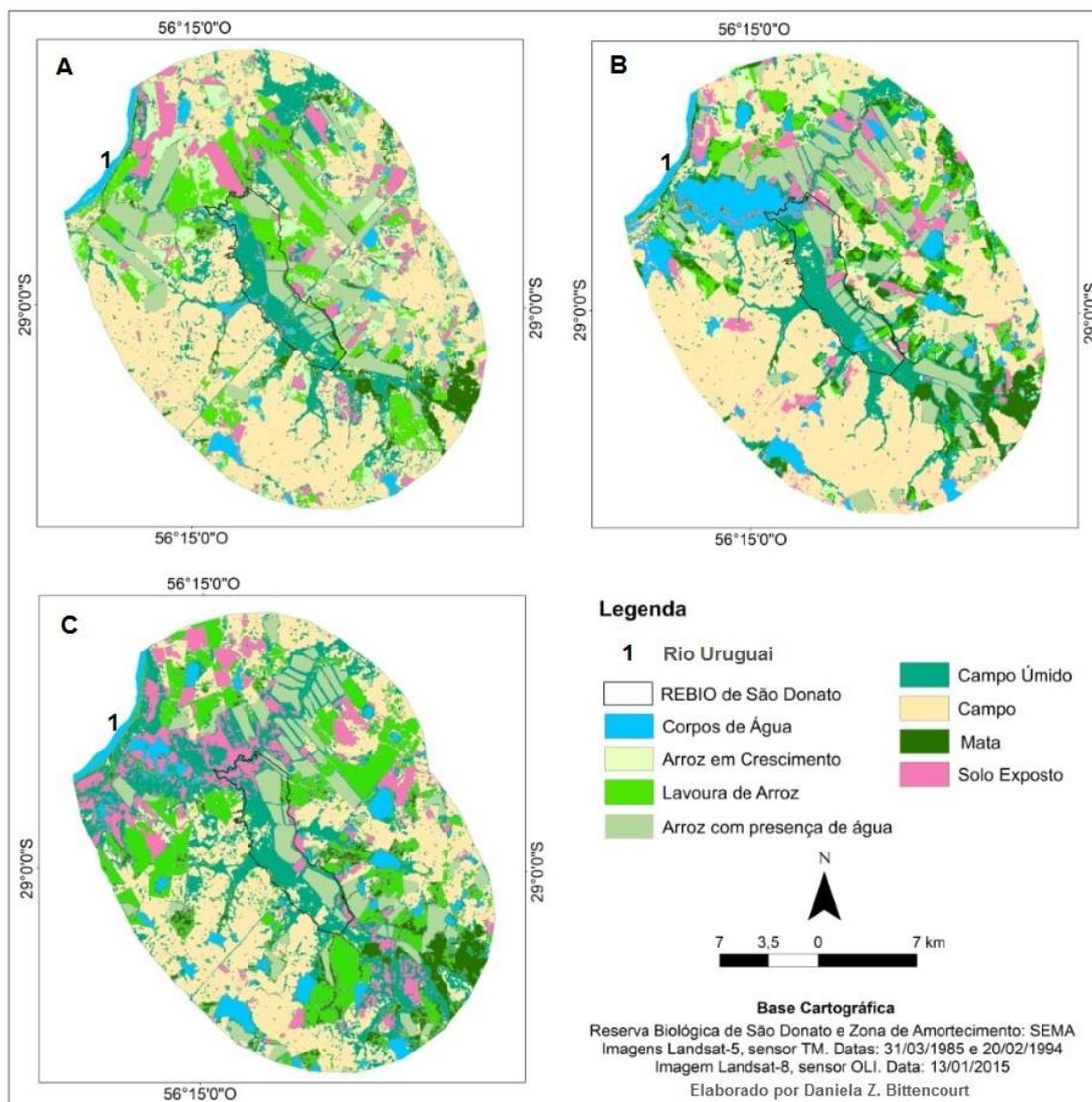


Figura 19 – Mapas da Classificação de Uso e Cobertura do Solo: (a) 31/03/1985, (b) 20/02/1994, (c) 13/01/2015, raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

Nas classes com influência da água, como é o caso da classe “arroz com presença de água”, segundo Frazier e Page (2000), há maior possibilidade de confusão na classificação utilizando o método de Máxima Verossimilhança. O conteúdo de água altera as propriedades fotossintéticas da planta, e conseqüentemente, sua reflectância, dificultando a diferenciação de alguns tipos de vegetação ou cultivos agrícolas. Para resolver a confusão na classificação dos alvos “campo úmido” e “arroz com presença de água”, foi calculada a área dos polígonos da classe da lavoura de arroz com presença de água, e subtraído do valor de campo úmido.

Tabela 9 – Classes de uso e cobertura do solo, raio de amortecimento da REBIO de São Donato, área em ha.

CLASSES	31/03/1985	20/02/1994	13/01/2015
Corpos d' Água	1935	5290	3360
Arroz em Crescimento	5718	2586	0
Arroz c/ Presença de Água	7358	6618	6900
Lavoura de Arroz	7434	4489	11577
Solo Exposto	5100	4900	7616
Campo Úmido	7835	9590	13686
Campo	30777	30390	21692
Mata	2825	5100	4120
Mata s/ Confusão	2825	2825	2825
Lavoura de Arroz s/ Confusão	7434	6764	12872

Tabela 10 – Área total de cultivo de arroz, raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

Data das imagens	Área de Arroz (ha)
31/03/1985	25610
20/02/1994	20868
13/01/2015	27380

Considerando o método de classificação utilizado, segundo Munyati (2000), pode haver confusão de pixels relativos a dois ou mais alvos que possuem valores de reflectância similar. As classes mata e lavoura de arroz tiveram confusão na classificação, Tabelas 9 e 10. Nas imagens de 20/02/1994 e 13/01/2015, Figuras 19 (b) e 19 (c), percebe-se uma mistura de classes na área de estudo.

Na imagem do dia 31/03/1985, Figura 19(a), a confusão de pixels das classes mata e lavoura de arroz é mínima, porém nas Figuras 19(b) e 19(c) há grande confusão entre essas classes. Dessa forma, o valor de área da classe “mata” da Figura 19(a) foi considerado como base para a classe “mata” referente às outras imagens, substituindo essa classe por “mata sem confusão”. Para isso, considera-se o fato da classe “mata” pouco ter modificado entre março de 1985 e janeiro de 2015.

Assim, o valor de 2825 ha – valor base para “mata sem confusão” – foi subtraído do valor de área da classe “mata”, relativo às imagens das Figuras 19(b) e 19(c). O resultado dessa subtração foi somado com a área da classe “lavoura de arroz” das imagens

das Figuras 19(b) e 19(c), definindo os valores de área da classe “lavoura de arroz sem confusão”, substituindo a classe “lavoura de arroz”.

Destaca-se com base na Figura 19(b), que as áreas de plantio de arroz aumentaram consideravelmente de 1985 a 1994 ao leste do raio de amortecimento da REBIO de São Donato. Entretanto, não foi possível verificar se houve aumento a oeste, devido à inundação que confunde a interpretação na imagem relativa às áreas de lavoura de arroz. Como consequência na Tabela 10, a área total mensurada de plantio de arroz obteve uma queda de 4742 ha, com um total de 20868 ha.

A classe campo teve uma queda significativa, Figura 19(c), em 20/02/1994 eram 30390 ha e em 13/01/2015, 21692 ha (Tabela 9), a classe lavoura de arroz aumentou de 7434 ha em 31/03/1985 para 12872 ha, e a área total de plantio de arroz somou 27380 ha (Tabela 10).

Tendo-se como base de análise temporal os três mapas de classificação de uso e cobertura do solo, observa-se que entre 31/03/1985 e 13/01/2015, ocorreu aumento de área de plantio de arroz na REBIO de São Donato e no raio de amortecimento.

No raio de amortecimento, de 31/03/1985 a 13/01/2015, nota-se que as planícies de inundação dos rios Uruguai e Butuí são ocupadas com o plantio de arroz. Além disso, em todas as nascentes do banhado existem barragens – classificadas como corpos de água – que auxiliam no processo de irrigação das lavouras de arroz.

No interior da reserva, as lavouras de arroz ainda estão sendo cultivadas observando o Ponto 3 da Figura 9 (Figura 20). Fato que contradiz com a Lei do SNUC (2000), pois o uso em reserva biológica deveria ser exclusivo para pesquisa científica e educação ambiental. Essa situação, entretanto, só vai mudar se os lotes das lavouras de arroz forem desapropriados pelo estado do Rio Grande do Sul. Ainda no Ponto 3, Figura 21, parte da extensão do canal construído com recursos do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (Pró-Várzea), criado em 1981.



Figura 20 – Foto referente a lavoura de arroz no dia 13/04/2016.



Figura 21 – Foto do canal construído com recursos do Programa Nacional para Aproveitamento de Várzeas Irrigáveis (Pró-Várzea).

Nas áreas de campo úmido ocorre a presença de plantas adaptadas ao ambiente permanentemente úmido (macrófitas) – indicadas com as setas na Figura 22 (Ponto 2 da Figura 9). Também observa-se a transição do campo úmido para o campo – indicada com as setas na Figura 23 (Ponto 1 da Figura 9).



Figura 22 – Foto da classe campo úmido com presença de vegetação adaptada a umidade, no dia 13/04/2016.



Figura 23 – Foto da transição de campo úmido para o campo, no dia 13/04/2016.

Na classe campo úmido, observa-se uma vegetação arbórea de porte pequeno, o espinilho (*Acacia caven*), que segundo a FZB (2002) é presente nos campos úmidos, Figura 24, referente ao Ponto 2 da Figura 9. Além disso, o espinilho também é presente nas matas ciliares características do Pampa, definindo áreas de transição entre campo e mata (Galvani e Baptista, 2003).



Figura 24 – Foto da classe mata no entorno do banhado, no dia 13/04/2016.

5.4. Uso do AHP para o Mapeamento da Fragilidade Ambiental

Os resultados da metodologia AHP para Fragilidade Ambiental foram analisados a partir de gráficos e mapas. A eficiência dos valores ponderados para cada critério do Processo Analítico Hierárquico foi analisada a partir do cálculo do Índice de Consistência e da Taxa de Consistência.

Para a análise de Fragilidade Ambiental, o índice de consistência (CI) é

$$CI = 4.057 - 4 / 4 - 1 = 0.019 \quad (4)$$

Para a análise de Fragilidade Ambiental, considerando o Índice de Consistência Aleatória (RI) de valor 0.9, a Taxa de Consistência (CI) é

$$\text{CR} = 0.019 / 0.9 = 0.021111... \sim 2\% < 10\% \quad (5)$$

O valor de 0,02111... obtido pela Taxa de Consistência é um valor consistente (menor que 0,1). Valores consistentes da Taxa de Consistência para Fragilidade Ambiental também foram obtidos por Cereda Junior (2011) com valor de 0,008. Portanto, esses valores podem ser indicativos de um processo de julgamento adequado.

Os critérios e subcritérios foram definidos a partir da análise de inundação do banhado da REBIO de São Donato, da análise de uso e cobertura do solo e das características de altitude.

A partir das matrizes comparativas do conjunto de cada critério: vegetação, uso do solo, áreas úmidas e corpos de água e altitude, a realização de vetor de Eigen e a mensuração de prioridade global, de acordo com Vargas (2010) baseada em Saaty (2005), foi possível verificar as áreas mais frágeis da zona de amortecimento da REBIO de São Donato.

A Figura 25 mostra os graus de fragilidade dos subcritérios. Na Figura 25(a), o subcritério vegetação aponta que a fragilidade mais forte é da vegetação adaptada a umidade (38,36 %).

A mata ou vegetação arbórea possui a fragilidade mais baixa (10,83 %), sem mudanças significantes ao longo do tempo, sendo esta uma das referências para a realização do AHP. Segundo Martínez-Harms e Gajardo (2008) a vegetação herbácea de áreas úmidas são as mais afetadas com as atividades humanas, com maior grau de fragilidade.

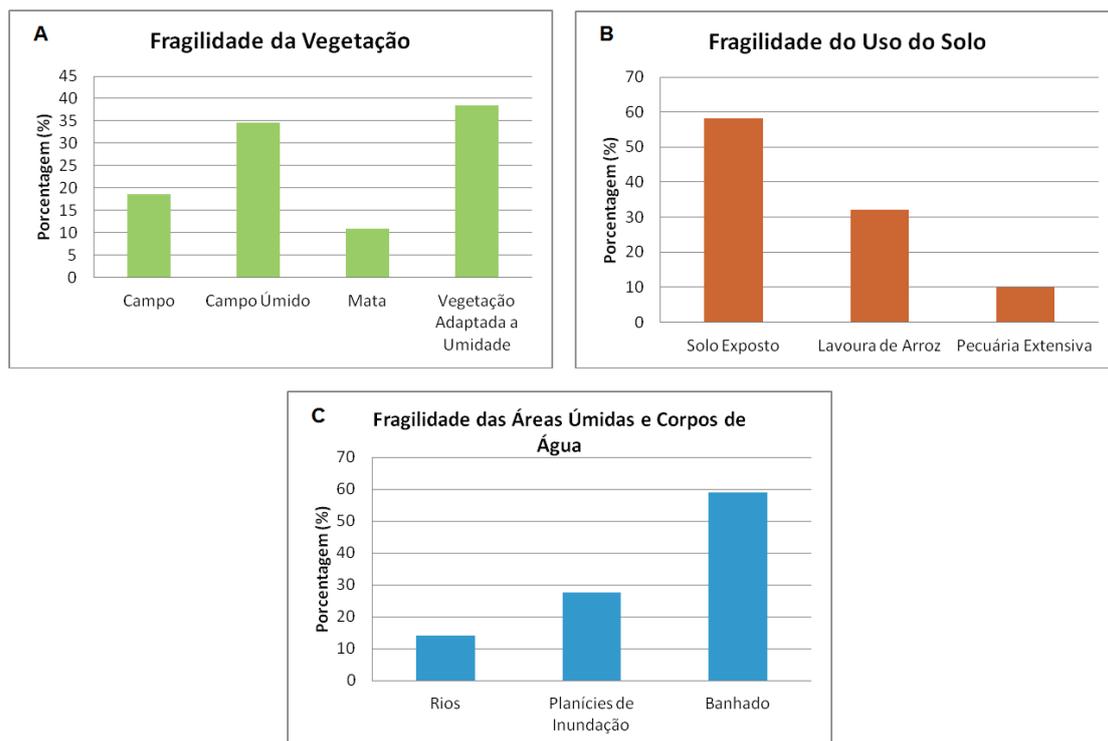


Figura 25 – Graus de fragilidade (%) da prioridade global dos subcritérios: (a) vegetação, (b) uso do solo, (c) áreas úmidas e corpos de água.

O subcritério solo exposto aponta grau de fragilidade mais forte (58,27%), Figura 25(b), e o segundo subcritério mais frágil é o de lavoura de arroz (32,21 %).

Já o subcritério das áreas úmidas e corpos de água, Figura 25(c), tem o banhado como a área mais frágil, com 58,83 %, e o segundo subcritério mais frágil é o de planícies de inundação, com 27,58 %.

A partir dos dados de prioridade global, foram realizados os mapeamentos referentes à fragilidade ambiental de cada critério: vegetação, uso do solo, áreas úmidas e corpos de água. Para isso, foi realizada a reclassificação da classificação de uso do solo, através dos dados de prioridade global, cruzada com a imagem do NDPI (ambas do dia 13/01/2015), Figura 26. O cruzamento das imagens foi realizado no *software Idrisi Selva*, através de *Overlay* dos valores máximos.

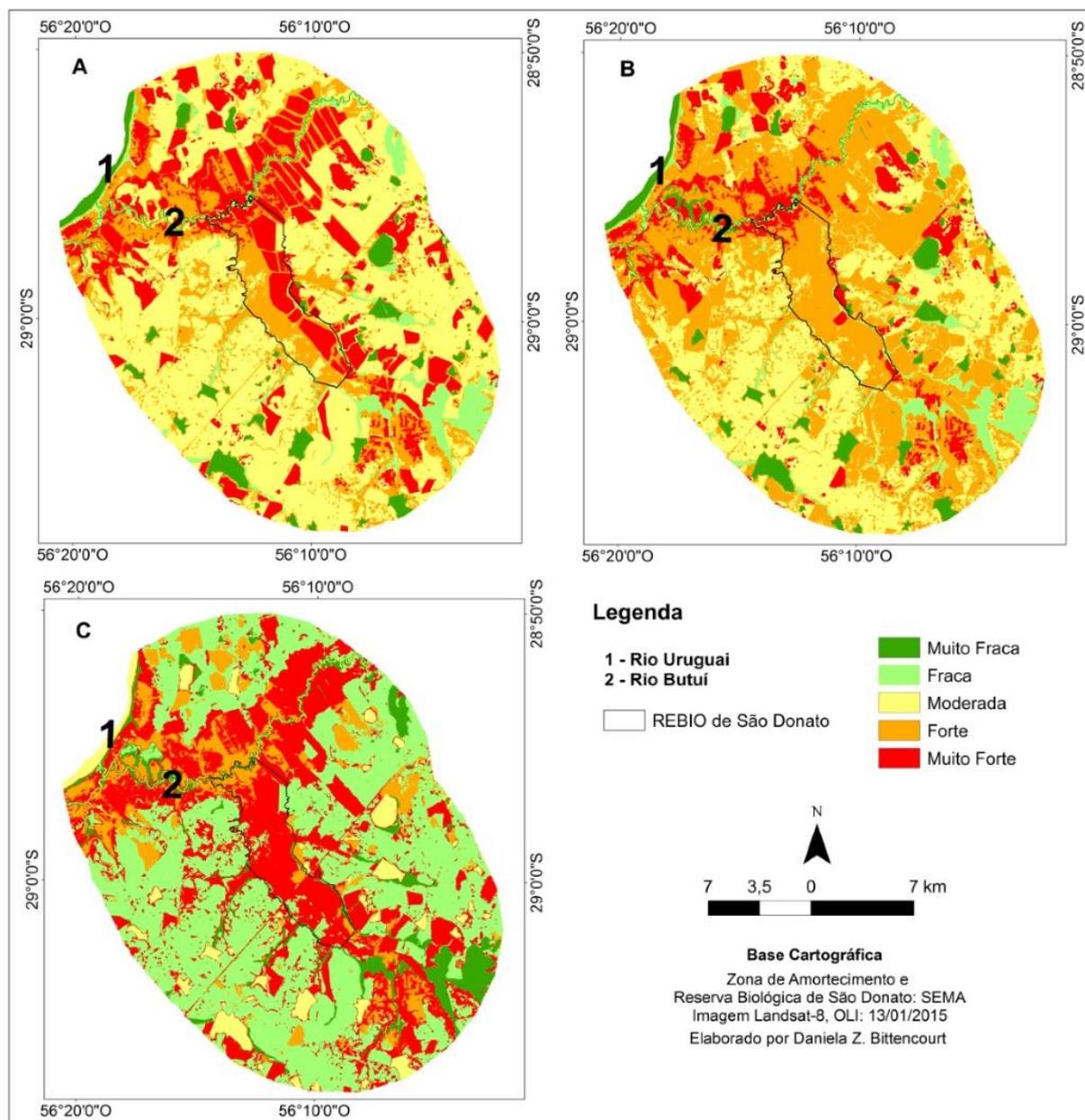


Figura 26 – Mapas de Fragilidade Ambiental: (a) Vegetação, (b) uso do solo, (c) áreas úmidas e corpos de água, raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

A fragilidade considerada muito forte, Figura 26(a), ocorre onde há presença de vegetação adaptada a umidade, lavoura de arroz com presença de água, e partes do campo onde há solo exposto. A fragilidade muito forte da vegetação possui uma área de 14516 ha, Tabela 11.

Além disso, a vegetação com fragilidade forte é a de campo úmido, com 13686 ha, Tabela 11. E as áreas menos frágeis são de vegetação arbórea e mata ciliar, com 3136 ha (Tabela 11).

Tabela 11 – Área dos graus de fragilidade ambiental, raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

	Área do grau de fragilidade (ha)				
	Muito Fraca	Fraca	Moderada	Forte	Muito Forte
Fragilidade Ambiental	4136	2825	21690	20251	21300
Fragilidade da Vegetação	4136	2825	35041	13686	14516
Fragilidade do Uso do Solo	4136	2825	21690	33937	7616
Fragilidade das Áreas Úmidas e Corpos de Água	2825	2169	4136	7616	33937
Fragilidade da Altitude	0	4,5	4026	21114	414,8

Para o subcritério uso do solo, Figura 26(b), a fragilidade considerada muito forte ocorre onde há presença de solo exposto (7616 ha). A fragilidade forte ocorre nas lavouras de arroz, presente na vegetação de campo e campo úmido (33937 ha), Tabela 11. Deve-se compreender que as atividades antrópicas em uma área muito frágil podem desestabilizar os ecossistemas naturais, levando à degradação dos serviços ecossistêmicos, afetando o patrimônio natural e o bem estar humano (MARTÍNEZ-HARMS e GAJARDO, 2008).

As áreas de fragilidade muito forte ocorrem em áreas de banhado, Figura 26(c), onde há a presença de vegetação de campo úmido e vegetação adaptada a umidade, (33937 ha), Tabela 11. As áreas de fragilidade forte ocorrem em áreas de planícies de inundação (7616 ha), Tabela 11.

Na metodologia de Ross (1994) as áreas de maior declividade são consideradas as áreas mais frágeis. Na análise da REBIO de São Donato e seu entorno, entretanto, destaca-se que não há grande amplitude hipsométrica, variando entre 11 e 70 m, onde conseqüentemente, a declividade apresenta nuances suaves. Portanto, o subcritério muito forte - com 42,54 % de grau de fragilidade, Figura 27, na Figura 28 é o que apresenta a altitude muito baixa, onde se concentram os rios, planícies e banhado, com 41480 ha de área. E o subcritério considerado forte é onde se encontra a altitude baixa, onde há a presença de vegetação do campo, com 21114 ha, Tabela 11.

Destaca-se que na Figura 27, não há presença dos subcritérios muito fraca e fraca, pois é uma área onde o relevo é plano, de acordo com Suertegaray e Guasselli (2004), localizada na planície do rio Uruguai.

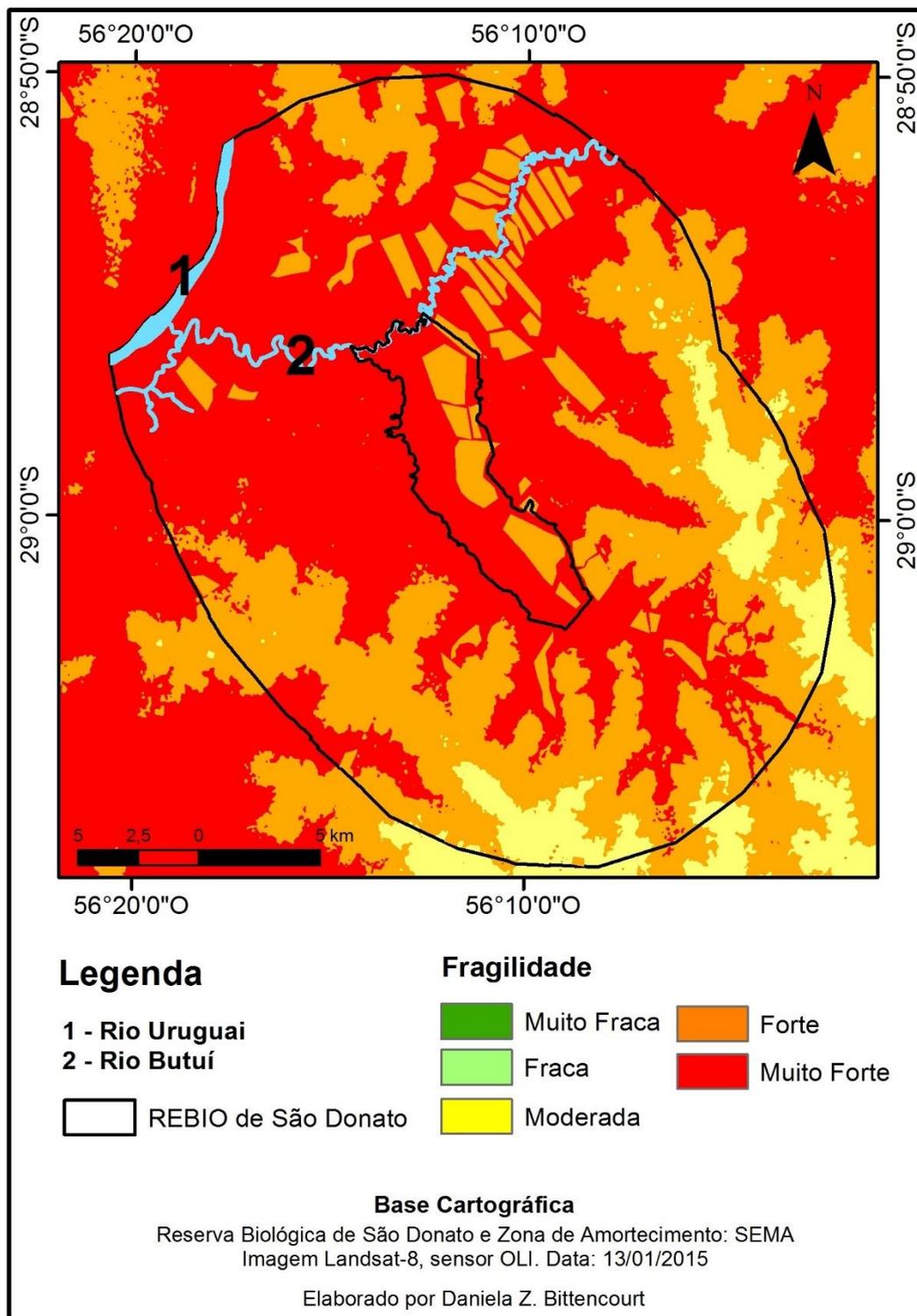


Figura 27 – Mapa de Fragilidade Ambiental da Altitude, REBIO de São Donato e raio de amortecimento.

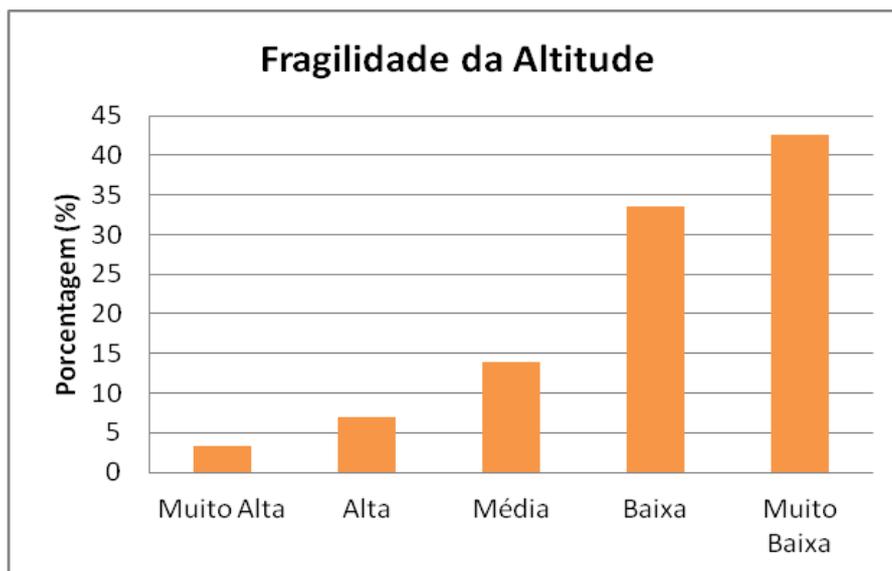


Figura 28 – Grau de fragilidade da prioridade global do subcritério altitude.

Conforme descrito na metodologia, a imagem da Figura 29 foi reclassificada com base nos valores de prioridade global para cada grau de fragilidade de acordo com cada subcritério. Assim como no mapeamento de fragilidade ambiental com a utilização do AHP no trabalho de Gonçalves *et al.* (2016), foi realizada uma ponderação com base na abordagem de Ross *et al.* (2005), organizando por ordem decrescente os valores de fragilidade. Posteriormente, com base em Gonçalves *et al.* (2016), adaptou-se o intervalo de dados para a escala entre 0 e 1 (Tabela 5). Destaca-se que nem em Gonçalves *et al.* (2015) e nem neste trabalho foi prevista a classe de área estável e, portanto, o peso zero não foi atribuído.

A fragilidade ambiental muito forte, Figura 29, representa áreas de altitude muito baixa entre 11,19 m e 72,61 m (Figuras 13, 16, 19, 22 e 25), vegetação adaptada a umidade, campo úmido e solo exposto, com área de 21300 ha, afetando principalmente a área de banhado. Além disso, a fragilidade ambiental forte representa áreas de altitude baixa entre 72,61 m e 91,3 m (Figuras 13, 16, 19, 22 e 25), de lavoura de arroz, com 20251 ha, Tabela 11.

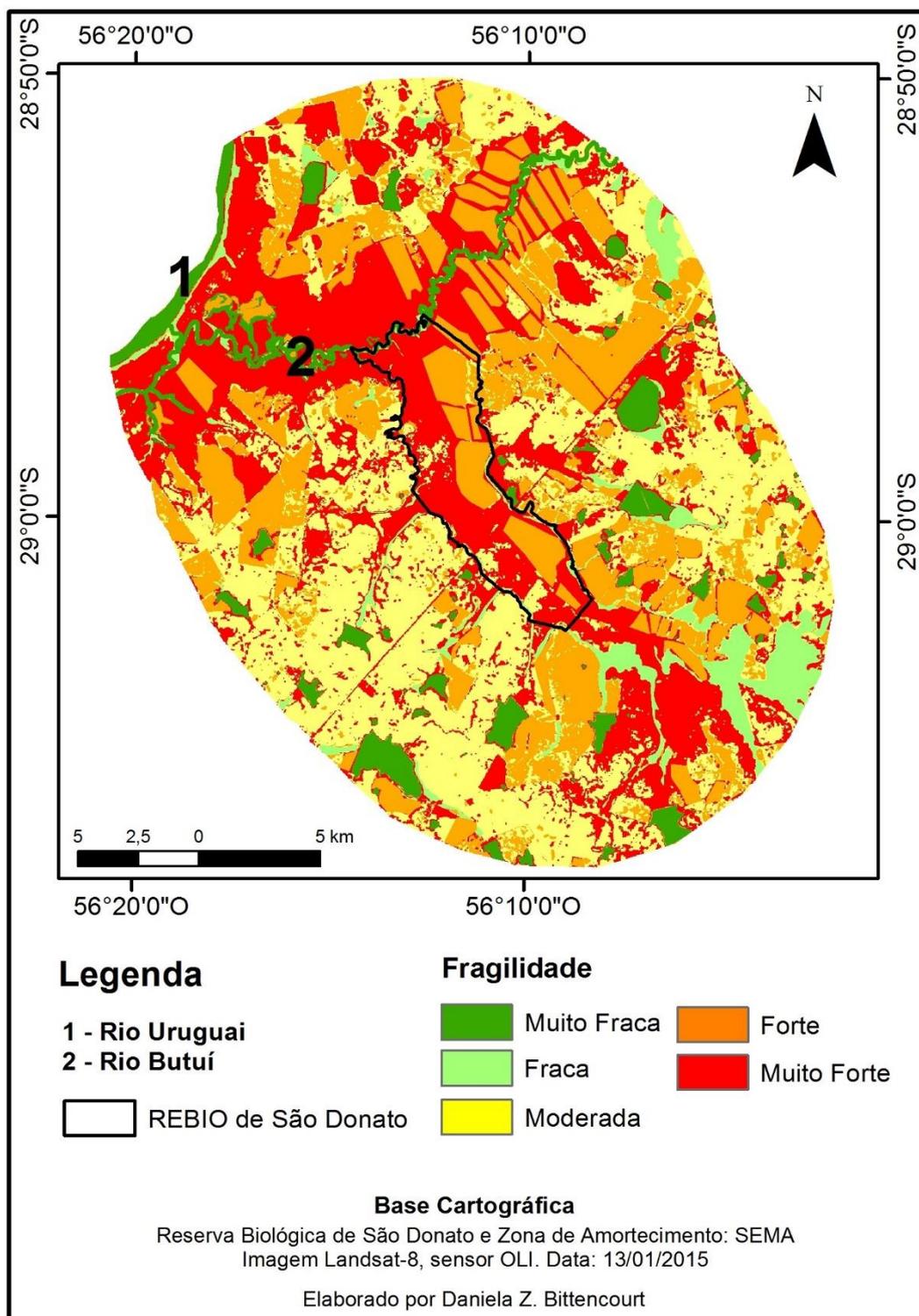


Figura 29 – Mapa de Fragilidade Ambiental, REBIO de São Donato e raio de amortecimento.

A fragilidade ambiental moderada representa a área de campo com atividade de pecuária extensiva, com 21690 ha. E as áreas de fragilidade ambiental fraca (2825 ha) e muito fraca (4136 ha), abrangem áreas de vegetação arbórea, mata ciliar, rios e corpos de água, Tabela 11.

As áreas de fragilidade ambiental muito forte e forte na REBIO de São Donato consideram, portanto, as áreas mais susceptíveis às alterações adversas, principalmente ao impacto ambiental gerado pelo cultivo de arroz irrigado. Sabendo-se desse fato é necessária urgente desapropriação dos lotes no interior dos limites da reserva e fiscalização da área para evitar futuros crimes ambientais.

A metodologia do Processo Analítico Hierárquico (AHP) foi escolhida por ser estatística e qualitativa. Para sua aplicação é preciso um observador para atribuir os valores iniciais a cada critério, de acordo com seu conhecimento prévio de campo e dos fatores problemas da situação, para que na sequência os cálculos de probabilidade entre os critérios sejam realizados. A prática dessa metodologia no âmbito da Fragilidade Ambiental pode ser analisada nos trabalhos de Cereda Junior (2011), Cereda Junior e Röhm (2014) e Gonçalves *et al.* (2015). Destaca-se que o AHP resulta em dados de maior aderência às observações de campo e resultados de mapeamento que respeitam as características do meio físico.

Neste trabalho, assim como em Gonçalves *et al.* (2015), utilizou-se o conceito de fragilidade ambiental. Todavia, a metodologia proposta por Ross (1994) para construção do mapa de fragilidade pressupõe utilizar informações de padrões de forma do relevo, de declividade e de solo. Respeitando o conceito e a metodologia proposta por Ross, considera-se a ausência de informações geomorfológicas na escala desejada devido à área de estudo possuir uma amplitude hipsométrica e de declividade muito pequena. Portanto, foi necessário utilizar o AHP como metodologia para definição da fragilidade ambiental no raio de amortecimento da REBIO de São Donato.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Considera-se a dinâmica de funcionamento de um ambiente natural com influência de ações humanas, estando sujeito a impactos ambientais, uma área de possível fragilidade ambiental. Nesta situação, as áreas frágeis são aquelas que, por suas características, são particularmente sensíveis a esses impactos, com poucas chances de recuperação, devido ao seu uso exacerbado pelas ações humanas ou pela dinâmica natural da erosão, por exemplo.

A realização de levantamento de dados para a caracterização da Reserva Biológica de São Donato e seu raio de amortecimento foram de grande auxílio para a correlação e análise de informações relevantes para o estudo da dinâmica do banhado, como também, para a análise de Fragilidade Ambiental e a identificação da dinâmica de inundação do banhado da REBIO de São Donato.

A não existência de registros sobre a dinâmica dos padrões de inundação da área de estudo, gerou interesse para uma análise, realizada neste trabalho. A definição de padrões de inundação do banhado da REBIO de São Donato auxilia na compreensão da sua dinâmica buscando a sua conservação. Além disso, o estudo de padrões de inundação do banhado pode auxiliar no planejamento em nível da Bacia Hidrográfica do Rio Uruguai, com enfoque na Sub-região Hidrográfica dos Rios Butuí e Icamaquã.

Foram identificados três padrões de inundação no banhado da REBIO de São Donato ligados a dinâmica da bacia hidrográfica e a distribuição da precipitação. Esses padrões foram avaliados através de dados diários de precipitação e imagens resultantes do NDPI. O primeiro padrão possui relação com a precipitação predominante a montante do rio Uruguai e a leste dessa bacia, inundando além da sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã, outras sub-regiões. O segundo padrão possui relação com precipitação a montante do rio Butuí e de sua sub-região hidrográfica, inundando toda sub-região hidrográfica dos rios Butuí e Icamaquã. O terceiro padrão não trata de inundação de rios da bacia do qual o banhado faz parte, entretanto, mas da influência da precipitação local, com ocorrência próxima e a leste do banhado, de acordo com a localização da Estação Pluviométrica da Fazenda de Santa Cecília do Butuí.

Na Análise Temporal de Uso e Cobertura do Solo no raio de amortecimento da REBIO de São Donato foi possível identificar as áreas de produção de arroz no raio de amortecimento da REBIO de São Donato, como o principal uso do solo da área de estudo. Além disso, a classe em que menos houve mudanças foi a mata.

No caso da REBIO de São Donato e de seu raio de amortecimento, a aplicação da metodologia AHP se concentrou na dinâmica de fatores naturais de inundação, na sua variação altimétrica, na cobertura natural do solo e nos fatores antropológicos de uso do solo, resultando no mapa de fragilidade ambiental. Portanto, para compreender no todo seu comportamento natural e suas problemáticas é importante analisar a dinâmica de inundação da área e suas características naturais e econômicas.

Na análise da Fragilidade Ambiental, através da correlação dos dados da primeira e segunda etapa, utilizando a metodologia do Processo Analítico Hierárquico, foram identificadas áreas de maior grau de fragilidade ao menor grau. As áreas de maior grau de fragilidade, classificadas entre Forte e Muito Forte foram relativas ao banhado e sua vegetação, planícies de inundação de rios e áreas de cultivo de arroz, incluindo o solo exposto. A altitude de maior fragilidade do raio de amortecimento é a mais baixa, entre 11 e 70 metros.

A avaliação do Processo Analítico Hierárquico (AHP) para a análise da Fragilidade Ambiental da área de estudo se mostrou coesa com relação às outras etapas de análise, confirmando observações realizadas na segunda etapa, principalmente com relação ao impacto ambiental gerado pelo cultivo de arroz.

Considerando o fato de que existem diversas Unidades de Conservação que não possuem Plano de Manejo, como é o caso da Reserva Biológica de São Donato, a fragilidade ambiental pode ser a temática condutora de um diagnóstico sócio-econômico e ambiental para o Plano de Manejo numa Unidade de Conservação.

A fim de comparação, em outros Planos de Manejo foi utilizado como conceito-metodológico condutor a Paisagem para Zoneamento Ambiental, sendo analisada em unidades de paisagem, como é o caso do documento da Área de Proteção Ambiental (APA) Rota do Sol (GEOLINKS e SEMA, 2009) e do Plano de Manejo da REBIO Mata Paludosa (SEMA, 2017).

Portanto, a fragilidade ambiental pode ser utilizada considerando áreas prioritárias de conservação, aplicando a classificação de níveis de fragilidade ambiental para o Zoneamento Ambiental no interior do raio de amortecimento da REBIO de São Donato, considerando esta a mais frágil e de alta prioridade de conservação. Além disso, é possível delimitar áreas dentro desta UC - sendo as áreas de cultivo de arroz - de possível renaturalização do banhado.

A aplicação do Zoneamento Ambiental na área de estudo pode ser de grande importância para a conservação do banhado, remanescente do Pampa na fronteira oeste

do Rio Grande do Sul. Assim a partir do Zoneamento Ambiental podem ser definidas áreas de alta prioridade de conservação desse bioma.



7. REFERÊNCIAS

ADAM, E.; MUTANGA, O.; RUGEGE, D. **Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing for Identification and Mapping of Wetland Vegetation: a review.** Wetlands Eco Manage, Pietermaritzburg, South Africa, 2009, p. 281-292.

ALMEIDA, F. P. **Histórico de Criação das Categorias de Unidades de Conservação no Brasil**, 2014. 247 p. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Conservação Ambiental e Sustentabilidade, IPÊ. Nazaré Paulista, 14 de março de 2014.

ALVES, F. da S. **Fitogeografia da Região do Jarau – Quaraí, RS.** 2012. 101 p. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Centro de Ciências Rurais – UFSM. Santa Maria, junho, 2012.

ALPHONCE, C. B.. **Application of the analytic hierarchy process in agriculture in developing countries.** Agricultural Systems, 1997, v. 53, p. 97-112.

BARROS, M. A.; MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F. T. **Processo Analítico Hierárquico na Identificação de Áreas Favoráveis ao Agroecossistema Cafeeiro em Escala Municipal.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 42, nº 12, 2007, p. 1769-1777.

BENSO, M. R.; ZENI, C.; BONAI, J.; MANCUSO, M. A.; CAMARGO, M. Análise de Inundações do Rio do Mel, afluente do Rio Uruguai, RS. In: XV Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. **Anais...** Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1-9.

BORGES, R. de O.; CAMARGO, F. F.; CAMPAGNOLI, F.; BAYER, M. Aplicação do Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) na Delimitação de Fluxos de Sedimentos em suspensão no Rio Araguaia: avaliação das imagens Landsat-8 para o monitoramento hidroviário. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos Índices de Vegetação NDV, SAVI e IAF na Caracterização da Cobertura Vegetativa da Região Norte de Minas Gerais. In: XVI

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p.7345-7352.

BRENNER, V. C. Proposta metodológica para renaturalização de trecho retificado do rio Gravataí - RS. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016, 94 p.

BRASIL, Decreto Federal (1934). **Código Florestal**, Nº 23.793, Congresso Federal, 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1930-1949/d23793.htm>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

BRASIL, Decreto Federal (1965). **Código Florestal**, Nº 4.771, Congresso Federal, 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L4771.htm>. Acesso em: 24/dez./2015.

BRASIL, Decreto-Lei Federal (1967). **IBDF**, Nº 289, Congresso Federal, 1967. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1965-1988/Del0289.htm>. Acesso 24 de dez. de 2015.

BRASIL, Lei Federal (1989). **IBAMA**, Nº 7.735, Congresso Federal, 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7735.htm>. Acesso em: 24/dez./2015.

BRASIL, Lei Federal (2000). **SNUC**, Nº 9.985, Congresso Federal, 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

BRASIL, Lei Federal (2012). **Código Florestal**, Nº 12.651, Congresso Federal, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

BRASIL, Decreto Federal (1966). **Convenção para Proteção da Flora, da Fauna e das Belezas Cênicas dos Países da América**, Nº 58.54, Congresso Federal, 1966. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaTextoIntegral.action?id=90869>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

BRASIL, Decreto Federal (1996). **Convenção de Ramsar**, Nº 1.905, Congresso Federal, 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/D1905.htm>. Acesso em 24 dez. 2015.

BRINSON, M. M. **A Hydrogeomorphic Classifications for Wetlands**. Washington: U. S. Army Corps of Engineers, 1993. 103p.

BRITO, M. C. W. **Unidades de Conservação: intenções e resultados**. 1ª edição. São Paulo: Editora Annablume, 2000. 230p.

BRUBACHER, J. P.; GUASSELLI, L. A. Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo, RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p.4540-4547.

BURGER, M. I. **Situações e ações prioritárias para conservação de banhados e áreas úmidas da Zona Costeira**. Museu de Ciências Naturais, Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul, 2000. Disponível em:<<http://www.unisinos.br/nupe/arquivos/banhados.pdf>>. Acesso em: 03ago. 2015.

CARVALHO, A. B. P.; OZÓRIO, C. P. Avaliação sobre os banhados do Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v.1, n.2, 2007. p.83-95.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. **Erosividade, Padrões Hidrológicos, Período de Retorno e Probabilidade de Ocorrência das Chuvas em São Borja, RS**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 32, n. 3, 2008, p.1239-1251.

CASTRO, A. L. C. **Manual de desastres: desastres naturais**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2003. 174 p.

CEPED/RS-UFRGS. **Capacitação em Gestão de Riscos**. Porto Alegre: Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

CEREDA JUNIOR, A. **Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério - Críticas e Proposta Metodológica**. Aprovado em 2011, 150 páginas. Tese (doutorado) - apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, SP.

CEREDA JUNIOR, A; RÖHM, S. A. **Analysis of Environmental Fragility Using Multi-Criteria Analysis (MCE) for Integrated Landscape Assessment**. Journal of urban and Environmental Engineering, v. 8, n° 1, 2014, p. 28-37.

CREPANI, E. et al. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236p. ISBN 85-212-0177-9.

CUNHA, C. N.; PIEDADE, M. T. F.; JUNK, W. J. **Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e seus Macrohabitats**. Cuiabá: Editora Edufimt, 2015. 165p.

DARONCH, M. C.; CABRAL, I. L. L.; PRADO, R. J. O Impacto da Rizicultura e Pecuária sobre os Banhados do Jacaré e Grande – Município de São Borja. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Goiânia, 2006.

DUARTE, G. S.; COSTA, G. E.; OLIVEIRA, A. P.; BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M. O Uso da Geometria do Landsat 8 como Base para Georreferenciamento Semiautomático Visando Estudos Espaço-Temporais. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015. p.5216-5223.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2006. 286p.

ESPINOZA, G. **Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental**. Santiago, Chile. 2007. 288 p.

ERHART, H. **La theorie bio-rexistesique et les problemews biogeographiques et paleobiologiques**. Soc. Biogeogr., France, CNR (288):43-53, 1956.

FEITOSA, J. R. P.; FILHO, J. F. C.; SILVA, B. B. da. Avaliação de Índices de Vegetação em área irrigada do Sub-Médio São Francisco, Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite LANDSAT-5, TM. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...** Florianópolis: CBMET, 2006.

FUNDAÇÃO ZOOBOTÂNICA. **Projeto Avaliação da Biodiversidade da Reserva Biológica de São Donato**: Proposição de Limites da Reserva Biológica de São Donato. 2002.

FRAZIER, P. S.; PAGE, K. J. **Water Body Detection and Delineation with Landsat TM Data**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 66, nº 12 p. 1461-1467, 2000.

GALVANI, F. R.; BAPTISTA, L. R. de M. Flora do Parque Estadual do Espinilho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, Uruguaiana, v. 10, n. 1 p. 42-62, 2003.

GALVÃO, M. I. da S. **Zoneamento de Risco à Inundação da Área Urbana de Porto Xavier, RS**. Aprovado em janeiro de 2014, 107 páginas. Dissertação (mestrado) - apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GARDELLE, J.; HIERNAUX, P.; KERGOAT, L.; GRIPPA, M. **Less Rain, more Water in Ponds**: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali). Hydrology and Earth System Sciences, v. 14, nº 1 p. 309-324, 2010.

GEOLINKS e SEMA. **Plano de Manejo da APA Rota do Sol**. SEMA, 2009. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/area-de-protecao-ambiental-rota-do-sol>>. Acesso em 20 de jun. de 2017.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS**. Remote Sensing of Environment, v.58, p.289-298, 1996.

GUASSELLI, L. A.; MEDEIROS, R. M. V.; CAMPOS, C. S. S. **Impactos da Produção de Arroz na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS: Análise Territorial e Ambiental**. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre, 2015.

GUASSELLI, L. A.; ECTHELAR, C. B.; BELLOLI, T. F. Questões Ambientais Associadas a Produção de Arroz: Região Metropolitana de Porto Alegre, RS. Capítulo do livro: **Impactos da Produção de Arroz na Região Metropolitana de Porto Alegre, RS: Análise Territorial e Ambiental**. Porto Alegre: Editora Imprensa Livre, 2015.

GONÇALVES, S. R. M; ARAÚJO, R. R. de; IMAI, N. N. **Mapeamento do Grau de Fragilidade com Processo Analítico Hierárquico e Operadores Fuzzy Gama na Detecção de Áreas de Fragilidade Ambiental**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, nº2, 2016, p. 327-337.

HUANG, C.; CHEN, Y.; WU, J. **Mapping Spatio-Temporal Flood Inundation Dynamics at Large River Basin Scale Using Time-Series Flow Data and MODIS Imagery**. International Journal of Applied Earth observation and Geoinformation, v. 26, nº 1, 2014, p. 350-362.

IBAMA. **Roteiro Metodológico para o Planejamento de Unidades de Conservação de Uso Indireto**. Versão 3.0. Brasília. 1996.

IBGE. **Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 794p.

INAU. **Definição e Classificação das Áreas Úmidas (AUs) Brasileiras: Base Científica para uma Nova Política de Proteção e Manejo Sustentável**. Cuiabá, 2014. Disponível em: <<http://www.inau.org.br/documentos/?DocumentosCategoriaCod=&DocumentosCod=1>

2>. Acesso em: 24/dez./2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Manuais**: tutorial de geoprocessamento: SPRING. 2008.

INPE. **Visualização de Séries Temporais MODIS para análise de mudanças de uso e cobertura da Terra**. 2013. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/series/informacoes.php>>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

IRGA. **Manual de boas práticas agrícolas**: guia para a sustentabilidade da lavoura de arroz irrigado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Avante, 2011. p. 80.

IRGA. **Safras**. 2015. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/conteudo/4215/safras>>. Acesso em: 24/dez./2015.

IUCN. **What is a Protect Area**. 2008. Disponível em: <http://iucn.org/about/work/programmes/gpap_home/pas_gpap/>. Acesso em 24 dez. 2015.

JANSEN, D. C. **Análise Ambiental da Área de Proteção Ambiental do Morro da Pedreira e do Parque Nacional da Serra do Cipó para a Proteção do Patrimônio Espeleológico**. Aprovado em 2013, 150 páginas. **Dissertação** (mestrado) – apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia: Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

JL, L.; ZHANG, L.; WYLIE, B. **Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 75, n. 11, 2009, p. 1307-1317.

JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F. **Áreas Úmidas Brasileiras**: Avanços e Conquistas Recentes. *Boletim da Associação Brasileira de Limnologia*, v. 42, nº 2, 2015, p. 20-24.

KOBYIAMA, M.; MENDONÇA M.; MORENO, D. A.; *et al.* **Prevenção de Desastres Naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Ed. Organic Trading, 2006. 109 p.

KUMAR, M. C. V. S. S. **Automatic extraction of water features at multiple scales**. Master of Technology in Remote Sensing and GIS, Indian Institute of Remote Sensing, India, 2015, 92 p.

LACAUX, J.P.; TOURRE, Y. M.; VIGNOLLES, C.; NDIONE, J. A.; LAFAYE, M. Classification of ponds from high-spatial resolution remote sensing: Application to Rift Valley Fever epidemics in Senegal. **Remote Sensing of Environment**, v.1, n. 106 p. 66–74, 2007.

LAGEOLAM/UFSM. Atlas Geoambiental de São Borja. Santa Maria: Editora da UFSM, 2007. 64p.

LEMES, D. P.; PIRES, C. A. Caracterização Geológica-Geomorfológica das Áreas de Ocorrência de Ametista, no Município de Quaraí, RS. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Goiânia, 2006. p.1-7.

MARTÍNEZ-HARMS, M. J.; GAJARDO, R. **Ecosystem Value in the Western Patagonia Protected Areas**. Journal for Nature Conservation, v. 16, n° 1, 2008, p. 72-87.

MARTINS-MAZZITELLI, S. (Coord.) 1998. **Relatório referente ao contrato firmado entre a FZB_RS e FEPAM para “Elaboração da Carta de recursos de Flora e Fauna associada do Litoral Médio, Margem Oeste da Laguna dos Patos no Estado do Rio Grande do Sul”** período 1996-1997. Porto Alegre, 68p. il.

McCORMICK, J. **Rumo ao paraíso: a história do movimento ambientalista**. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1992.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MITSCH, W. J; GOSSELINK, J. G. **Wetlands**. 5ª edição. New Jersey: Wiley, 2015. 75p.

MMA. **Avaliação de Impacto Ambiental**. 1986. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acesso em: 10 de jan. 2017.

MMA. **CONABIO**. 2006. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/conabio/_arquivos/Delib_040.pdf. Acesso em: 10 ago. 2017.

MMA. **Pampa**. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/pampa>. Acesso em: 24 dez. 2015.

MMA. **Convenção de Ramsar**. 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar>. Acesso em: 24 dez. 2015.

MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: Prioridades 2012-2015**. 2011. 124p.

MMA. **Resolução CONAMA**. 1986. Disponível em: http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1986_001.pdf. Acesso em 12 de jun. de 2017.

MOZUMDER, C.; TRIPATHI, N. K.; TIPDECHO, T. **Ecosystem evaluation (1989-2012) of Ramsar wetland Deepor Beel using satellite-derived indices**. Springer, Environmental Monitoring and Assessment, v.186, iss. 11, 2014, p.7909-7927.

MUNYATI, C. **Wetland Change Detection on the Kafue Flats, Zambia, by Classifications of a Multitemporal Remote Sensing Image Dataset**. International Journal of Remote Sensing, v. 21, n° 9, 2000, 1787-1806.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4ª edição. São Paulo, SP: Blucher, 2010. 387p.

OLIVEIRA, S. A. M.; ESCOBAR, I. P. **Projeto RADAM-D: Preservação e disseminação das imagens originais geradas pelos projetos RADAM E RADAM BRASIL**. 2007. Disponível em:

<<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=796&sid=9>>.

Acesso em: 24/dez./2015.

ONU. **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Disponível em:

<<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/rio92.pdf>>. Acesso em: 24/dez./2015.

ORICONSUL; ECOPLAN; SKILL. **Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região da Bacia do Rio Uruguai**: Relatório Final, 2008. Disponível em: <http://4ccr.pgr.mpf.mp.br/informes/pdfs/Relatorio_Diagnostico_Versao%20Final.pdf>.

PAULA, J. D. **A Construção Social do Mercado do Leite: Um Estudo de Caso no Município de Itaqui, RS**. 2013. 197 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação Tecnológica em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas - UFRGS. Itaqui, 2013.

RAMSAR. **The List of Wetlands of International Importance**. 2015. Disponível em:

<<http://www.ramsar.org/sites-countries/the-ramsar-sites>>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

RAMOS, A. **Diccionario de la Naturaleza**. French and European Publications, 1987. 976 p.

RAY, R.; MANDAL, S.; DHARA A. **Characterization and Mapping of Inland Wetland**: A Case Study on Selected Bils on Nadia District. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v. 2, iss. 12, 2012, p. 1-10.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; OLIVEIRA, L. A. Construção de e Utilização do Método de Processo Analítico Hierárquico – AHP para Mapeamento de Risco à Inundação em Área Urbana. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 61 p. 01-18, 2017.

RIBEIRO JÚNIOR, S. & VIEIRA, C. A. O. Aplicação do processo analítico hierárquico na escolha de tecnologia de coleta de dados para cálculo de volume de minério estocado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 65/4, 2013.

RIGHI, E. **Risco a Inundação em Médio Curso do Rio Uruguai: Um estudo de caso nos municípios de Porto Lucena e São Borja**. Aprovado em abril de 2011, 222 páginas. **Dissertação** (mestrado) - apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIGHI, F. P. **A Cartografia Ambiental como suporte para o estudo das unidades de paisagem: o caso da Reserva Biológica de São Donato-RS**. Aprovado em 04 de outubro de 2012. 117 páginas. **Dissertação** (mestrado) - apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana do Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

RIGHI, E.; ROBAINA, L. E. de S. **Enchentes do Rio Uruguai no Rio Grande do Sul entre 1980 e 2005: Uma Análise Geográfica**. Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia, v.1, n.22, 2010. p.35-54.

RISSO, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, R. D. V. **Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.47, n.9, p.1317-1326, 2012.

RINGUELET, R. A. **Ecologia acuática continental**. EUDEBA (Ed.). Buenos Aires, 1962.138p.

RIO GRANDE DO SUL, **Decreto Estadual** (1992). SEUC, Nº 34.256. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=WQdIfqNoXO4%3D&tabid=3683&mid=5359>>. Acesso em: 24 dez. 2015.

RIO GRANDE DO SUL, **Decreto Estadual** (1998). SEUC, Nº 38.814. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNo rmas=6124&hTexto=&Hid_IDNorma=6124>. Acesso em: 10 ago. 2017.

RIO GRANDE DO SUL, **Decreto Estadual** (1998). CONSEMA, Nº 38.914. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=WQdIfqNoXO4%3D&tabid=3>>

683&mid=5359>. Acesso em: 24 dez. 2015.

ROSS, Jurandir L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. Sao Paulo: Contexto, 1990. 85p.

ROSS, Jurandy L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, J. L. S.; KAWAKUBO, F.S.; MORATO, R. G; LUCHIARI, A.; CAMPOS, K.C. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, V.12, Goiânia, INPE, p.16-21, 2005.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. Aprovado em abril de 2011. 253 páginas. **Tese** (doutorado) – apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. Oficina de Textos (Ed.). 2013. 584 p.

SAATY, T. L. (1990). **The Analytic Hierarchy Process in Conflict Management**. The International Journal of Conflict Management, Pittsburg, v. 1, n. 1, p. 47-68.

SAATY, T. L. (2005). **Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks**. Pittsburgh: RWS Publications.

SAAVEDRA, O. F. C.; MUÑOZ, V. A.; REIS, J. B. C. Delimitação da planície inundável e avaliação a partir de um evento de inundação ocorrido no município de São Borja (RS). In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** João Pessoa: INPE, 2015.

SCHUMM, S.A. 1991. **To Interpret Earth – Ten Ways to be Wrong**. Grã-Bretanha:

Cambridge. 133p.

SEMA. **Plano de Manejo da REBIO Mata Paludosa**. 2017. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/reserva-biologica-estadual-mata-paludosa>>. Acesso em 20 de jun. de 2017.

SEMA. **Reserva Biológica de São Donato**. 2010. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em 24 de dez. de 2015.

SILVA, R. C. da. **Estudo da Dinâmica da Fragilidade Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**. Aprovado em 2016. 330 páginas. Tese (doutorado) – apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia.

SOSBAI. **Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil**. Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20141205095320recomendacoes_tecnicas_sosbai_2014.pdf>. Acesso em 12 de jun. de 2017.

SUETERGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A. Paisagens (Imagens e Representações) do Rio Grande do Sul. In: VERDUM, R.; BASSO, L. A.; SUETERGARAY, D. M. A. (Orgs.) **Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. P. 27-38.

STEINMETZ, S.; BRAGA, H. J. **Zoneamento de arroz irrigado por épocas de semeadura nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 429- 438, 2001. N° Especial: Zoneamento Agrícola.

STEINMETZ, S. et al. **Zoneamento Agroclimático do Arroz Irrigado por Épocas de Semeadura no Estado do Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa, 2007.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

VARGAS, R. **Utilizando a Programação Multicritério (AHP) para Selecionar e Priorizar Projetos na Gestão de Portfólio.** In: PMI Global Congress. Anais... Washington: 2010.

VIANA, J. N. L.; RODRIGUES, L. O. P. F.; RAMOS, T. C. Q. Os Impactos Urbano-Socioambientais no/do Canal da Alameda São Boaventura, no Bairro do Fonseca, Niterói – RJ. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. **Anais...** Porto Alegre: AGB, 2010.

VIEIRA, L. F. S. **A Leitura da Paisagem como Instrumento para o Plano de Manejo:** Reserva Biológica Estadual Mata Paludosa - Itati, RS. 2007. 197 p. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências - UFRGS. Porto Alegre, novembro, 2007.

VIEIRA, L.; CADER, R. **A Política Ambiental do Brasil Ontem e Hoje.** Rio de Janeiro: Revista Eco-21, 2007. Disponível em: <<http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=1601>>. Acesso em: 24 dez. 2015.

USGS. **Landsat Data Access.** 2015. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov//Landsat_Search_and_Download.php>. Acesso em 24 dez. 2015.

WANG, Y.; HUANG, F.; WEI, Y. Water Body Extration from Landsat ETM+ Image Using MNDWI and K-T Transformation. In: ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOINFORMATICS, 21.; 2013, Hong Kong. **Anais...** Hong Kong: WASET, 2013.

WIDHOLZER. F. L. **Banhados (Marshes) do Rio Grande do Sul - Brasil.** Guaíba: Riocell S. A., 1986. 78p.