

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA
ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO - RS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

Bruna Nascimento de Vasconcellos

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA
FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO PARDO - RS**

Bruna Nascimento de Vasconcellos

Monografia apresentada ao Curso de Especialização do Programa
de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração
Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Geomática

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Claire Delfini Viana Cardoso

**Santa Maria, RS, Brasil
2013**

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós Graduação em Geomática**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Monografia de Especialização**

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA
FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
PARDO - RS**

elaborada por
Bruna Nascimento de Vasconcellos

como requisito parcial para obtenção do grau de
Especialista em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

Claire Delfini Viana Cardoso, Dr.^a
(Presidente/Orientadora)

Ana Caroline Paim Benedetti, Dr.^a (UFSM)

Priscilla Maia Baggio, Esp.^a (UFSM)

Santa Maria, 17 de outubro de 2013.

*Aos meus avós Lila
e Luiz Hevando,
Dedico.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha existência, e todas as bênçãos realizadas na minha vida.

À Universidade Federal de Santa Maria, por me proporcionar os primeiros passos de uma longa caminhada.

À minha orientadora e amiga Prof.^a Dr.^a Claire Delfini Viana Cardoso, que foi fundamental na realização deste trabalho, mas principalmente, pelo privilégio de fazer parte de seu grupo de amigos, disponibilizando-me conselhos, ensinamentos e companheirismo, sendo um grande exemplo pessoal e profissional a ser seguido.

Aos meus pais Mariza e Amilton, pelo carinho, amor, e compreensão em saber que esta é uma etapa de dedicação importante na minha caminhada.

Aos meus avós Lila e Luiz, simplesmente por serem o meu porto-seguro, fontes inesgotáveis de amor, carinho e dedicação.

Ao meu namorado Tiago, pela compreensão nos momentos de ausência, pelo companheirismo, e por todo o incentivo.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Geomática por todo conhecimento transmitido, em especial aos professores Manoel Araújo Souza Jr. e Estela Maris Giordani.

À professora Ana Caroline Paim Benedetti por ter me apresentado o “fantástico mundo das geotecnologias”.

Ao funcionário da pós graduação Wanderley Vasconcellos, por todo auxílio durante o curso, sempre muito prestativo e atencioso com todos os alunos.

Aos queridos colegas e amigos que longe ou perto acompanharam essa caminhada, Cibele Rebolho, Elaine Lutz, Jean Favaretto, Helenesio Cabral, Lueni Terra, Lilian Stringari, Manoela Duarte, Maiara Moraes, Priscilla Baggio, Samantha Paiani, Scheila Machado, Suzan Zilli, Vanessa Caetano.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

*“Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do
homem foram conquistadas do que parecia impossível”.*

Charles Chaplin

RESUMO

Monografia de Especialização
Programa de Pós Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARDO - RS

AUTORA: BRUNA NASCIMENTO DE VASCONCELLOS

ORIENTADORA: CLAIRE DELFINI VIANA CARDOS

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de outubro de 2013.

O Geoprocessamento tem sido considerado instrumento fundamental na definição de políticas de intervenção e gestão ambiental. O presente trabalho apresenta um roteiro da metodologia de aplicação de tecnologias de Geoprocessamento para caracterizar a fragilidade ambiental da área da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, inserida na região central do estado do Rio Grande do Sul. Utilizou-se o método proposto por Ross (1994), baseado na compreensão das características e da dinâmica do ambiente natural. Para avaliar os resultados da pesquisa, são estabelecidos pesos ou notas a cada situação que as variáveis apresentarem. Utilizaram-se como indicadores da fragilidade ambiental, os fatores: relevo, solo e vegetação. Entre os usos da bacia predominam as áreas florestadas, ocupando 41% em relação a área total. A bacia possui uma fragilidade potencial muito alta, com 44,9 % em relação a área total, consequência de declividade alta agregada ao tipo de solo. Apresenta uma fragilidade emergente baixa com 57,57%, devido uma parte significativa da cobertura vegetal nativa estar preservada.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Vulnerabilidade ambiental. Landsat 5.

ABSTRACT

Monograph of expertise
Programa de Pós Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria

GEOPROCESSING APPLIED TO ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF WEAKNESS OF BASIN THE RIO PARDO - RS

Author: Bruna Nascimento de Vasconcellos
Advisor: Prof.^a Dr.^a Claire Delfini Viana Cardoso
Place and date of the defense: Santa Maria, October 17, 2013

The geoprocessing has been considered fundamental instrument in policies intervention and environmental management. The present paper presents a roadmap of the methodology of applying geoprocessing technologies to characterize the environmental fragility of the area of Pardo River basin, inserted in the central region of Rio Grande do Sul. We used the method proposed by Ross at (1994), which is based on understanding of the characteristics and dynamics of the natural environment. To evaluate searchs results are set weights or notes to each situation that the variables present. Were used as indicators of environmental fragility factors: topography, soil and vegetation. Among the uses of the basin dominated forested areas ,occupyng 41% over the total area. The basin has a very high potential fragility, with 44.9% over the total area, results a high aggregate slope soil type. Presents a weakness emerging low with 57.57%, because a significant part of native vegetation to be preserved.

Keywords: Geoprocessing. Environmental vulnerability. Landsat 5.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 - Representação matricial e vetorial dos elementos da paisagem.....	21
FIGURA 02 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – RS.....	27
FIGURA 03 - Mapa temático de uso e ocupação do solo e grau de fragilidade.....	37
FIGURA 04 - Mapa temático de tipo de solo e grau de fragilidade.....	39
FIGURA 05 - Mapa temático de fragilidade potencial e fragilidade emergente.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Características das bandas espectrais do sensor <i>Thematic Mapper</i> dos satélites Landsat 4 e 5.....	26
TABELA 02 - Área e percentual de cada município na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	28
TABELA 03 - Fragilidade das classes de declividade conforme Ross (1994)..	32
TABELA 04 - Classes de Proteção dos usos e coberturas do solo.....	33
TABELA 05 - Tipo de solo e classe de fragilidade proposto por Ross (1994)..	34
TABELA 06 - Área de cada classe da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	36
TABELA 07 - Quantificação de cada classe da fragilidade potencial.....	40
TABELA 08 - Quantificação de cada classe de fragilidade emergente.....	41

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AM/FM - *Automated Mapping/Facility Management*

APP - Área de Preservação Permanente

CADD - *Computer Aided Drafting Design*

GPS - *Global Position System*

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LIS - *Land Information System*

MaxVer - Máxima Verossimilhança

MDE - Modelo Digital de Elevação

MNT - Modelo Numérico do Terreno

MSS - *Multispectral 35 Scanner*

NASA - *National Aerospace and Space Administration*

RBV - *Return Beam Vidicom*

SAD69 - *South American Datun 1969*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*

TIN - Rede Triangular Irregular

TM - *Thematic Mapper*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 Fragilidade ambiental	16
2.2 Bacia Hidrográfica	17
2.3 Geoprocessamento	18
2.3.1 Conceitos e aplicações.....	18
2.3.2 Geoprocessamento na tomada de decisões.....	19
2.4 Sistemas de Informações Geográficas	20
2.4.1 Conceitos e aplicações.....	20
2.5 Sensoriamento Remoto	22
2.5.1 Conceitos e aplicações.....	22
2.5.2 Processamento digital de imagens.....	24
2.5.2 Satélite Landsat.....	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 Localização da área de estudo	27
3.2 Materiais	29
3.3 Metodologia	29
3.3.1 Georreferenciamento das cartas topográficas.....	30
3.3.2 Elaboração de mapas base.....	30
3.3.2 Modelo numérico do terreno.....	31
3.3.3 Mapa de declividade.....	32
3.3.4 Mapa de uso e ocupação do solo.....	33
3.3.5 Análise do tipo de solo.....	34
3.3.6 Álgebra de mapas.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

As últimas décadas têm trazido preocupação à sociedade com as mudanças ambientais globais, basicamente associadas à degradação ambiental e as práticas ambientais não sustentáveis. Conforme o uso irracional dos recursos naturais comprometem a sustentabilidade do planeta, a existência humana passa a depender da conservação racional dos recursos naturais (RUSCHEL, 2000).

Os estudos de fragilidade ambiental tem como objetivo identificar unidades ambientais com características comuns em termos de vulnerabilidade aos processos erosivos. Diante disso, é possível avaliar se as ações efetuadas pelo homem (uso e ocupação da terra), no presente ou no passado, podem conviver em harmonia com os condicionantes naturais, assim como realizar simulações em relação a cenários futuros (TAVARES, 2006).

De acordo com Sporn (2001) estudos e investigações que dão suporte à avaliação do meio físico natural, integrando as atividades antrópicas, são considerados de extrema importância no planejamento e ordenamento do uso da terra, compatibilizando o desenvolvimento socioeconômico com a conservação do meio ambiente. A identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental e planejamento do território.

Lorini et al. (1996), ressalta que as geotecnologias tem se mostrado como ferramentas de interesse para a análise da fragilidade ambiental, integrando resultados científicos aos processos de planejamento, implantação e monitoramento de políticas de desenvolvimento através da análise ambiental.

De acordo com Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Relaciona-se com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente) como em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidades erosiva dos solos, quanto antropogênica (mau uso da terra e de intervenções em regimes fluviais).

Portanto, a fragilidade ambiental se caracteriza pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, bem como tipo de solo, declividade, índice de pluviosidade, que é definida como fragilidade potencial. É possível fazer a análise da fragilidade emergente, além de se considerar o fator ambiental, acrescentando-se o elemento humano, o que se caracteriza como a forma que o homem ocupa a terra.

Para realizar a caracterização de fragilidade ambiental de determinada área é necessário analisar integralmente algumas variáveis, como: relevo, solo e vegetação. Através desta análise é possível obter um diagnóstico das diferentes categorias das fragilidades ambientais. Com base nesse diagnóstico, podem ser fornecidos subsídios para a tomada de decisão capazes de diminuir ou mesmo reverter o processo de degradação do meio ambiente.

O crescimento acelerado e desordenado da população, associados ao desenvolvimento das atividades econômicas, aliados a falta de um gerenciamento adequado resultam na deterioração dos recursos naturais. Esse fatores geram problemas como processos erosivos e alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas da ambiência.

A identificação da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica permite avaliar, através de análises isoladas de indicadores dos aspectos físicos do ambiente em estudo e posteriores cruzamentos destes, a intensidade com que este ambiente pode ser explorado sem prejudicar sua dinâmica e seu equilíbrio, levando em consideração suas limitações através dos componentes naturais e antrópicos (GHEZZI, 2003).

A análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Pardo, poderá servir como ferramenta para subsidiar ações que amenizem os prejuízos e riscos à população ribeirinha, e preserve os recursos naturais.

Outro aspecto essencial, que contribui na justificativa deste estudo, é considerada a relativa simplicidade dos materiais utilizados, pois as geotecnologias representam uma forma eficiente de se monitorar as áreas fragilidade ambiental, pois são capazes de gerar informações rápidas, precisas e de baixo custo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral utilizar técnicas de Geoprocessamento para identificação de áreas de fragilidade potencial e de fragilidade emergente da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a caracterização de uso e ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo;
- Hierarquizar os níveis de fragilidade ambiental presentes na Bacia Hidrográfica;
- Elaborar as cartas síntese da fragilidade ambiental potencial e emergente do local;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fragilidade ambiental

De acordo com Costa et al. (2009), a partir do mapeamento da fragilidade ambiental é possível avaliar as potencialidades do meio ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições. Além disso, esse mapeamento constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental.

De acordo com Kawakubo et al. (2005), a fragilidade potencial de uma área pode ser definida como a vulnerabilidade natural que um ambiente apresenta, está diretamente relacionada as suas características físicas como a declividade e o tipo de solo. A fragilidade emergente considera, além das características físicas, os graus de proteção que os diferentes tipos de uso e cobertura vegetal exercem sobre o ambiente.

A geração dos mapas temáticos de fragilidade potencial visa mostrar a pré disposição de um ambiente frente a fatores ambientais naturais como: geomorfologia, geologia e solo, estabilidade em relação à morfogênese e à pedogenese (GRIGIO, 2003).

Segundo Spori (2001), a fragilidade emergente caracteriza-se como aquela onde as atividades antrópicas desestabilizam o equilíbrio dinâmico, áreas onde, as condições naturais das coberturas vegetais foram substituídas por pastagens, plantações, etc. Sendo que a retirada da vegetação possibilita a atuação dos agentes climáticos, principalmente, as chuvas, que agem diretamente sobre os solos gerando processos erosivos e perda da qualidade das águas em função da carga de sedimentos acumulados.

A fragilidade ambiental tem como objetivo principal indicar as potencialidades e limitações do uso e ocupação humana na área de estudo, ou seja, contribuir para o entendimento da realidade espacial, e assim, realizar possíveis intervenções na mesma (SANTOS et al, 2006).

2.2 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica permite a análise e compreensão do comportamento dos elementos naturais que se inter-relacionam, funcionamento da dinâmica natural de determinado ambiente, possibilita a compreensão da geomorfologia, geologia, hidrologia, clima e vegetação de determinada área, bem como esses elementos se relacionam, originando processos e formas da paisagem (SOARES, 2008).

De acordo com Guerra e Cunha (1996), a bacia hidrográfica representa uma excelente unidade de gestão dos elementos naturais e sociais, porque integram a visão conjunta do comportamento das condições naturais e atividades antropogênicas nela desenvolvidas, de modo que as alterações podem gerar alterações, efeitos ou impactos a jusante e nos fluxos energéticos de saída (descarga, cargas sólidas e dissolvidas).

Segundo Pires e Santos (1995) inicialmente o processo de gerenciamento e planejamento de bacias hidrográficas tinha apenas preocupação com a solução de problemas relacionados à água, com a prioridade para o controle de inundações, para o abastecimento doméstico e industrial, irrigação e navegação. Ainda hoje a prioridade em muitos casos continua sendo a água, sem atentar para o manejo adequado dos outros recursos da bacia hidrográfica que influenciam no ciclo hidrológico.

Atualmente, estudo sobre formação, constituição e dinâmica das bacias hidrográficas é de grande importância na recuperação de áreas degradadas, já que boa parte dos danos ambientais que ocorrem estão situados dentro das bacias. É de suma importância analisar os aspectos morfológicos para que as obras de recuperação não sejam apenas temporárias e sem grande eficácia (GUERRA, 2003).

2.3 Geoprocessamento

2.3.1 Conceitos e aplicações

De acordo com ROCHA (2000), com o advento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações georreferenciadas. A ligação técnica e conceitual dessas ferramentas levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos denominado Geoprocessamento.

Seu objetivo principal, segundo Câmara e Medeiros (1998) é fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas determinem as evoluções espacial e temporal de um fenômeno geográfico, bem como as inter-relações entre diferentes fenômenos.

SILVA et al., (1998) definem Geoprocessamento como um conjunto de procedimentos computacionais, que operando sobre bases de dados geocodificados, executam análises, reformulações e síntese sobre os dados ambientais tornando-os utilizáveis em um sistema de processamento automático integrado ao banco de dados.

De acordo com Câmara e Davis (2001) o Geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciado de maneira crescente as áreas da Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográfica (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados.

O Geoprocessamento é constituído pelo conjunto de quatro categorias técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial (Lazarotto, 2002), citado por Benedetti (2006):

1) Técnicas para coleta de informação espacial (Cartografia, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Topografia, Fotogrametria, Levantamento de dados alfanuméricos).

2) Técnicas de armazenamento de informação espacial (Bancos de Dados – orientados a objetos, relacional, hierárquico).

3) Técnicas para tratamento e análise da informação espacial, como Modelagem de Dados, Geoestatística, Aritmética lógica, Funções Topológicas, Redes.

4) Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os SIG, *Land Information System* (LIS), *Automated Mapping/Facility Management* (AM/FM) e *Computer Aided Drafting Design* (CADD).

Teixeira (1997) define Geoprocessamento como uma tecnologia que abrange o conjunto de procedimentos de entrada, manipulação, armazenamento e análise de dados espacialmente referenciados. Sendo o principal objetivo dessa técnica, fornecer ferramentas computacionais, para que os diferentes analistas determinem as evoluções espaciais e temporais de um fenômeno geográfico e as inter-relações entre os diferentes fenômenos.

De acordo com Silva e Zaidan (2010), a tecnologia de Geoprocessamento demonstrou ser uma ferramenta eficaz no que diz respeito à precisão, confiabilidade e velocidade na geração de dados relativos à avaliação ambiental, permitindo a modelagem da realidade ambiental, tornando viável a manipulação de grande volume dados, o seu tratamento e a disponibilização rápida de um universo de informações. Após a criação da base de dados geocodificados, podem ser feitas deduções quanto à extensão territorial e associações causais entre variáveis ambientais.

2.3.2 Geoprocessamento na tomada de decisões

Segundo Mendes (1991), a utilização de técnicas de Geoprocessamento constitui-se em instrumento de grande potencial para estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e água. Nesse contexto, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), se inserem como ferramentas

capazes de manipular e representar os processos ambientais em diversas regiões, de uma forma simples e eficiente, permitindo uma economia de recursos e tempo. Estas manipulações permitem agregar dados de diferentes fontes, bem como, imagens de satélite, mapas topográficos, hidrografia, entre outros. O resultado dessas manipulações normalmente é apresentado sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas.

Autores como Jensen (2009) e Lillesand e Kiefer (2000) relatam que a utilização do geoprocessamento para o mapeamento de ambientes terrestres é uma das aplicações mais antigas, já que geralmente é utilizada como subsídio para outros estudos, como os de monitoramento e de estimativas.

De acordo com Novo (2008), as geotecnologias têm sido utilizados como fonte primária de informações para subsidiar planos de controle e fiscalização de florestas.

De acordo com Miranda (2005):

“A crescente preocupação com a preservação do meio ambiente deve incluir uma tomada de decisão que envolva interações complexas entre diferentes recursos naturais e as sociedades. As inquietações se referem a processos de desertificação, erosão (principalmente em solos agrícolas), monitoramento de espécies em extinção, locais de ocorrência de chuva ácida, poluição de corpos de água, contaminação de aquíferos e solos, mudanças climáticas globais, entre outros. Para mapear e monitorar tais mudanças, bem como planejar respostas apropriadas são necessários programas que possam capturar e armazenar informações sobre os recursos naturais existentes, usando a tecnologia espacial disponível (satélites de sensoriamento remoto) e SIG (MIRANDA, 2005, p.29).”

2.4 Sistemas de Informações Geográficas

2.4.1 Conceitos e aplicações

Para Burrough e McDonnell (1998), os Sistemas de Informações Geográficas são um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar,

recuperar, transformar e visualizar dados sobre um mundo real para um objetivo específico.

De acordo com Hendges (2007), as imagens de um SIG podem ser representadas tanto no formato matricial como vetorial, de acordo com o mundo real, permitindo diversas associações entre as componentes de localização espacial e atributos geográficos, como mostra a Figura 1.

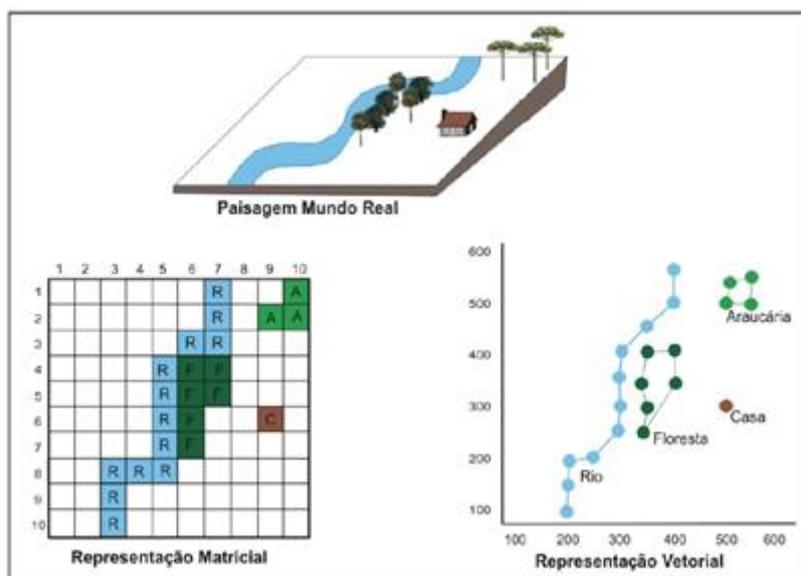


Figura 1 – Representação matricial e vetorial dos elementos da paisagem.
Fonte: Aronoff (1989), adaptado por Hendges (2007).

Segundo o INPE (1997), citado por Moreira (2003), de modo geral, qualquer SIG é capaz de:

- representar graficamente informações de natureza espacial
- representar informações gráficas sob a forma de vetores (pontos, linhas e polígonos) e/ou imagens digitais (matrizes de pixels);
- representar informações com base em critérios alfanuméricos, semelhante a um sistema de gerenciamento de banco de dados tradicional, e com base em relações topológicas, como convergência, adjacência e interceptação;
- realizar operações de aritmética de polígonos, como união, interseção e diferença, bem como gerar polígonos paralelos (*buffers*) ao redor de elementos ponto, linha e polígono;

- limitar o acesso e controlar a entrada de dados através de um modelo de dados previamente construído;
- oferecer recursos para a visualização dos dados geográficos na tela do computador, utilizando uma variedade de cores;
- interagir com o usuário através de uma interface gráfica;
- recuperar as informações geográficas de forma ágil;
- possibilitar a importação e exportação de dado;
- oferecer recursos para a composição de saídas e geração de resultados, sob a forma de mapas, gráficos e tabelas;
- oferecer recursos para o desenvolvimento de aplicativos específicos, de acordo com a necessidade do usuário.

Burrough (1989) caracteriza SIG como sendo aplicativos constituídos de cinco módulos e, segundo ele, cada módulo é um subsistema que permite as operações de entrada e verificação de dados, armazenamento e gerenciamento de banco de dados, apresentação e saída de dados, transformação de dados e interação com o usuário.

2.5 Sensoriamento Remoto

2.5.1 Conceitos e aplicações

Asrar (1989), conceitua o Sensoriamento Remoto como a aquisição de informações e/ou estado de um alvo por um sensor, sem estar em contato físico com ele.

O Sensoriamento Remoto é uma técnica que utiliza sensores, a bordo de plataformas orbitais ou aerotransportadas, na captação e no registro do fluxo de radiação eletromagnética (*REM*) refletido ou emitido por elementos na superfície terrestre, e o converte em sinais passíveis de análise (PONZONI e DISPERATI, 1995).

Novo (2008) caracteriza Sensoriamento Remoto como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, entre

outros, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das informações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra, em suas mais diversas manifestações.

Segundo a autora, os sistemas de Sensoriamento Remoto disponíveis atualmente fornecem dados repetitivos e consistentes da superfície terrestre, os quais são de utilidade para diversas aplicações, dentre as quais destacam-se:

- Urbanas (inferência demográfica, cadastro, planejamento urbano, suporte ao setor imobiliário).

- Agrícolas: condição das culturas, previsão de safras, erosão de solos.

- Geológicas: minerais, petróleo, gás natural.

- Ecológicas (regiões alagadas, solos, florestas, oceanos, águas continentais).

- Florestais (produção de madeira, controle de desflorestamento, estimativa de biomassa).

- -Cartográficas (mapeamento topográfico, mapeamento temático, atualização de terra).

- Oceanográficas (produtividade primária, monitoramento de óleo, estudos costeiros, circulação oceânica, etc.).

- Hidrológicas (mapeamento de terras afetadas por inundações, avaliação de consumo de água por irrigação, modelagem hidrológica).

- Limnológicas (caracterização da vegetação aquática, identificação de tipos de água; avaliação de impacto de uso da terra em sistemas aquáticos).

- Militares e muitas outras.

Ainda, segundo Menezes e Madeira Netto (2001):

“Esses olhos conseguiram superar a visão do homem, estendendo a sua capacidade de identificar os objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda da luz normalmente percebidos. Com as imagens, tomadas em bandas espectrais, contidas no visível, no infravermelho refletido, no infravermelho termal e no domínio das microondas, a superfície terrestre, coberta pela vegetação, pelos afloramentos de rochas, pelos solos e pelos corpos d’água, passou a ser identificada com formas que desconhecíamos (MENEZES e MADEIRA NETO, 2001, p.11).”

Segundo Accioly et al (2002), o Sensoriamento Remoto auxilia no monitoramento do uso da terra em diferentes escalas e para diferentes ambientes, o que mostra a relevância da sua aplicação.

Está baseado na aquisição e interpretação de dados espectrais, medidos remotamente, com o fim de obter informações sobre os alvos da superfície terrestre (JENSEN, 2009; LILLESAND e KIEFER, 2000).

2.5.2 Processamento digital de imagens

De acordo com Crósta (1992), o processamento digital de imagens trata das técnicas utilizadas para identificação, extração, condensação, e realce da feição de interesse para uma determinada finalidade, a partir de uma vasta quantidade de dados que compõe as imagens de satélite. O resultado desse processo é a produção de outras imagens contendo informações específicas, extraídas e realçadas a partir das imagens brutas.

De acordo com Silva (2001), a principal função do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e extração de informações contidas nas imagens, para posterior interpretação. Os sistemas dedicados de computador são utilizados para atividades interativas de análise e manipulação de imagens brutas, de modo que originam outras imagens contendo informações específicas.

De acordo com Novo (2008), processamento digital de imagens cumpre alguns propósitos como:

- Melhorar a qualidade geométrica e radiométrica dos dados brutos;
- Melhorar a aparência visual das imagens, para facilitar a interpretação, realçando as feições de interesse;
- Automatizar processos de extrações de informações, para permitir o rápido tratamento de grandes volumes de dados;
- Permitir a integração de dados de diferentes fontes;
- Facilitar o desenvolvimento de modelos e a geração de produtos que representam a grandeza geofísica ou biofísica para usuários cujo interesse seja apenas aplicar a informação final.

2.4.2 Satélite Landsat

De acordo com Novo (2008), o Programa Landsat representou no século XX um modelo de missão de Sensoriamento Remoto de recursos naturais, principalmente porque permitiu incorporar, em seus sucessivos satélites, características requeridas pelos usuários dos dados. Para o Brasil, esse programa foi de fundamental importância, porque possibilitou consolidar e capacitar uma ampla comunidade de usuários.

Segundo a mesma autora, o Programa constituiu-se em uma série de sete satélites desenvolvidos e lançados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) a intervalos médios de três a quatro anos. Embora os satélites da série Landsat tenham sido concebidos para terem vida útil de dois anos, eles se mantiveram em operação durante muito mais tempo, como é o caso do Landsat 5, que lançado em 1984 se manteve ativo até 2012.

De acordo com Silva (1995), citado por Benedetti (2006), os modelos 1, 2 e 3 do Landsat eram equipados com um sensor *Return Beam Vidicom* (RBV), constituído de três câmaras espectrais, com uma resolução geométrica de aproximadamente 80 metros, e com um sensor MSS (*Multispectral 35 Scanner*), com quatro câmaras espectrais (duas no visível e duas no infravermelho próximo) e uma resolução também de 80 metros. Em 1984, logo após o lançamento do Landsat 4, o mesmo foi desativado devido ao mau funcionamento, e a NASA lançou o Landsat 5, com um novo sistema sensor a bordo, o *Thematic Mapper* (TM), que incorporou uma tecnologia mais avançada que o MSS e passou a registrar dados em sete bandas espectrais (três no visível, um no infravermelho próximo, dois no infravermelho médio e um no infravermelho termal), com resolução espacial de 30 metros (exceto para o canal termal, que é 120 metros).

Conforme Jensen (2009), o posicionamento e a largura das bandas do MSS foram selecionados com base em sua utilidade para inventários de vegetação e estudos geológicos. De forma oposta, as bandas do TM foram escolhidas após anos de análise quanto à sua importância na penetração na água, discriminação de tipos e vigor de vegetação, medidas de umidade de

plantas e solos, diferenciação de nuvens, neve e gelo, e identificação de alteração hidrotermal em certos tipos de rochas, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Características das bandas espectrais do sensor *Thematic Mapper* dos satélites Landsat 4 e 5.

BANDA	CARACTERÍSTICA
Banda 1: 0,45 – 0,52 μm (azul)	Essa banda tem maior penetração em corpos d'água, assim como fornece suporte para análises de uso da terra, solo e características da vegetação.
Banda 2: 0,52 – 0,60 μm (verde)	Essa banda cobre a região entre as bandas de absorção pela clorofila no azul e no vermelho e responde a reflectância da vegetação sadia no verde.
Banda 3: 0,63 – 0,69 μm (vermelho)	Essa é a banda vermelha por clorofila da vegetação verde sadia e é útil para discriminação da vegetação. É também útil para delinear os limites de classes de solos e tipos de rochas. Essa banda pode exibir mais contraste do que as bandas 1 e 2 devido ao efeito reduzido da atenuação atmosférica.
Banda 4: 0,76 – 0,90 μm (infravermelho próximo)	Esta banda é muito sensível à quantidade de biomassa da vegetação e/ou área foliar presente. É útil para identificação de culturas e para realçar contrastes entre solo/cultura e terra/água.
Banda 5: 1,55 – 1,75 μm (infravermelho médio)	Esta banda é sensível a turgidez ou quantidade de água nas plantas. Esta informação é útil em estudos de estresse de culturas e em investigações de vigor da planta. Essa é uma das poucas bandas que podem ser usadas para discriminar entre nuvens, neve e gelo.
Banda 6: 10,4 – 12,5 μm (infravermelho termal)	Essa banda mede a quantidade de energia radiante infravermelha emitida das superfícies. É útil para localizar atividade geotermal, classificação e análise de estresse de vegetação, e para estudos de umidade de solos.
Banda 7: 2,08 – 2,35 μm (infravermelho de ondas curtas)	Essa é uma importante banda para discriminação de formações geológicas de rochas. Ela tem sido efetiva para identificar zonas de alteração hidrotermal em rochas.

Fonte: Jensen (2009), adaptado pela autora.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

Os dados e informações apresentadas neste capítulo são oriundos da página eletrônica do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo, localizada entre as coordenadas geográficas 28°50' a 30° de latitude sul e 52°15' a 53°00' de longitude oeste, na região central do Estado do Rio Grande do Sul é uma das bacias que integram a Bacia Hidrográfica do Guaíba (Figura 02).

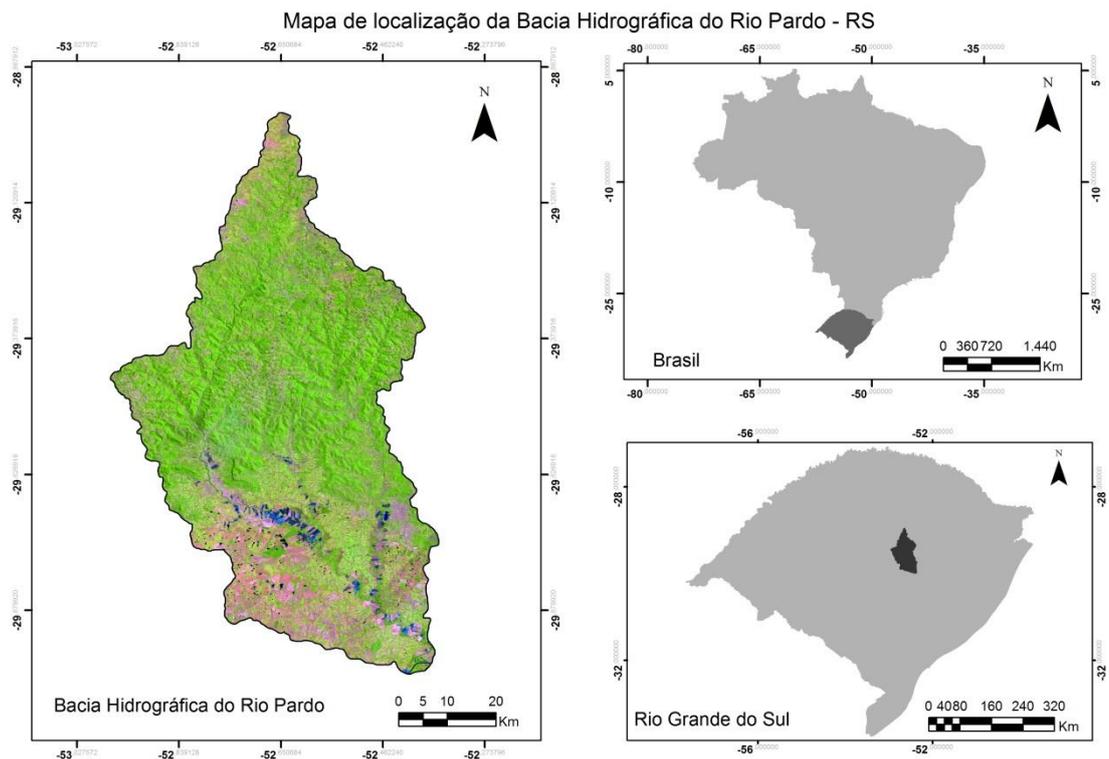


Figura 02 – Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo – RS

A área de drenagem da Bacia do Rio Pardo é de 3.636,79 Km², sua extensão é de aproximadamente 115 km e largura de 35 km. Representa 1,3%

da área do Estado e 4,3% da Região Hidrográfica do Guaíba, abrangendo 13 municípios, sendo estes: Barros Cassal, Boqueirão do Leão, Candelária, Gramado Xavier, Herveiras, Lagoão, Passa Sete, Rio Pardo, Santa Cruz do Sul, Sinimbu, Vale do Sol, Venâncio Aires e Vera Cruz.

Conforme a Ecoplan (2006), os municípios que possuem área dentro da Bacia do Rio Pardo não têm seus limites totalmente encaixados a essa. Apenas três dos 13 municípios com alguma participação territorial na Bacia do Rio Pardo têm suas áreas totalmente inseridas nos limites da bacia hidrográfica, sendo estes: Herveiras, Vale do Sol e Vera Cruz, conforme pode ser visualizado na Tabela 2.

TABELA 2 – Área e percentual de cada município na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

Município	Área total do município na Bacia (km²)	% da área total na Bacia
Barros Cassal	312,79	48,26
Boqueirão do Leão	118,06	44,47
Candelária	495,05	52,47
Gramado Xavier	216,73	99,94
Herveiras	117,84	100,00
Lagoão	183,06	47,71
Passa Sete	234,04	76,79
Rio Pardo	474,34	23,13
Santa Cruz do Sul	336,15	45,76
Sinimbu	490,68	95,91
Vale do Sol	328,05	100,00
Venâncio Aires	18,17	2,35
Vera Cruz	309,66	100,00
Total	3.634,62*	

*A soma das áreas destes municípios não é igual à área total calculada para a Bacia (3.636,79 km²) porque esta considera uma pequena parcela de outros municípios (Soledade e Segredo), devido às diferenças entre a cartografia dos limites municipais e a cartografia sobre a qual foi trabalhada a delimitação da Bacia.

Fonte: Ecoplan (2006)

A Bacia do Rio Pardo compreende a montante, áreas associadas ao Planalto Meridional, predominando atividades de pecuária e pequenas lavouras de subsistência. A jusante da Bacia encontram-se áreas planas compondo a Depressão Central, sendo as várzeas utilizadas para o cultivo de arroz irrigado, enquanto as zonas mais elevadas para pecuária extensiva e cultivos agrícolas,

principalmente de fumo, milho, soja e feijão. Nesta porção é onde se concentram os maiores contingentes populacionais e de atividade industrial na Bacia.

A exploração agrícola intensa e o desmatamento das encostas declivosas causam graves problemas de erosão. A poluição hídrica gerada por efluentes de origem humana e animal e pelo uso de agrotóxicos constitui outro grande problema encontrado na bacia.

3.2 Materiais

Para elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Imagens do satélite Landsat Thematic Mapper 5 órbita 222 e ponto 080 e 081 do ano de 2011.
- Cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) do Rio Grande do Sul, na escala 1/50.000
- Imagens *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) SH-22-V-A, SH-22-V-B, SH-22-V-C, SH-22-V-D
- Dados de unidades de solos mapeados através do levantamento de solos do Rio Grande do Sul, elaborado por Streck (2008).
- Aplicativos computacionais Sistema CR-Campeiro 7 e ArcGis 10.1

3.3 Metodologia

A metodologia utilizada baseia-se na análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados proposta por Ross em 1994. Tal metodologia consiste de estudos básicos do relevo, solo, uso da terra e

cobertura vegetal. Posteriormente, essas informações são analisadas de forma integrada gerando um produto síntese que expressa os diferentes graus de fragilidade que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

Para avaliar os resultados obtidos com a pesquisa, são estabelecidos pesos ou notas a cada situação que as variáveis apresentarem. Desta forma pode-se apresentar parâmetros para cada variável como sendo, muito fraco, fraco, médio, forte ou muito forte, através de valores numéricos de 1 a 5. O produto final do trabalho sintetiza a soma das variáveis, (tipo de uso e cobertura da terra, tipo de solo, declividade) ou seja, o cruzamento de dados para a obtenção do grau de fragilidade a qual está exposta a área de estudo.

3.3.1 Georreferenciamento das cartas topográficas

Inicialmente foram georreferenciadas as cartas topográficas da área de estudo, para que se obtivesse o limite da bacia hidrográfica, curvas de nível e suas respectivas cotas altimétricas. O procedimento foi realizado no software CR – Campeiro 7.

3.3.2 Elaboração de mapas base

Os mapas planialtimétrico e da rede de drenagem foram obtidos após a delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.

A delimitação da bacia hidrográfica foi realizada a partir das imagens SRTM, conforme a metodologia proposta por Pasa et al. (2012). Os dados SRTM consistem em um Modelo Digital de Elevação (MDE) que apresenta resolução espacial (horizontal) de três segundos de arco, aproximadamente 90m, e resolução vertical de um metro. Esses dados são disponibilizados no formato “*raster*”, em que cada pixel possui um determinado valor altimétrico.

Inicialmente realizou-se o preenchimento das imperfeições do Modelo Digital de Elevação através do comando “*Fill*”. Brandão e Santos (2009),

relatam que essas imperfeições consistem em áreas rodeadas por elevações com cotas superiores, que podem ser associadas às depressões, e que podem ser consideradas impedimentos ao escoamento da água. Logo, realizou-se um arquivo raster de drenagem a partir do comando “*con*”, e para que fosse gerado o *shapfile* da hidrografia, utilizou-se a ferramenta “*stream to feature*”.

Através do comando “*stream link*”, foram adicionados valores a cada trecho das drenagens, correspondentes a direção de fluxo da bacia, e com o comando “*watershed*” a bacia hidrográfica foi delimitada automaticamente.

Logo, as cartas topográficas serviram de apoio para análise considerando que a delimitação automática da bacia estivesse correta, onde foram analisados os pontos mais altos considerados os divisores de água da bacia.

3.3.3 Elaboração do Modelo Numérico do Terreno

Segundo Padilha (2008), o modelo numérico do terreno (MNT) ou modelo digital de elevação (MDE), é uma imagem onde cada pixel possui o valor de z de altitude correspondente aos valores de x e y. Esses modelos são gerados a partir da interpolação das curvas de nível.

No presente trabalho a interpolação utilizada foi uma Rede Triangular Irregular (TIN), onde a elevação digital foi convertida em um modelo do terreno no qual a superfície é coberta por triângulos conectados. A partir dessa modelagem as arestas dos triângulos, permitem que as informações morfológicas, bem como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, a modelagem da superfície do terreno preservando as feições geomorfológicas da superfície. Adotou-se intervalos de 20 em 20 metros de equidistância entre as curvas de nível.

Com a geração do MNT foram elaborados os mapas de hipsometria e declividade, além do que, foi possível obter uma representação muito próxima da topografia existente no local, com detalhes da formação e do relevo a partir da representação tridimensional.

3.3.4 Mapa de Declividade

A declividade pode ser considerada um importante fator de análise no estudo da fragilidade ambiental de um local pois, os processos erosivos podem ser acelerados conforme a declividade da bacia. Entretanto, esse fator não pode ser analisado de forma isolada, mas sim combinado com alguns fatores como tipo de uso e ocupação da terra do local. (PADILHA, 2008)

No presente trabalho utilizou-se a classificação proposta por Ross (1994), conforme a Tabela 03.

Tabela 03 – Fragilidade das classes de declividade conforme Ross (1994)

Classes de Declividade	Classes de Fragilidade
Até 6%	Muito Baixo
De 6 a 12%	Baixo
De 12 a 20%	Médio
De 20 a 30%	Alto
Maior que 30%	Muito Alto

Fonte: Ross, 1994

Segundo De Biasi (1992), citado por Nascimento (2009) os dados de declividade são obtidos através da seguinte fórmula:

$$D1 = \frac{n \times 100}{E}$$

Onde:

D= Declividade, em porcentagem;

n = Equidistância das curvas de nível (desnível altimétrico).

E= Espaçamento entre as curvas de nível (distância horizontal).

3.3.5 Mapa de uso e ocupação da terra

Para realizar a análise do tipo de uso e ocupação da terra foram utilizadas imagens do satélite Landsat Thematic Mapper 5, com resolução espacial de 30m, as quais são disponibilizadas gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A escolha justifica-se pela resolução adequada ao tipo de mapeamento realizado.

Para classificação da fragilidade ambiental, o tipo de uso e cobertura do solo foi definida conforme a metodologia proposta por Ross, de acordo com a Tabela 04.

Tabela 04 – Classes de Proteção dos usos e coberturas do solo

Tipo de cobertura	Classes de Fragilidade
Florestas, matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.	Muito Baixo
Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (Mata secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata homogênea de Pinos densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau	Baixo
Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.	Médio
Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento.	Alto
Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.	Muito Alto

Fonte: Ross, 1994

As imagens do satélite Landsat são disponibilizadas originalmente no formato GeoTiff, passível de serem importadas diretamente no ArcGis. Inicialmente as imagens de satélite foram georreferenciadas no CR – Campeiro 7, conforme dados das cartas topográficas.

A partir do limite da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo realizou-se a classificação digital supervisionada, que de acordo com Venturieri e Santos (1998) consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe. Neste sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação das imagens orbitais. A técnica utilizada neste estudo foi a do algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança), que agrupa os pixels que provavelmente pertençam a uma mesma classe de interesse.

3.3.6 Análise do tipo de solo

A variedade de tipos de solos e sua distribuição espacial influenciam na eficiência do uso e ocupação, e na intensidade dos impactos ambientais. Assim como a declividade, os mesmos não podem ser avaliados isoladamente. No presente trabalho, foram utilizados dados do mapeamento de solos do Rio Grande do Sul, elaborado por Streck et al (2008).

Logo, foram classificados conforme a metodologia proposta por Ross, como apresentado na Tabela 05.

Tabela 05 - Tipo de solo e classe de fragilidade

Tipo de solo	Classes de Fragilidade
Latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo textura argilosa	Muito Baixo
Latossolo amarelo e vermelho amarelo textura médio/argilosa	Baixo
Latossolo vermelho amarelo, Terra roxa, Terra Bruna, Podzólico vermelho-amarelo textura	Médio

média/argilosa			
Podzólico	vermelho-amarelo	textura	Alto
média/arenosa, cambissolos			
Podzólicos com cascalho, Litólicos e areias quartzosas.			Muito Alto

Fonte: Ross (1994)

3.3.7 Álgebra de mapas

Para a elaboração dos mapas temáticos utilizou-se a Álgebra de Mapas, que consiste no cruzamento dos mapas realizado no ArcGis, na opção “*spatial analyst – overlay – weighted overlay*”, onde é realizado a sobreposição de vários mapas utilizando uma escala comum e pesos para cada classe conforme sua importância.

A Fragilidade Potencial da bacia hidrográfica do Rio Pardo foi obtida a partir da realização do cruzamento dos dados de solos e de declividade, sendo que a mesma foi classificada em cinco diferentes níveis que são: muito fraca, fraca, média, forte e muito forte.

A Fragilidade Emergente foi obtida através da soma das características naturais consideradas para obtenção da Fragilidade Potencial, tipos de solos e declividade, e as características da ação antropogênica, neste caso os tipos de uso e cobertura do solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que a bacia hidrográfica do Rio Pardo possui uma extensão de 113,5 km, sendo a floresta a classe de maior abrangência, com um percentual de 41% da área total da bacia, seguido pela classe solo exposto e urbanização que representam uma área de 24%, conforme pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6 – Área de cada classe da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

Classe	Área (km²)	Área (%)
Agricultura	18,16	16
Agricultura irrigada	1,13	1
Campo	14,75	13
Floresta	46,53	41
Recursos hídricos	5,67	5
Solo exposto e urbanização	27,24	24
Total	113,5	100

Fonte: Elaborado pela autora

A bacia hidrográfica do Rio Pardo pode ser caracterizada pelas duas formas de ocupação do solo mais relevantes: a ocupação natural (florestas e campos) e a ocupação agrícola, de modo que a área apresenta os 5 graus de fragilidade (Figura 03). Pelo fato desta bacia estar inserida em uma região que abriga áreas remanescentes da Mata Atlântica, em ambiente ainda preservado, constatou-se, que apesar da preservação, a agricultura é bastante significativa, expandindo para Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal.

A Lei Federal 12 651/2012, estabelece as normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal, entre outros.

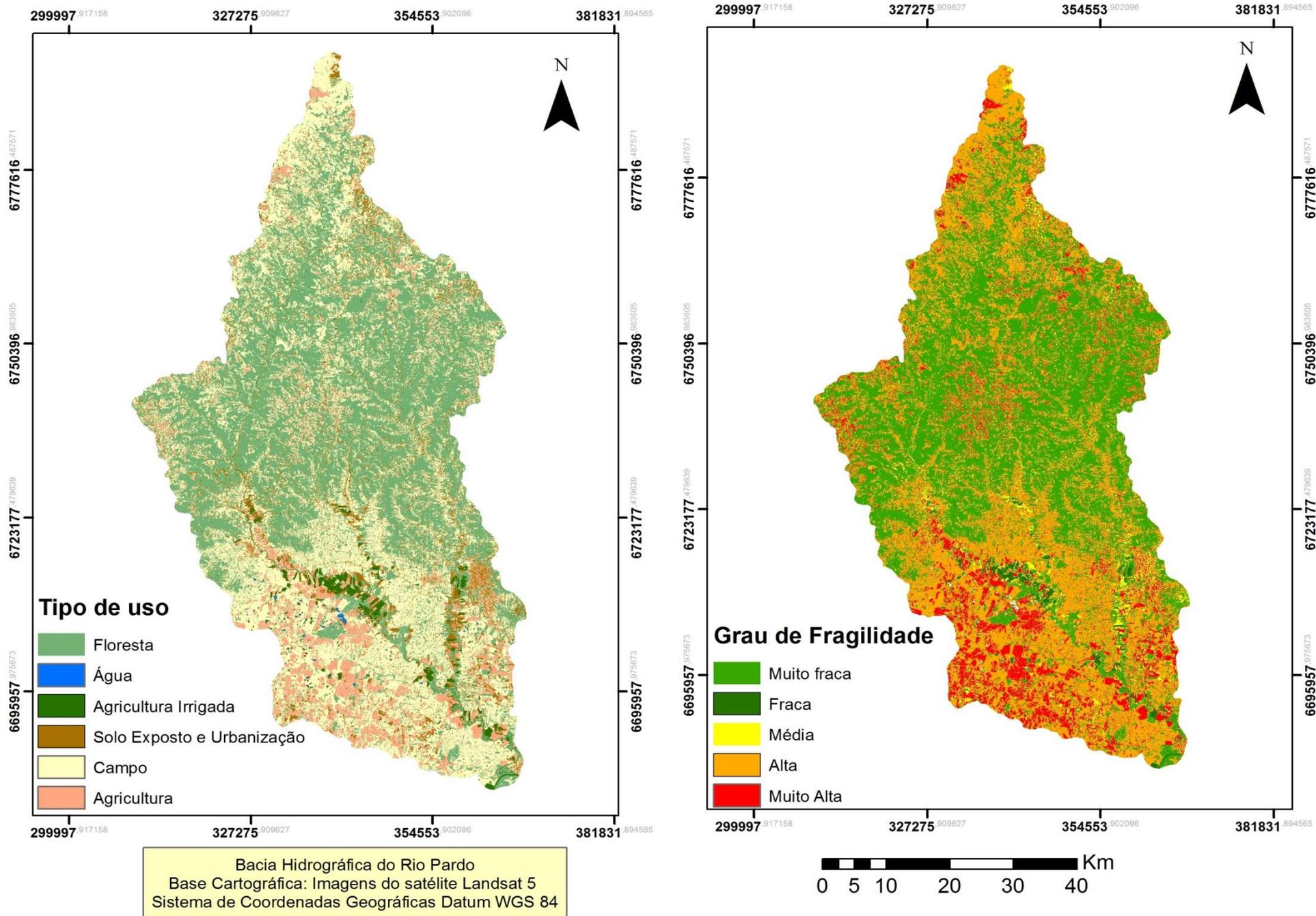


FIGURA 03 – Mapa temático de uso e ocupação do solo e grau de fragilidade

De acordo com a referida lei, Área de Preservação Permanente (APP) é definida como área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Além disso, esta lei determina a largura das faixas marginais dos cursos de água a serem preservados.

A bacia hidrográfica apresenta quatro graus de fragilidade referentes à classificação das unidades de solo, conforme pode ser visualizado na Figura 04.

As classes que englobam a maioria dos solos presentes na bacia, são de fragilidade alta e muito alta, que representam aproximadamente 65% do seu total, podendo ser encontrada desde o planalto até a região da depressão da bacia, salientando assim a necessidade de um manejo adequado.

A Bacia Hidrográfica do Rio Pardo apresenta um formato alongado no sentido norte-sul, a extensão do curso principal atinge 182 km, sendo sua declividade média de $3,9\text{m.km}^{-1}$.

A topografia e o relevo do local apresentam grandes desníveis entre as partes altas e baixas, da ordem de 400 a 500m.

De acordo com Ross (1994) os valores de declividade indicam as características do relevo que geram energia potencial para a ocorrência de processos geomorfológicos, como erosão laminar e deslizamentos.

A fragilidade potencial é síntese das características naturais do local de estudo, sem avaliar a intervenção antropogênica.

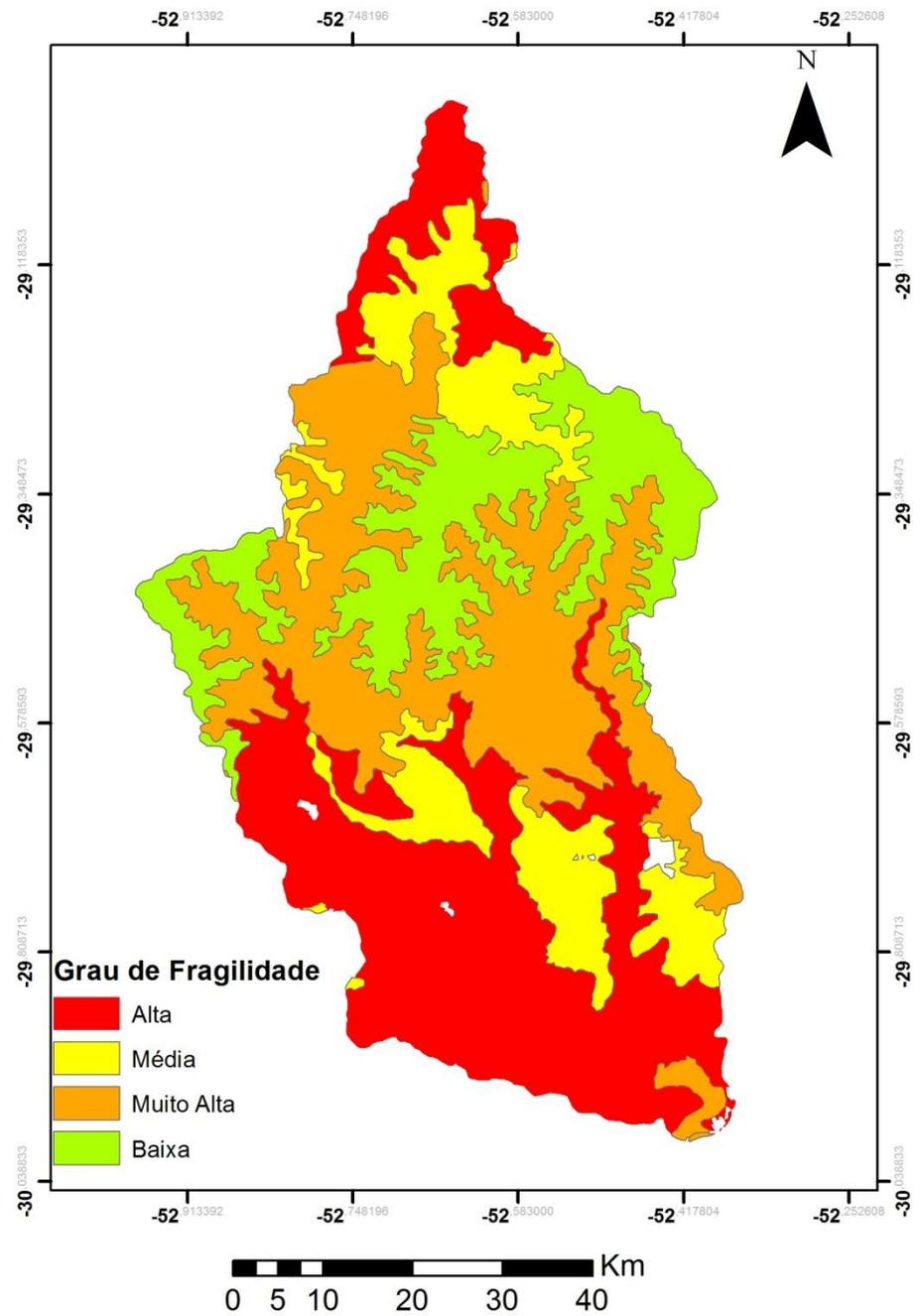
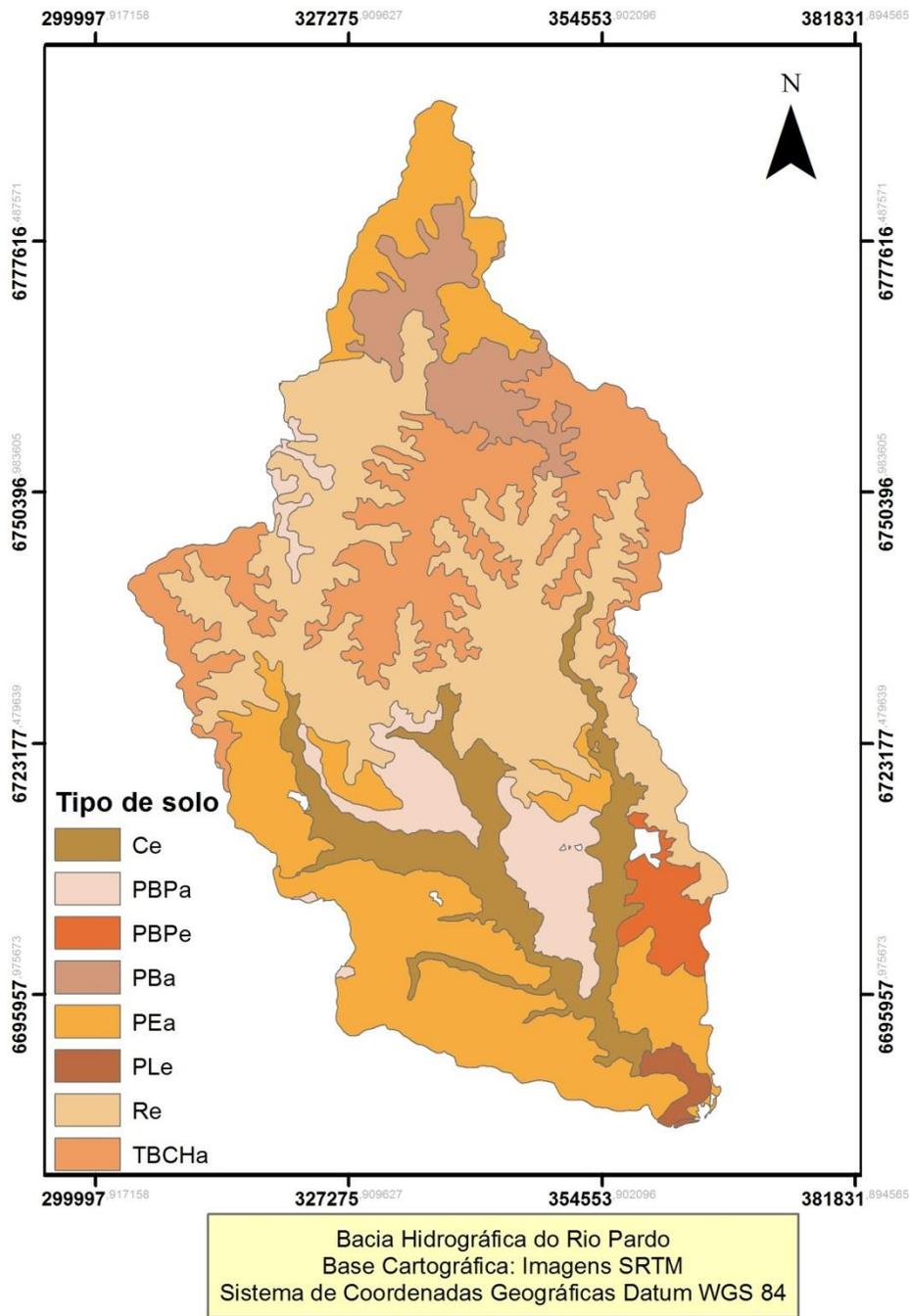


FIGURA 04 – Mapa temático de tipo de solo e grau de fragilidade

A classe mais representativa da fragilidade potencial foi muito alta com 44,9%, seguida pela alta com 30,7% em relação a área total, o que pode ser visualizado na Tabela 07.

Tabela 07- Quantificação de cada classe da fragilidade potencial

Fragilidade Potencial	Área (km²)	Percentual (%)
Muito baixa	4,53	3,9
Baixa	11,51	10,2
Média	11,71	10,3
Alta	34,77	30,7
Muito Alta	50,94	44,9

Fonte: Ross, 1994

A classe alta e muito alta ocorrem distribuídas em diversas áreas da bacia, de modo que em grande parte da bacia há presença de grandes áreas com declividade maior que 20%.

A variedade de tipos de solos e sua distribuição espacial influenciam na eficiência dos usos e ocupações, e na intensidade dos impactos ambientais. Os argissolos e cambissolos apresentam drenagem inferior, principalmente a partir de 40 cm de profundidade, o que amplia a possibilidade de ocorrência de processos erosivos.

Portanto, áreas com este tipo de solo associado a declividades de 0 a 12% foram classificadas com Fragilidade Potencial Alta. Quando a ocorrência deste solo está associada a declividades acima de 12%, as áreas foram nomeadas como Fragilidade Potencial Muito Alta.

O formato alongado no sentido montante-jusante, e a mudança brusca de altitudes do terreno natural, é fator determinante para acelerar o escoamento das águas, reduzindo as possibilidades de infiltração e retenção natural, ampliando os processos erosivos.

O mapa de fragilidade ambiental potencial é uma síntese da análise integrada da declividade, tipo de solo e uso e cobertura da terra, de modo que os atributos foram analisados com o mesmo peso na análise.

De acordo com Moreno (1972), é importante analisar o uso da terra como subsidio básico de planejamento. A identificação de diferentes paisagens

geográficas possibilita a previsão de ampliação de áreas cultiváveis, seus respectivos problemas e soluções, determinando áreas prioritárias, possibilitando os mais diversos usos e ocupação do solo, como por exemplo, agropecuária, silvicultura, entre outros.

A partir do mapeamento da fragilidade emergente, verificou-se que a classe predominante é baixa, com aproximadamente 57,57% em relação à área total, seguida pela classe média responsável por 28,75% da área total, como pode ser visto na Tabela 08.

Tabela 08- Quantificação de cada classe de fragilidade emergente

Fragilidade Emergente	Área (km²)	Percentual (%)
Muito baixa	12,89	11,36
Baixa	65,30	57,57
Média	32,61	28,75
Alta	1,61	1,42
Muito Alta	1,02	0,9

Fonte: Ross, 1994

As áreas de baixa fragilidade potencial ocorreram nas áreas de curso médio a superior da bacia, predominando áreas florestadas.

A bacia hidrográfica do Rio Pardo possui considerável presença de vegetação florestal, com boa distribuição em áreas de maior declividade. Este fator possibilita a proteção do solo contra os processos erosivos naturais, e é considerado fator positivo para proteção ambiental das áreas ribeirinhas.

As áreas de maior fragilidade coincidiram com as áreas onde predominam a classe solo exposto e urbanização. Existe uma sazonalidade da produção agrícola em função do clima da região e do tipo de cultivo, no período que o solo não está exposto. A classe de fragilidade ambiental emergente muito alta apresenta um decréscimo, ocasionando um aumento da classe média a alta, correspondente às áreas de maior ocorrência de atividades agrícolas.

A avaliação dos resultados apresentaram diferentes respostas aos aspectos determinantes da fragilidade potencial e emergente, conforme visualiza-se na Figura 05.

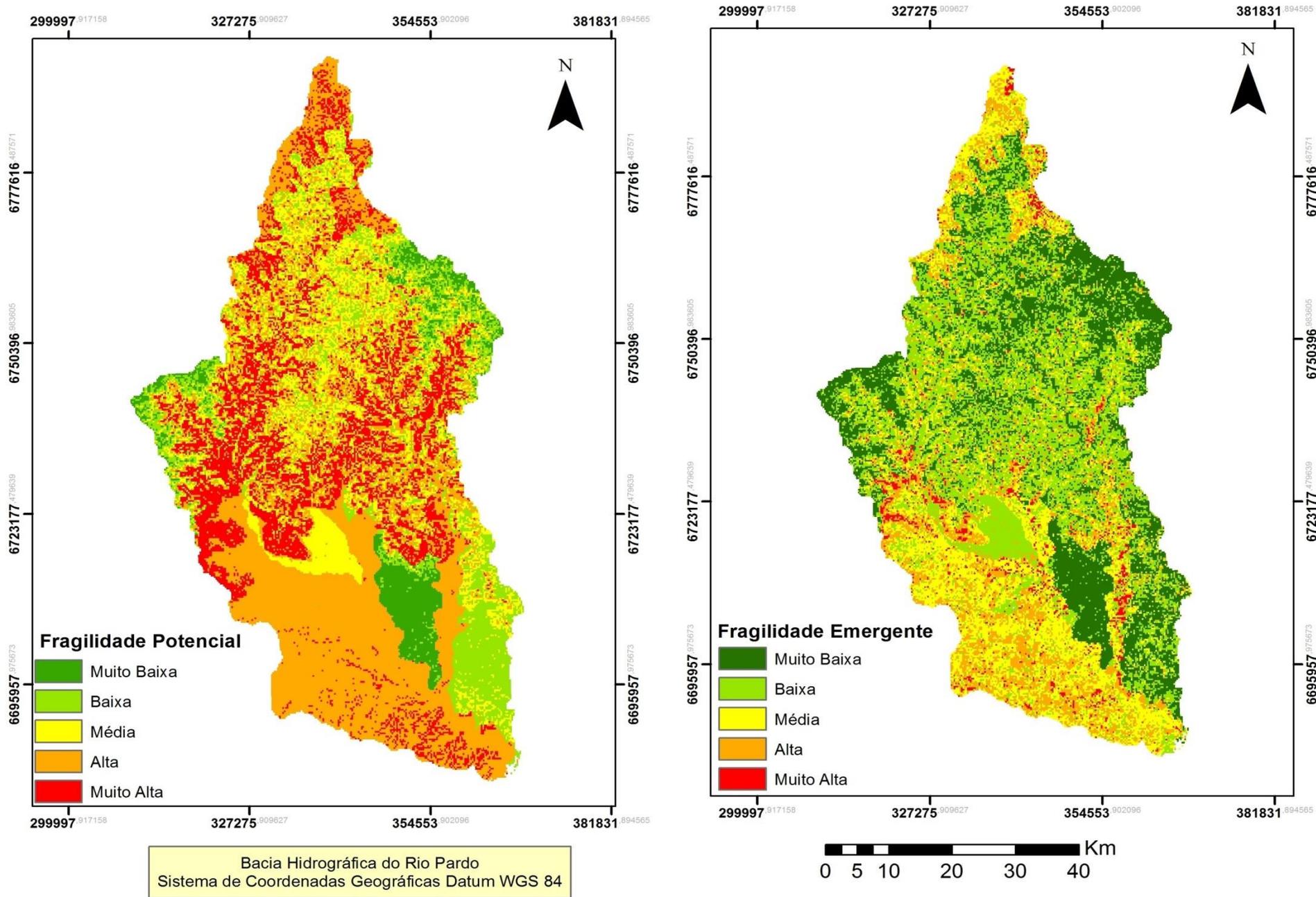


FIGURA 05 – Mapa temático de fragilidade potencial e fragilidade emergente

De acordo com Tamiosso (2011), os estudos de fragilidades ambientais vêm sendo largamente utilizados, como é o caso do Projeto que está sendo desenvolvido na bacia do Rio Uruguai, intitulado “Desenvolvimento Metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise de Viabilidade de Hidrelétricas” – FRAG-RIO.

Padilha (2008), caracterizou a fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande, com a finalidade de auxiliar a implantação de políticas públicas no local de estudo.

No presente trabalho constatou-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Pardo possui alta susceptibilidade aos processos naturais desestabilizadores que estão relacionados à processos erosivos.

A maioria da ocupação com solo exposto e urbanização ocorreu em Cambissolos, solos de permeabilidade muito baixa, com pouca profundidade, sujeitos a erosão e risco de degradação.

No estudo desenvolvido por Nascimento (2009), a declividade acentuada das vertentes conferiu uma elevada suscetibilidade à erosão do tipo desestabilização de vertentes, tais como escorregamentos e movimentos de massa, ligados à quantidade de chuvas, à inclinação das camadas e à cobertura vegetal. Essa tendência de escorregamentos está ligada a desmatamentos, originados, tanto pela atividade agrícola empregada, como também a atividades ligadas à ocupação urbana.

Embora a presença da vegetação natural seja notável em toda a Bacia do Rio Pardo, a sua redução ao longo do tempo é um fator preocupante, pois expõe os solos aos fatores de degradação ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia hidrográfica do Rio Pardo apresenta uma fragilidade potencial alta, e em contrapartida uma fragilidade emergente baixa. Isso deve-se ao fato do local apresentar boa parte da cobertura vegetal nativa preservada.

Os resultados obtidos mostram a importância de se implantar na área um plano de manejo, de uso e ocupação sustentável, considerando as potencialidades e fragilidades da área.

Destaca-se também a relevância de estabelecer um plano de gerenciamento tanto para os critérios de uso e ocupação da bacia, quanto na caracterização das áreas de maior e menor fragilidade ambiental. Deste modo, seria possível fornecer subsídios para o planejamento da Bacia Hidrográfica.

Nesse sentido, é de vital importância preocupar-se com a ordenação do uso dos recursos naturais que ainda restam e atentar para o fato de que estes recursos sejam utilizados de forma racional visando a sua preservação.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J. O.; COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N. O papel do sensoriamento remoto na avaliação e no monitoramento dos processos de desertificação do semi-árido brasileiro. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e sensoriamento Remoto, 1., 2002, Aracaju. **Anais...** Campinas.

ASRAR, G. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York : Wiley, 1989. 734p.

BENEDETTI, A. C. P. Modelagem dinâmica para simulação de mudanças na cobertura florestal das serras do sudeste e campanha meridional do Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria - RS. 2010.

BRANDÃO, T.F., SANTOS, R.L., O uso de imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial). Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil 25-30 de abril, 2009. Inpe, p. 4663-4670.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1989. 194p.

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Clarendon Press, 1998. 333p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. de. Princípios básicos em Geoprocessamento. In: ASSAD. E. D. ; SANO E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 3-11.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução ao geoprocessamento**. 2001. Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/>>. Acesso em: 01.ago 2013

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 1992, 173P. Tese (Doutorado Geociências) - Universidade de Campinas, Campinas, 1992.

COSTA, N. M. C. da; COSTA, V. C. da ; SANTOS, J. P. C. dos 2009 **Definição e Caracterização de Áreas de Fragilidade Ambiental, com Base em Análise Multicritério, em Zona de Amortecimento de Unidades de Conservação**. In: 12º Encuentro de Geógrafos de América Latina - EGAL 2009, 2009, Montevideo - Uruguai. 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina - Caminando en una América Latina en transformación, 2009.

DE BIASI, M. **A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção**. Revista do Departamento de Geografia. v. 6. São Paulo: USP, 1992.

ECOPLAN. Consolidação do conhecimento sobre os recursos hídricos da Bacia do Rio Pardo (Etapas A e B) e elaboração do programa de ações da sua bacia do Rio Pardo (etapa C). Porto Alegre: DRH/SEMA, 2005, 226 p. (Relatório final da etapa B).

GHEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Bahia de Antonina – PR, com o auxílio de geoprocessamento. 2003. 64f.** Dissertação (Mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

GRIGIO, A. M.: **Aplicação do sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica na determinação da vulnerabilidade natural e ambiental do Município de Guaramé (RN): simulação de risco às atividades da indústria petrolífera:** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. UFRN. 2003. 230p.

GUERRA, A., CUNHA, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1996.

GUERRA, A. **A contribuição da geomorfologia no estudo dos recursos hídrico.** Bahia Análise & Dados Salvador, v. 13, n. ESPECIAL, 2003.

HENDGES, E. R. **Modelos estocásticos da dinâmica da paisagem florestal e simulação de cenários para o Estado do Rio Grande do Sul no período de 1988 a 2020.** 2007. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador)... [et al.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 598p.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHUARI, A.; ROSS, J. L.S. **Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, abril 2005, Goiânia-Go. Anais. São José dos Campos INPE, 2005. p.2203-2210.

LAZZAROTTO, D. R. "O que são geotecnologias". 2002. Disponível em: <<http://www.fatorgis.com.br>>. Acesso em: 01.ago 2013

LILLESAND, T.M. ; KIEFER, R.W. Remote Sensing and Image Interpretation. . 2a Edition. New York. John Wiley& Sons. 2000. 721p. Forestry, Lake Buena Vista, Florida, 10-12 January 2000.

LORINI, M. L; PERSSON, V. G.; SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado à conservação de espécies ameaçadas de extinção. In: 1ª SEMANA ESTADUAL DE GEOPROCESSAMENTO, Anais... Rio de Janeiro, 1996.

MENDES, C. A. B., Planejamento Nacional de Recursos Hídricos Baseados no Uso de Técnicas de Geoprocessamento, 9p. disponível em

<http://www.iica.org.br/aguatrab/carlos%20andre%20publões/p1tb08.htm>. acesso em 28 jul. 2013

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento remoto: refletância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262 p.

MIRANDA, J. I., **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, 425p.**

MOREIRA, M. A., **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Universidade Federal de Viçosa, 2003, 307 p., 2ª edição.

NASCIMENTO, M. D., **Fragilidade ambiental e expansão urbana da região administrativa nordeste da sede do município de Santa Maria – RS**. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal da Santa Maria, 181p. 2009

NOVO, Evelyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, SP: Editora Blucher, 2008. 333p.

PADILHA, D. G., **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande-RS**. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, 87 p. 2008.

PASA, D.L., SCHU, M.S, et. Al, **Delimitação automática de microbacias através de dados SRTM**. Anais da 4ª Semana da Geomática, 2012. Santa Maria.p.128-134.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. **Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento**. Ciência Hoje. Rio de Janeiro, 1995. v. 19, n. 110, p. 40- 45.

PONZONI, F. J.; DISPERATI, A. A. **Comportamento espectral da vegetação**. São José dos Campos: INPE, 1995. 37 p. (INPE-5619-PUD/065).

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed.Do Autor, 2000. 220 p.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n.8, p.3-74, 1994.

RUSCHEL, A.R. **Avaliação e valorização de espécies madeiráveis de Floresta Estacional do Alto Uruguai**. Florianópolis: 2000. 116p. Dissertação (Mestrado em Recursos Vegetais Genéticos) – Departamento de Fitotecnia , Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

SANTOS, P. A. F.; CANALI, N. E.; OKA FIORI, C. **Fragilidade Ambiental da bacia do Rio Ipiranga – PR**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/Regional Conference on Geomorphology. Goiânia, 2006.

SILVA, D. A. da. **Sistemas Sensores Orbitais**. São José dos Campos: INPE – CTA, 1998. 69 p.

SILVA, A.M. Curso **Processamento digital de imagens de satélite**. Centro de Eventos da PUCRS – de 07 a 12 de outubro de 2001. Porto Alegre – RS. Disponível em <www.cartografia.org.br>. Acesso em: 19 ago. 2013

SILVA, J.X.; ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. -4ªed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

SOARES, M. R. G. J, **Potencial de uso agrícola e fragilidade ambiental como instrumentos voltados ao planejamento da Bacia do Rio Pequeno – Paraná**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2008.

SPORL, C . **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo-Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**”. Dissertação de Mestrado FFLCH – USP, São Paulo, 2001.

STRECK, Edeimar Valdir et al. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p

TAMIOSSO, C.F., **Fragilidades ambientais aplicadas a gestão da qualidade das águas: estudo de caso da Bacia do Rio Santa Maria, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. 2011. 145p.

TAVARES, J.A., **Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós Graduação em Geografia. 2006. 178p.

TEIXEIRA, M. **Introdução ao Geoprocessamento**. In: SIMPÓSIO SOBRE GEOPROCESSAMENTO, 1997, São Paulo. **Anais..** São Paulo: Espus, 2007. p 1-26.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. dos. Técnicas de classificação de imagens para análise da cobertura vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Org.). **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 351-37.