



**Mapeamento da Fragilidade Ambiental em Áreas do Bioma  
Mata Atlântica: Utilização de Geotecnologias Aplicadas ao Rio Grande do Sul**  
Mapping of Environmental Fragility in Areas of the  
Atlantic Forest Biome: Use of Geotechnologies Applied to Rio Grande do Sul

Juliana Marchesan<sup>1</sup>; Elisiane Alba<sup>1</sup>; Rudiney Soares Pereira<sup>2</sup> & Valmir Viera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal,  
Av. Roraima, 1000, 97105-900, Campus UFSM, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Laboratório de Sensoriamento Remoto,  
Prédio 44 J, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Campus UFSM, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico,  
Prédio 70, Bloco F, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Campus UFSM, Bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil  
E-mails: marchesan.ju@gmail.com; elisianealba@gmail.com; rudiney.s.pereira@gmail.com; valviera@yahoo.com.br

Recebido em: 02/05/2019 Aprovado em: 30/07/2019

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2019\\_586\\_586\\_598](http://dx.doi.org/10.11137/2019_586_586_598)

## Resumo

O presente estudo teve por objetivo mapear as áreas de fragilidade ambiental potencial e emergente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, sob domínio do bioma Mata Atlântica, visando auxiliar no planejamento territorial da área. O mapa de fragilidade ambiental potencial foi obtido por meio do cruzamento dos mapas de declividade, solos, geologia, geomorfologia, Áreas de Preservação Permanente e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica. O mapa de fragilidade emergente, por sua vez, necessitou, além das variáveis citadas, do mapa de cobertura da terra. Os mapas de fragilidade foram confeccionados utilizando cinco classes, sendo estas muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. A fragilidade ambiental potencial muito baixa e baixa predominaram na área de estudo. A primeira abrangeu 53,41% (22.052,37 ha) e a segunda totalizou 40,38% (16.673,00 ha). Com a obtenção da fragilidade emergente encontrou-se maior abrangência da classe baixa, a qual ocupou 64,56% (26.651,50 ha) seguida da fragilidade muito baixa (23,47% referente à 9.687,86 ha). Assim, concluiu-se que a área de estudo apresentou em sua maior extensão fragilidade potencial e emergente baixa e muito baixa. Os mapas gerados neste estudo poderão auxiliar no planejamento e ordenamento territorial da área.

**Palavras-chave:** Planejamento territorial; Geoprocessamento; Arroio Jaquirana

## Abstract

The present study aimed to map the areas of potential and emerging environmental fragility in the Arroio Jaquirana sub-basin, Rio Grande do Sul, under the control of the Atlantic Forest biome, in order to assist in the territorial planning of the area. The map of potential environmental fragility was obtained by crossing the slope maps, soils, geology, geomorphology, Permanent Preservation Areas and priority areas for the conservation of the biodiversity of the Atlantic Forest biome. The emerging fragility map, in turn, required, in addition to the variables cited, the map of land cover. The fragility maps were made using five classes, being very low, low, medium, high and very high. The very low and low potential environmental fragility predominated in the study area. The first one comprised 53.41% (22,052.37 ha) and the second one totaled 40.38% (16,673.00 ha). With the emergence of emergent fragility, it was found that the low class was larger, which occupied 64.56% (26,651.50 ha) followed by very low fragility (23.47% referring to 9,687.86 ha). Thus, it was concluded that the study area presented, to its greatest extent, potential and emergence fragility low and very low. The maps generated can help in the planning and territorial planning of the area.

**Keywords:** Territorial planning; Geoprocessing; Arroio Jaquirana



## 1 Introdução

A exploração dos recursos naturais para fins de extrativismo, pecuária extensiva, agricultura e expansão urbana acarretaram no desmatamento da floresta nativa (Bacha, 2004). Dentre os biomas brasileiros com maiores índices de desmatamento tem-se o bioma Mata Atlântica, no qual há, atualmente, escassez de áreas preservadas, sendo considerado assim um dos biomas mais ameaçados (Jenkins *et al.*, 2013).

Originalmente a área coberta por floresta nativa neste bioma era de aproximadamente 1.315.460 km<sup>2</sup>, e, atualmente, restam apenas 12,5% da sua área original, quando contabilizados os fragmentos acima de três hectares (Fundação SOS Mata Atlântica, 2015). Além disso, a floresta apresenta-se altamente fragmentada, sendo 80% dos fragmentos menores que 50 ha (Ribeiro *et al.*, 2009).

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, local de estudo da presente pesquisa, situa-se sob domínio do bioma Mata Atlântica e caracteriza-se pela atividade agrícola. Dessa forma, a floresta nativa se manteve apenas em áreas impróprias para a implementação da agricultura, como declividades elevadas e regiões de preservação de vegetação ciliar (Carmo, 2003). Neste âmbito, o conflito entre a necessidade de preservação da floresta e a exploração econômica aumentam a necessidade de desenvolvimento de planos de gerenciamento para identificar e delimitar as áreas de maior e menor fragilidade ambiental (Padilha, 2008).

Desse modo, tornam-se necessários estudos que visem avaliar a fragilidade ambiental destas áreas, com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão para o melhor planejamento da sub-bacia, indicando as regiões mais frágeis para determinados usos. Segundo Spörl & Ross (2004) a identificação de ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição de diretrizes e ações a serem implementadas no espaço territorial. Conforme Kawakubo *et al.* (2005) o mapeamento da fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas por órgãos públicos no auxílio do planejamento de uma determinada área.

De modo a analisar a fragilidade ambiental é necessário considerar características físicas e as atividades antrópicas desenvolvidas no ambiente em estudo. A fragilidade ambiental potencial se caracteriza pela fragilidade natural a qual considera as características físicas, como solo, declividade, entre outros, sendo possível ainda realizar a análise da fragilidade emergente, que considera, além das características ambientais, o elemento humano, por meio do mapeamento do uso e cobertura da terra (Schiavo *et al.*, 2016).

A obtenção da fragilidade ambiental pode ser realizada por meio das ferramentas do geoprocessamento, utilizando produtos derivados do Sensoriamento Remoto com auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). Estes permitem a integração e o processamento de diversos planos de informação, tornando-se assim, uma ferramenta importante para análise ambiental (Rockett *et al.*, 2014), além de permitir a visualização, consulta de dados e a elaboração de produtos (Megiato, 2011).

Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo mapear as áreas de fragilidade ambiental potencial e emergente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, sob domínio do bioma Mata Atlântica, visando auxiliar no planejamento territorial.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Localização e caracterização da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana (Figura 1) está situada no estado do Rio Grande do Sul e abrange os municípios de Arroio do Tigre, Lagoão, Segredo, Sobradinho e Passa Sete. Localiza-se entre as coordenadas 6.765.314 mN e 6.740.101 mN ao Sul do Equador e 293.051 mE e 326.965 mE a Oeste do Meridiano Central (51°), situada no Fuso 22 S, abrangendo uma área de aproximadamente 41.000 ha. O Arroio Jaquirana é afluente do rio Jacuizinho, o qual desagua no rio Jacuí (Carmo, 2003).

A área de estudo localiza-se na região fisiográfica do Planalto Médio, tendo como principal tipo fitogeográfico a Floresta Estacional Decidual (SEMA, 2003). A área está inserida no COREDE (Conselho

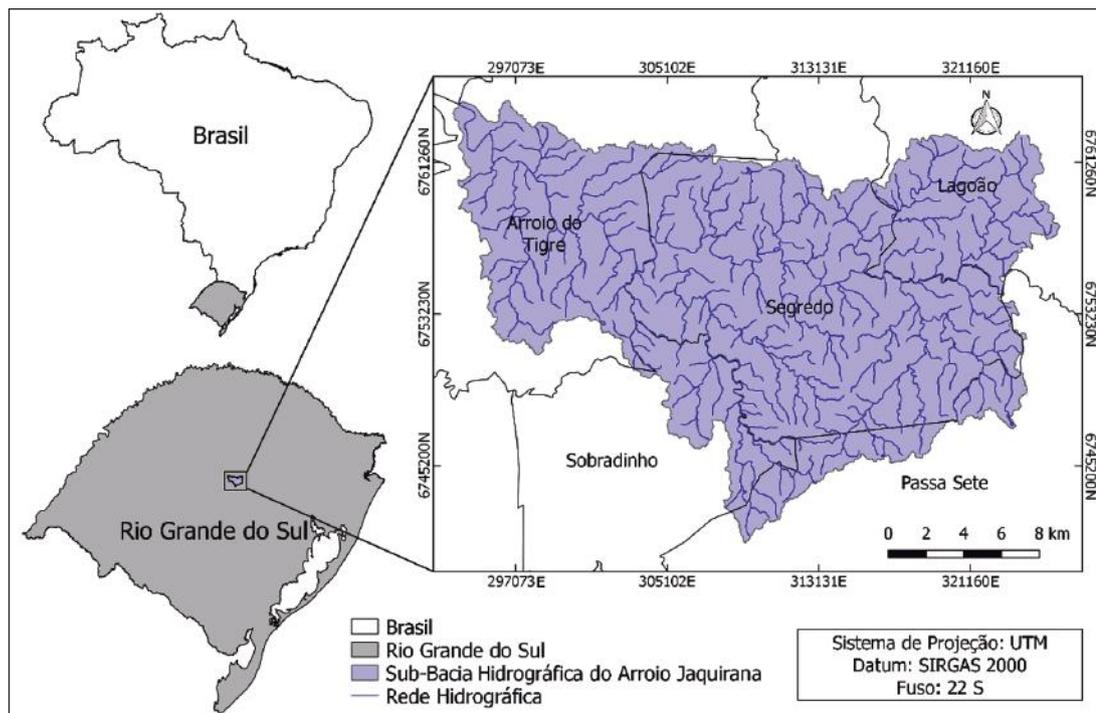


Figura 1 Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

Regional de Desenvolvimento) Vale do Rio Pardo, no qual a economia é de base agrícola, sendo fumo, milho, soja e feijão os principais cultivos (IBGE, 2017). Além destes, a região caracteriza-se pelos plantios florestais, sobretudo pinus e eucalipto, os quais são utilizados como combustível na secagem do tabaco (Farias, 2010).

O clima da região é Subtropical Úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias entre 16°C e 20°C. As precipitações médias anuais variam entre 1.600 mm e 1.900 mm (Alvares *et al.*, 2014).

## 2.2 Delimitação da Área de Estudo

Para a delimitação da sub-bacia do Arroio Jaquirana foi necessário realizar o mosaico de duas imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), de modo a abranger toda a área de estudo, capturadas por meio de sensor radar abordo do ônibus espacial *Endavour* com resolução espacial de 30 m, obtidas gratuitamente pelo USGS (*United States Geological Survey*). Posteriormente, por meio do módulo GRASS, versão 7.0.4, acoplado ao QGis - *Quantum GIS Geographic Information System* (QGis Development Team, 2016), versão 2.18.20, foi realizada a delimitação automática da sub-ba-

cia, utilizando como parâmetro de entrada o mosaico gerado.

## 2.3 Elaboração dos Mapas Temáticos

Os mapas temáticos abrangeram declividade, solos, geologia, geomorfologia, Áreas de Preservação Permanente (APPs) e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica, os quais englobaram as variáveis físicas, ou seja, as que não apresentam interferência humana, necessárias para comporem o mapa de fragilidade potencial. Ainda, elaborou-se o mapa de cobertura da terra, para posterior geração do mapa de fragilidade emergente.

Os mesmos foram obtidos utilizando o programa SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Câmara *et al.*, 1996), versão 5.4.3. No qual foi criado um banco de dados e um projeto com projeção cartográfica UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e Datum SIRGAS 2000. Para todos os mapas temáticos utilizados neste estudo foi empregada a programação em LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico) para a atribuição dos pesos, expostos nas próximas seções.

### 2.3.1 Mapeamento das Variáveis Físicas

A declividade foi obtida utilizando duas cenas SRTM, por meio das quais usou-se os dados altimétricos que possibilitou a geração da declividade em porcentagem. O fatiamento da declividade permitiu obter a classificação da mesma, de acordo com seu grau de fragilidade, em intervalos propostos por Ross (2011), conforme a Tabela 1.

Classes de Fragilidade	Declividade (%)	Peso
Muito Baixa	0 –  6	1
Baixa	6 –  12	2
Média	12 –  20	3
Alta	20 –  30	4
Muito Alta	> 30	5

Tabela 1 Classes de fragilidade dos intervalos de declividade (adaptado de Ross, 2011).

Para a geração do mapa de solos, utilizou-se o *shapefile* disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) na escala 1:250.000. Para tal, foi realizada edição matricial dos polígonos atribuindo classes para os mesmos. Conforme a metodologia de Ross (2011), os solos podem ser divididos em classes de fragilidade, dessa forma adaptou-se a proposta do autor para os solos presentes na área de estudo (Tabela 2).

Classes de Fragilidade	Tipo de Solos	Peso
Muito Baixa	-	-
Baixa	-	-
Média	Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico e típico, Nitossolo Bruno Alumínico úmbrico e típico	3
Alta	Argissolo Bruno acizentado alítico típico	4
Muito Alta	Neossolo Litólico Chernossólico típico	5

Tabela 2 Classes de fragilidade dos solos (adaptado de Ross, 2011).

Os argissolos são caracterizados pela presença de argila de atividade baixa ou alta desde que apresente saturação por bases baixa ou caráter aluminico, sendo de profundidade variável, desde forte

a imperfeitamente drenados (Santos *et al.*, 2018). Dessa forma, os argissolos presentes na área de estudo foram classificados em fragilidades de acordo com a presença de argila, ou seja, solos com maior textura argilosa apresentam menor fragilidade e solos com menor textura argilosa maior fragilidade, seguindo a metodologia de Ross (2011).

Os neossolos, por sua vez, são pouco evoluídos constituídos por material orgânico ou mineral. Os neossolos litólicos constituem solos rasos que não ultrapassam 50 cm de espessura, estando situados sobre a rocha ou sobre um material com 90% ou mais constituído por fragmentos grosseiros (Santos *et al.*, 2018). Neste contexto, estes solos apresentam alta fragilidade devido suas características.

Os nitossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B de textura argilosa ou muito argilosa (Santos *et al.*, 2018). Na área de estudo há ocorrência de nitossolos de textura argilosa média, dessa forma, incluiu-se o mesmo na classe de fragilidade média.

O mapeamento geológico foi realizado por meio do *shapefile* obtido junto ao banco de dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) na escala 1:750.000. A área de estudo é abrangida pelas formações Fácies Gramado e Fácies Caxias, para as quais foram atribuídos pesos conforme a Tabela 3.

Classes de Fragilidade	Unidades Geológicas	Peso
Muito Baixa	-	-
Baixa	Fácies Caxias	2
Média	Fácies Gramado	3
Alta	-	-
Muito Alta	-	-

Tabela 3 Classes de fragilidade das unidades geológicas.

As rochas Fácies Caxias são de composição ácida e apresentam alto teor de sílica em sua composição mineralógica, apresentando-se assim mais resistentes (Lemos, 2014). Segundo a autora, as rochas Fácies Gramado são de composição básica, representadas pelos basaltos, sua estrutura geológica caracteriza-se pela sequência de derrames, apresen-

tando estrutura que permite infiltrações que desestabilizam a rocha. Assim, baseando-se nas características de cada unidade geológica, definiu-se as classes de fragilidade conforme exposto na Tabela 3.

O mapeamento geomorfológico foi realizado utilizando o arquivo vetorial disponibilizado pelo IBGE na escala 1:250.000. Para as unidades geomorfológicas foram atribuídas classes de fragilidade conforme suas características (Tabela 4).

Classes de Fragilidade	Unidades Geomorfológicas	Peso
Muito Baixa	-	-
Baixa	Planalto dos Campos Gerais	2
Média	Serra Geral	3
Alta	-	-
Muito Alta	-	-

Tabela 4 Classes de fragilidade das unidades geomorfológicas.

A unidade geomorfológica Serra Geral está situada nas regiões compostas por rochas vulcânicas básicas, constituídas por basalto que apresentam baixa fragilidade (Bueno, 2015). Esta unidade situa-se principalmente em áreas com declives superiores a 25% e os relevos são bastante abruptos com vales encaixados bem profundos (Luerce *et al.*, 2013).

O Planalto dos Campos Gerais, por sua vez, ocorre sobre as formações vulcânicas ácidas, como os riodacitos. Os quais são resistentes, situam-se em relevo ondulado, em áreas com declividades inferiores a 25% (Luerce *et al.*, 2013).

Foi realizada a delimitação somente das APPs nas faixas marginais dos rios existentes na sub-bacia do Arroio Jaquirana, sendo utilizada a distância de 30 m, visto que os rios não ultrapassaram a largura de dez metros, e as APPs ao entorno das nascentes, com raio de 50 m, conforme o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651 de maio de 2012 (Brasil, 2012). Par tal, foi usado o *shapefile* da rede hidrográfica obtido junto ao laboratório de Geoprocessamento da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), na escala 1:50.000. Nessas áreas atribuiu-se peso cinco, enquadrando-se na classe de fragilidade muito alta. Escolheu-se incluir esta variável com o

intuito de mapear as áreas que são protegidas por lei e devem serem preservadas.

Para o mapeamento das áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica foi utilizado o *shapefile* contendo a delimitação destas áreas disponibilizado pelo MMA (Ministério do Meio Ambiente). Com o mesmo encontrou-se na sub-bacia uma região com prioridade muito alta, desse modo, considerou-se para esta classe o peso quatro, sendo enquadrada assim na classe de fragilidade alta. Escolheu-se atribuir este peso uma vez que a classificação das áreas prioritárias vão de baixa a extremamente alta, assim, caberia a esta última a atribuição do peso máximo. Esta variável foi considerada importante para compor o mapa de fragilidade visto que são áreas do bioma Mata Atlântica que necessitam de atenção quanto ao seu uso do solo, uma vez que, essas áreas são delimitadas com o intuito de manter os remanescentes florestais preservados de modo a conservar a biodiversidade do local.

### 2.3.2 Mapeamento da Cobertura da Terra

Foram utilizadas quatro cenas do sensor REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) abordo do satélite RapidEye, com resolução espacial de cinco metros, capturadas no mês de novembro de 2017. As mesmas foram adquiridas por meio de um projeto entre o Sinditabaco (Sindicato Interestadual da Indústria de Tabaco) e a UFSM (Universidade Federal de Santa Maria).

Em um primeiro momento foi necessário realizar o mosaico das cenas de modo a cobrir a área de estudo. Para o processamento das imagens foi empregado o programa SPRING versão 5.4.3. Em seguida foi aplicada a técnica de contraste de modo a diferenciar os alvos de interesse e assim amostrar as classes permitindo posterior classificação da imagem.

A segmentação, processo que antecede a classificação, foi utilizada de modo a dividir a imagem em regiões. Dentre os métodos de segmentação optou-se pelo método de crescimento de regiões, no qual necessitou-se a definição de dois parâmetros, a similaridade e a área. Para tal, foi escolhida a simi-

laridade dez e área 100, visto que melhor se adequaram a área de estudo. A classificação foi realizada de forma supervisionada por meio do algoritmo *Bhattacharyya* com limiar de aceitação de 99%.

Para a classificação temática foram definidas sete classes: Floresta Nativa, correspondente às áreas de vegetação arbórea que ocorrem de forma natural na região; Floresta Plantada, relativa a áreas ocupadas pela silvicultura, principalmente eucalipto e pinus; Campo, referentes a áreas de pastagem, vegetação rasteira e campo sujo; Agricultura, atribuída as áreas agrícolas cobertas por vegetação; Solo Exposto, referente às áreas agrícolas em preparação ou em pousio; Água, incluindo rios, arroios e açudes; e Área Urbana, composta pelas áreas de aglomerados residenciais. Esta última foi delimitada manualmente de modo a evitar que houvesse confusão espectral com as áreas de solo exposto.

No arquivo temático contendo as classes de cobertura da terra foi realizada a edição matricial com o intuito de ajustar o resultado obtido, desse modo, corrigindo erros obtidos pelo processo de classificação. Para as classe de cobertura da terra foram atribuídos pesos de acordo com a fragilidade de cada uma, conforme exposto na Tabela 5.

Classes de Fragilidade	Cobertura da Terra	Peso
Muito Baixa	Floresta Nativa, Água	1
Baixa	-	-
Média	Floresta Plantada, Campo	3
Alta	Agricultura	4
Muito Alta	Solo Exposto, Área Urbana	5

Tabela 5 Classes de fragilidade da cobertura da terra (adaptado de Ross, 2011).

## 2.4 Mapeamento da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente

A fragilidade potencial compreende as variáveis físicas, ou seja, as que não apresentam interferência humana. Neste contexto, na presente pesquisa, utilizou-se como variáveis a comporem esta fragilidade a declividade, solos, geologia, geomorfologia, APP e áreas prioritárias para conservação. Utilizou-se como base a metodologia proposta por Ross (2011) com algumas adaptações, como a introdução

das variáveis APP e áreas prioritárias para a conservação. Para a obtenção da fragilidade emergente foi adicionado, além das variáveis já citadas, o mapa de cobertura da terra.

Para obter os mapas temáticos de fragilidade de potencial e emergente foi necessário atribuir os pesos pré-definidos às classes temáticas de cada mapa de variável, posteriormente, efetuar a média aritmética entre os valores impostos a essas classes obtendo assim uma grade numérica para cada mapa de fragilidade. Este processo foi realizado utilizando a programação LEGAL disponível no SPRING. O fatiamento da grade numérica em intervalos iguais permitiu obter a fragilidade potencial e emergente em cinco níveis: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

## 3 Resultados

### 3.1 Análise das Variáveis Temáticas

#### 3.1.1 Variáveis Físicas

As características relacionadas com o meio físico, sendo elas, declividade, solos, geologia, geomorfologia, APP e áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade estão dispostas na Figura 2. Na sequência, tem-se a quantificação de cada variável na área de estudo (Tabela 6). Analisando o mapa de declividade (Figura 2) notou-se o predomínio de declividade baixas, com aproximadamente 45% da área ocupada por declives de no máximo 12%. As áreas com maiores declividades, muitas vezes ultrapassando 30% encontram-se nas regiões próximas aos vales e ainda, em morros, onde ocorrem terminais escarpados e abruptos (Lemos, 2014).

Os solos presentes na área de estudo (Figura 2) compreenderam o Neossolo Litólico Chernossólico típico, Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico e típico, Argissolo Bruno acizentado alítico típico e Nitossolo Bruno Alumínico úmbrico e típico, sendo destes o terceiro predominante na área de estudo abrangendo 26.155,20 ha, equivalente à 63,14%. O de menor ocupação foi o Neossolo Litólico com 650,17 ha correspondente à 1,57% da área, o qual situa-se em áreas da Serra Geral com relevos declivosos, ultrapassando 30%. Conforme citado anteriormente, os neossolos são solos mais rasos e menos evoluídos, se comparado aos demais encontrados na área, contudo, devido sua baixa expressividade na área não apresentou grandes influências na análise da fragilidade da área como um todo.

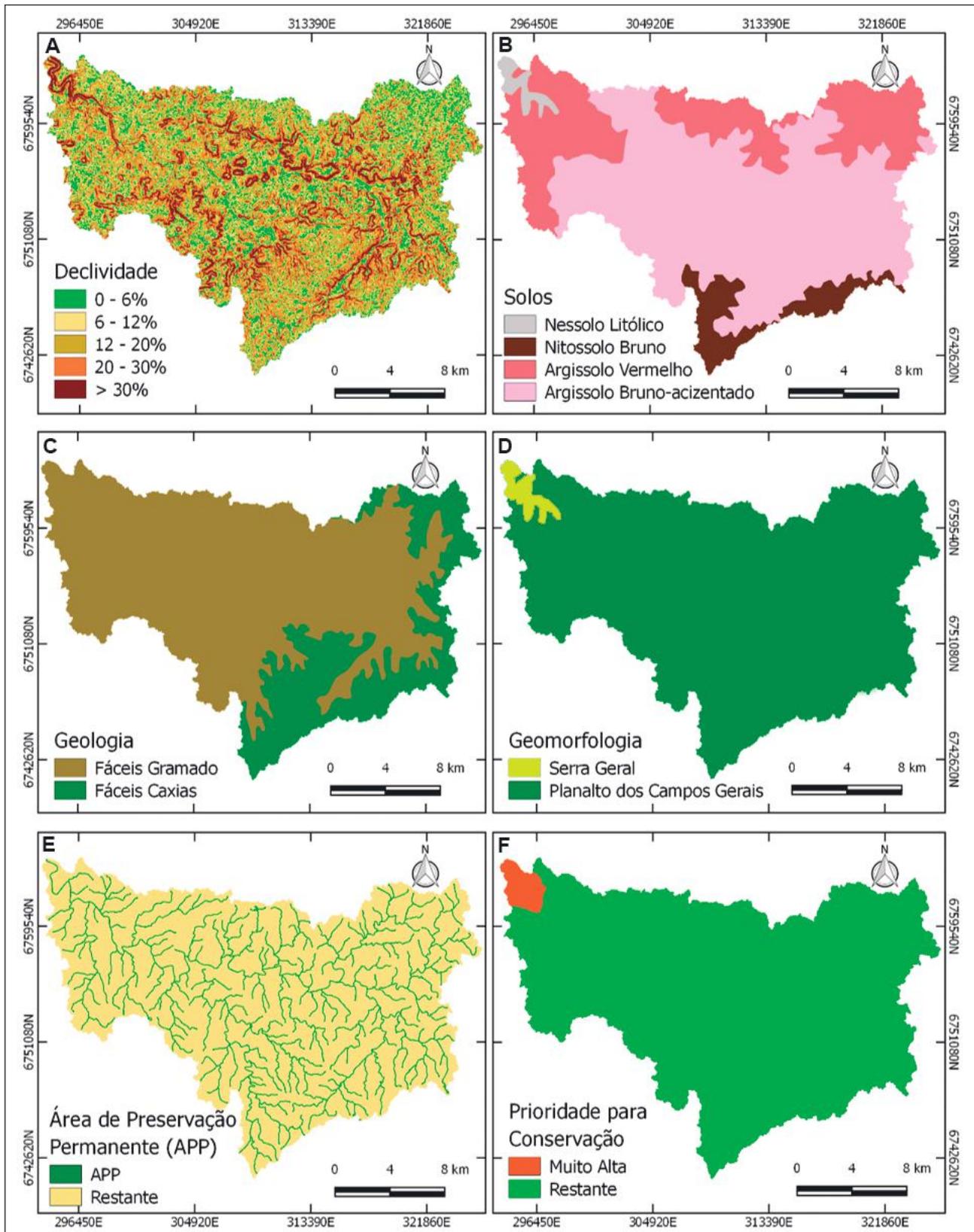


Figura 2 Variáveis físicas da sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil; A. Declividade; B. Solos; C. Geologia; D. Geomorfologia; E. Áreas de Preservação Permanente; F. Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do bioma Mata Atlântica.

Classe Temática	Área	
	ha	%
<b>Declividade</b>		
0 – 6%	6.713,55	16,23
6 – 12%	12.067,08	29,17
12 – 20%	10.935,49	26,43
20 – 30%	6.317,56	15,27
> 30%	5.340,00	12,91
<b>Solos</b>		
Nessolo Litólico Chernossólico típico	650,17	1,57
Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico e típico	1.1617,78	28,05
Argissolo Bruno acizentado alítico típico	26.155,20	63,14
Nitossolo Bruno Alumínico úmbrico e típico	2.998,39	7,24
<b>Geologia</b>		
Fáceis Gramado	31.605,51	76,23
Fáceis Caxias	9.853,60	23,77
<b>Geomorfologia</b>		
Serra Geral	654,56	1,58
Planalto dos Campos Gerais	40.766,98	98,42
<b>Área de Preservação Permanente</b>		
APP	3.510,41	8,47
Restante da sub-bacia	37.949,98	91,53
<b>Áreas Prioritárias para Conservação do Bioma Mata Atlântica</b>		
Prioridade Muito Alta	822,14	1,98
Restante da sub-bacia	40.636,61	98,02

Tabela 6 Quantificação das variáveis físicas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

As unidades geológicas que compõem a sub-bacia são as Fáceis Caxias e Fáceis Gramado, sendo esta última predominante, abrangendo 76,23% (31.605,51 ha) da área total de estudo. Esta unidade ocupa as áreas, em sua maior extensão, também abrangidas pelos solos do tipo argissolo e neossolo. As unidades geomorfológicas, por sua vez, existentes na área de estudo são a Serra Geral e o Planalto dos Campos Gerais, sendo esta última a de maior extensão, ocupando 98,42% (40.766,98 ha) da área. A Serra Geral é de menor representação e está situada no mesmo local ocupado pelo solo do tipo Neossolo Litólico Chernossólico típico, sendo esta área

caracterizada pela elevada declividade, com terrenos de vales profundos.

As APPs, considerando as faixas marginais dos cursos d'água e ao entorno de nascentes, totalizaram 8,47% da área de estudo, equivalente à 3.510,41 ha. Essa variável foi introduzida na análise uma vez que são protegidas por lei e apresentam diversos benefícios para fauna, flora e os cursos hídricos, dessa forma, necessitam serem preservadas. Ainda, utilizou-se as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, as quais totalizaram 822,14 ha (1,98% da área total de estudo) estando inserida na classe de prioridade muito alta de acordo com a classificação do MMA. A inserção desta variável auxilia no entendimento de regiões que devem ser preservadas de modo a assegurar a biodiversidade, desse modo, estas áreas devem ser consideradas frágeis, uma vez que necessitam de atenção perante sua conservação.

### 3.1.2 Cobertura da Terra

De modo a obter a fragilidade ambiental emergente realizou-se a classificação temática da cobertura da terra na sub-bacia do Arroio Jaquirana. A espacialização das classes temáticas pode ser observada na Figura 3.

Por meio da obtenção do mapa foi possível quantificar a área ocupada pelas classes (Tabela 7). A floresta nativa abrangeu 13.086,39 ha equivalente à 31,56% e a floresta plantada ocupou 1.684,56 ha correspondente à 4,06% da área total de estudo, a qual representa plantios de pinus e eucalipto.

A floresta nativa da região se manteve ao longo dos anos em áreas impróprias para o cultivo agrícola, como áreas mais declivosas, e áreas de preservação de matas ciliares (Carmo, 2003). Em complemento, Redin (2011) destacou que a perda da floresta nativa ocorreu principalmente pela expansão agrícola, construções das propriedades e pela utilização da madeira para secagem do fumo, contudo, a pressão sobre a floresta diminuiu com os plantios de eucalipto.

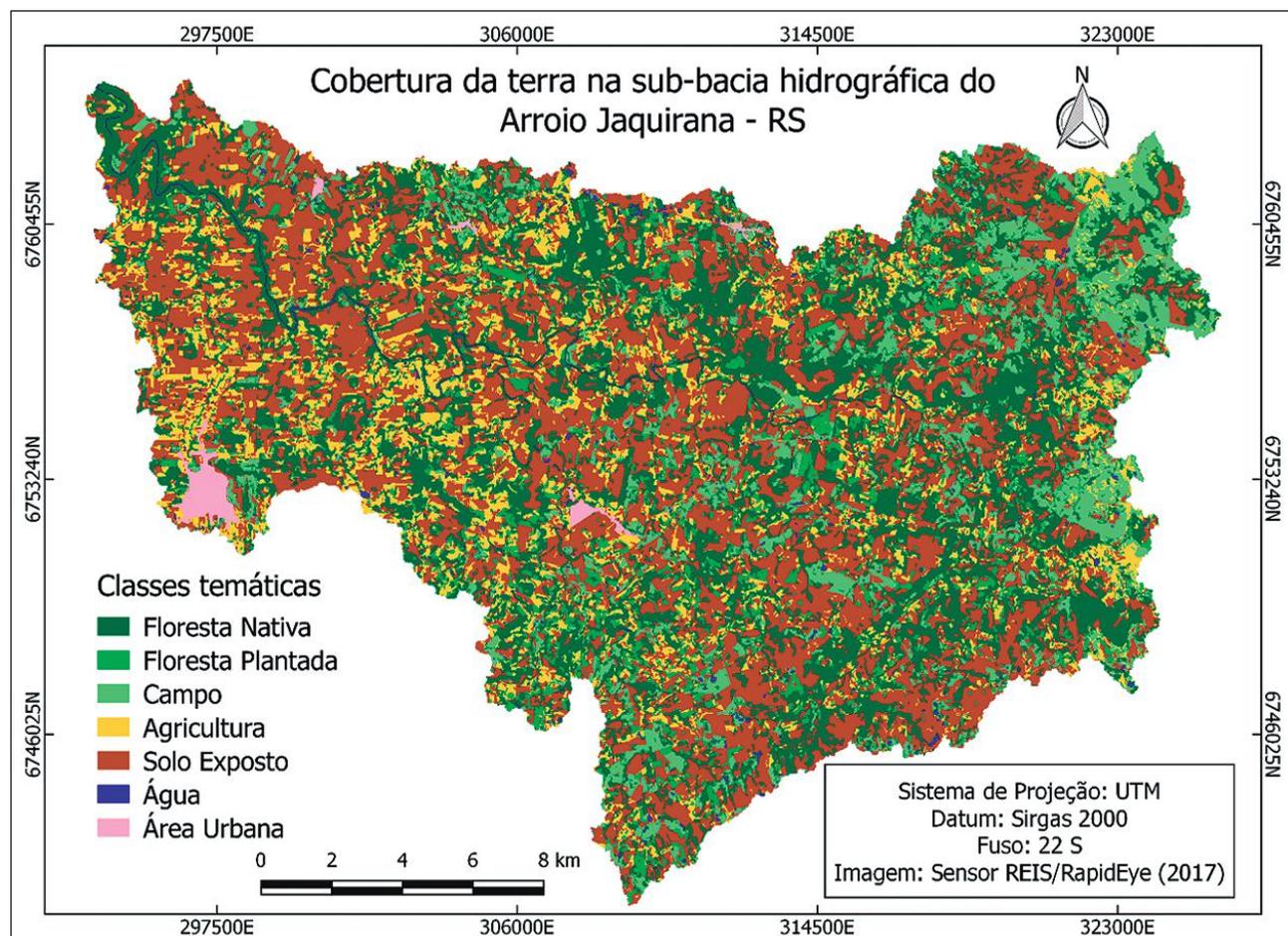


Figura 3 Cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

Classes Temáticas	Área	
	ha	%
Floresta Nativa	13.086,39	31,56
Floresta Plantada	1.684,56	4,06
Campo	3.824,74	9,23
Agricultura	6.261,17	15,10
Solo Exposto	15.964,89	38,51
Água	330,66	0,80
Área Urbana	305,32	0,74

Tabela 7 Quantificação da cobertura da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

As áreas de campo, utilizadas principalmente para fins pecuários, totalizaram 3.824,74 equivalente à 9,23% da sub-bacia. A agricultura abrangeu 6.261,17 ha (15,10%) e a classe solo exposto ocupou 15.964,89 ha (38,51%). A classe solo exposto asso-

cia-se diretamente aos cultivos agrícolas, uma vez que relaciona-se à época do ano em que o solo está sendo preparado para o plantio bem como ao regime de pousio, período que compreende a rotação de culturas. Dessa forma, ambas classes abrangeram mais da metade da sub-bacia, totalizando 53,61% da área correspondente à 22.226,06 ha. Essas áreas são ocupadas principalmente pelos cultivos de fumo, milho, soja e feijão (IBGE, 2017).

Assim, os resultados deste estudo corroboram com os encontrados por Dessbesell *et al.* (2015) ao analisarem a cobertura da terra no município de Segredo, Rio Grande do Sul, em que os mesmos concluíram que há predomínio de áreas abrangidas por agricultura. Porém, na área não ocorrem lavouras extensivas, e sim pequenas propriedades rurais devido à topografia característica da região (Farias, 2010).

As áreas ocupadas tanto pela classe água quanto pela área urbana somaram 0,80% (330,66 ha) e 0,74% (305,32 ha), respectivamente. A classe água representa os rios, arroios e açudes presentes na sub-bacia. A área urbana englobou os municípios mais expressivos na área de estudo (Segredo e Arroio do Tigre), sendo as áreas rurais com residências isoladas não consideradas nessa classe de cobertura da terra.

### 3.2 Análise da Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente

#### 3.2.1 Fragilidade Ambiental Potencial

A espacialização das classes de fragilidade ambiental potencial da sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana está exposta na Figura 4. Analisando visualmente o mapa observou-se que as maiores fragilidades, englobando as classes alta e muito alta, localizaram-se principalmente na porção Noroeste da área de estudo e a fragilidade média si-

tuou-se, em sua maior extensão, em áreas com presença de APPs.

A partir do mapa foi realizada a quantificação das classes temáticas (Tabela 8). Os resultados demonstraram que a classe de fragilidade potencial mais representativa na área de estudo foi a muito baixa, abrangendo 22.052,37 ha correspondendo à 53,41%. Nesta classe há predomínio de solos do tipo Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico e típico e Nitossolo Bruno Alumínico úmbrico e típico, os quais apresentam quantidade de argila que os tornam menos frágeis quando comparados aos demais encontrados na sub-bacia, e declividades de até 12%.

A fragilidade baixa totalizou 16.673,00 ha, equivalente à 40,38%, sendo esta a segunda de maior abrangência na sub-bacia. As áreas ocupadas por esta classe ocorrem principalmente no solo do tipo Argissolo Bruno acizentado alítico típico, os quais são mais frágeis, devido ao menor teor de argila, e declividades que chegam a 20%.

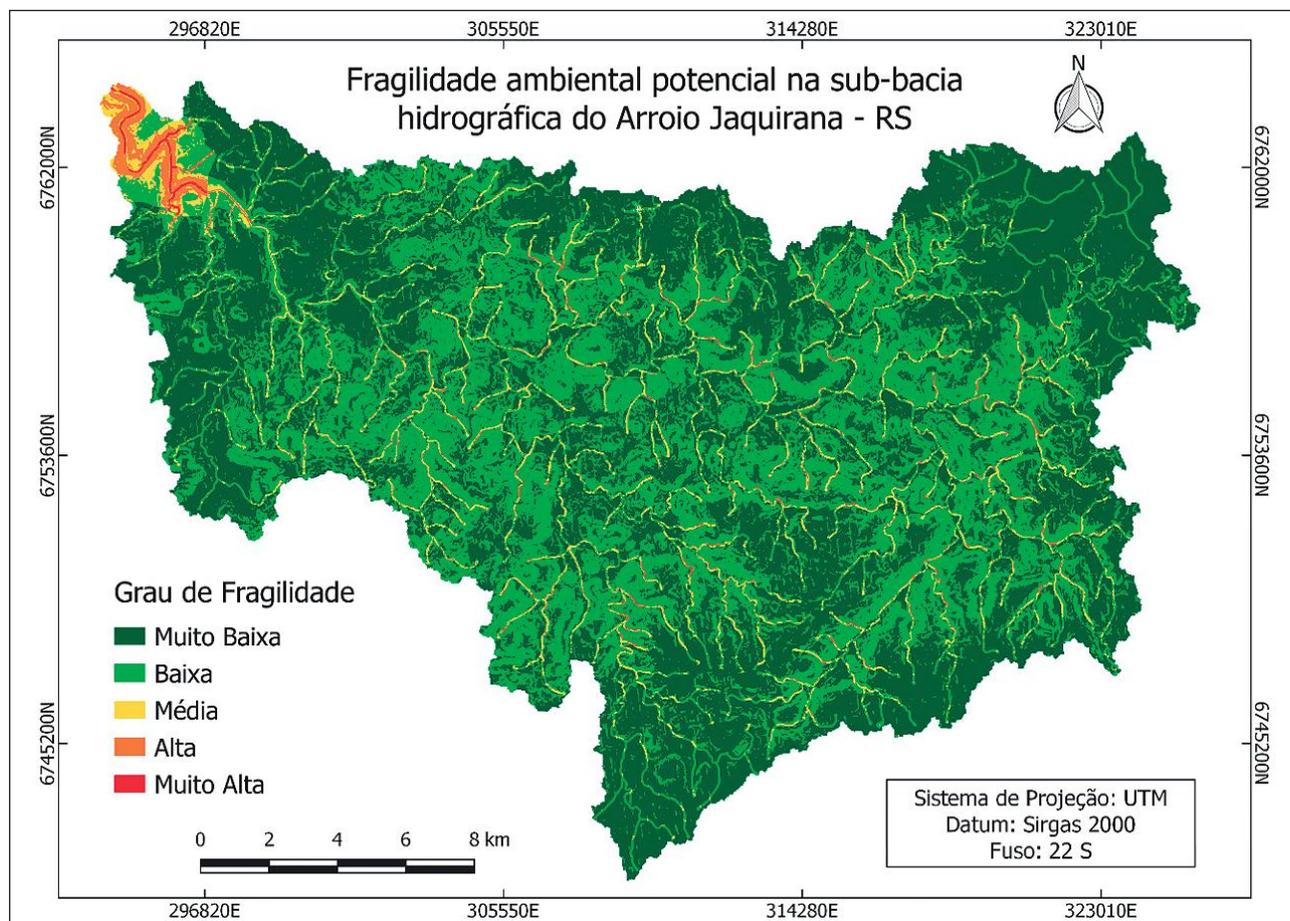


Figura 4 Fragilidade ambiental potencial na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

Grau de Fragilidade	Área	
	ha	%
Muito Baixa	22.052,37	53,41
Baixa	16.673,00	40,38
Média	2.001,79	4,85
Alta	519,13	1,26
Muito Alta	42,85	0,10

Tabela 8 Quantificação da fragilidade ambiental potencial na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

A média fragilidade foi obtida em 4,85% da área de estudo (2.001,79 ha), estando esta, associada predominantemente, as áreas de APP e as áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade. Além disso, ocorreram em áreas abrangidas pelo solo do tipo Nessolo Litólico Chernossólico típico, caracterizados por sua fragilidade devido serem solos rasos, e na unidade geomorfologia Serra Geral que ocorrem em maiores declividades.

As classes de fragilidade alta e muito alta foram as menos representativas, totalizando 519,13 ha (1,26%) e 42,85 ha (0,10%), respectivamente. Ambas situaram-se em áreas com declives que ultrapassaram 30% estando associadas à unidade geomorfológica Serra Geral, solo do tipo Nessolo Litólico Chernossólico típico e áreas em que são de prioridade para conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. A fragilidade muito alta foi obtida em áreas com estas características e delimitadas pelas APPs.

De modo geral, os montantes ocupados pela fragilidade muito baixa e baixa foram os mais expressivos. Este fato pode ter sido influenciado pela inclusão das variáveis APP e áreas prioritárias para a conservação, uma vez que, nas áreas não abrangidas por estas classes atribuiu-se peso zero, com isso, quando realizada a média aritmética para a obtenção do mapa de fragilidade ambiental potencial, este peso (zero) contribuiu para a diminuição do valor da fragilidade em áreas não ocupadas por estas variáveis. Com isso, as maiores fragilidades foram obtidas nas áreas ocupadas principalmente por APP e áreas prioritárias para a conservação.

### 3.2.2 Fragilidade Ambiental Emergente

A fragilidade ambiental emergente foi obtida com o cruzamento das variáveis físicas e de cobertura da terra. A espacialização da fragilidade com as respectivas classes pode ser visualizada na Figura 5.

A classe de fragilidade emergente muito baixa ocupou 9.687,86 ha equivalente à 23,47% (Tabela 9), sendo a segunda mais expressiva na área. A fragilidade baixa foi a mais expressiva abrangendo 26.651,50 ha, correspondendo à 64,56% da área de estudo.

A fragilidade média totalizou 4.523,45 ha, abrangendo 10,96% da área total. As classes menos representativas foram a fragilidade alta e muito alta, sendo que a primeira ocupou 398,49 ha (0,97%) e a segunda 20,58 ha (0,05%).

Comparando os resultados obtidos para a fragilidade ambiental potencial e emergente notou-se que nesta última ocorreram modificações nas classes de fragilidade causadas pelas classes de cobertura da terra. As áreas de fragilidade muito baixa diminuíram suas extensões passando a representar principalmente as classes de fragilidade baixa e média. Este fato ocorreu principalmente pela presença de áreas de solo exposto e agricultura, as quais são mais representativas na sub-bacia e apresentam alta fragilidade, aumentando assim a mesma.

Grau de Fragilidade	Área	
	ha	%
Muito Baixa	9.687,86	23,47
Baixa	26.651,50	64,56
Média	4.523,45	10,96
Alta	398,49	0,97
Muito Alta	20,58	0,05

Tabela 9 Quantificação da fragilidade ambiental emergente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

As áreas ocupadas pela alta e muito alta fragilidade também diminuíram seus montantes. Estas classes situaram-se em regiões características pela presença de vegetação arbórea, dessa forma, em função desta houve amenização do grau de fragilidade.

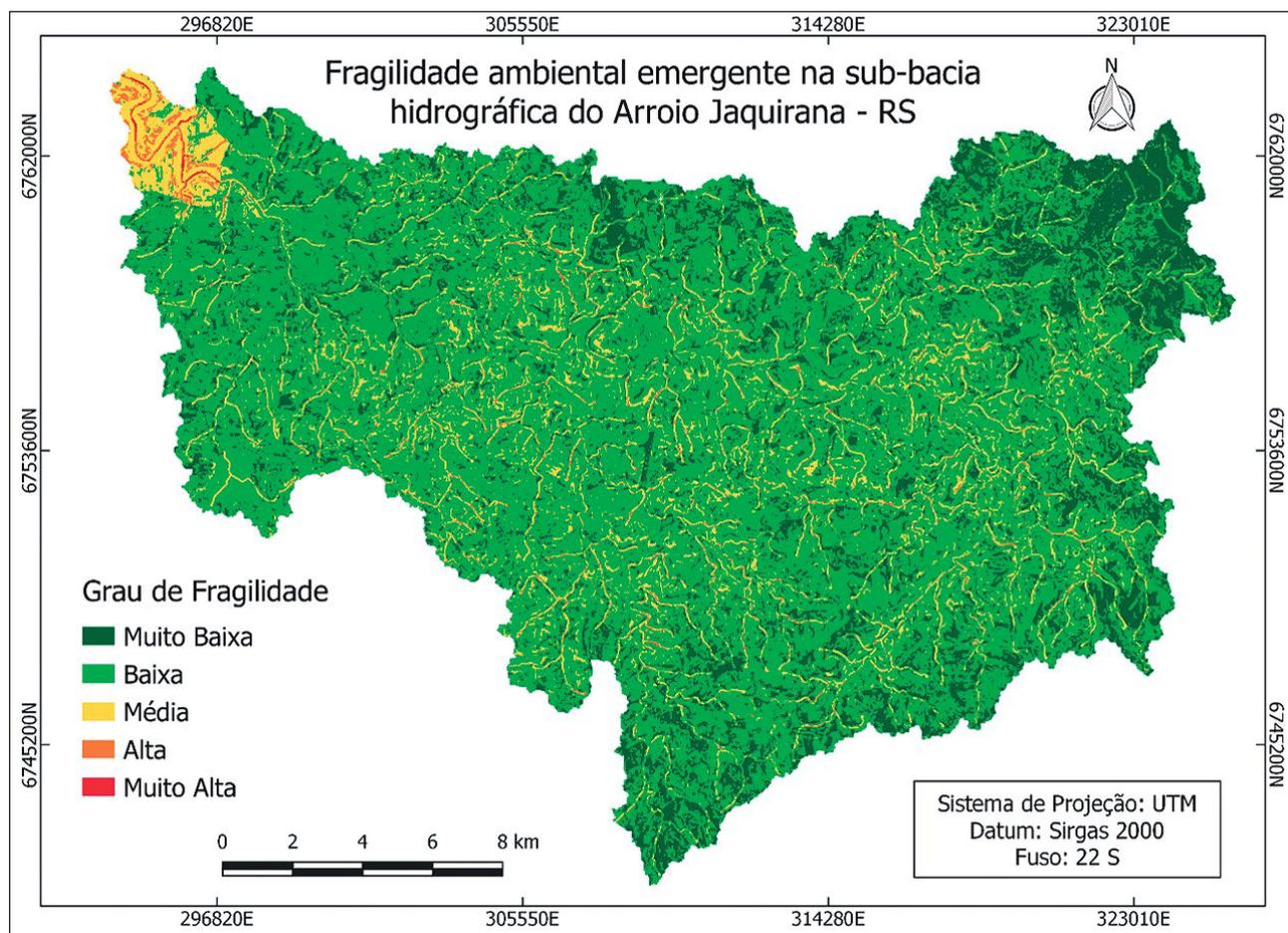


Figura 5 Fragilidade ambiental emergente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana, Rio Grande do Sul, Brasil.

Contudo, as áreas abrangidas pelas maiores fragilidades merecem maiores atenções quanto sua ocupação.

Os resultados obtidos nesse estudo são mais promissores quanto a conservação da natureza do que os observados por Schiavo *et al.* (2016), os quais ao estudar a fragilidade emergente da Bacia Arroio Cadena, RS, identificaram que as classes de fragilidade alta e média foram as predominantes, correspondendo a 37,7 e 32,2% do total da área.

Neste contexto, devido à maior parte da área de estudo ser abrangida pelas classes de menor fragilidade, é possível inferir que essas regiões são menos susceptíveis à danos, ou seja, são mais resistentes e podem englobar diferentes ocupações. Assim, notou-se que as variáveis físicas apresentaram baixas fragilidades que garantiram à área menores fragilidades mesmo na presença das classes de cobertura

da terra de maior fragilidade, como a agricultura e solo exposto.

De modo geral, por meio do mapa obtido será possível nortear a ocupação desta área, auxiliando no planejamento da mesma. Mantendo as áreas destinadas à preservação, conservando os remanescentes florestais existentes, visto que é uma região em que a mata nativa apresenta-se altamente fragmentada.

#### 4 Conclusões

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana apresentou em sua maior extensão fragilidade potencial e emergente baixa e muito baixa, contudo, quando utilizado o mapa de cobertura da terra notou-se que houve alterações na fragilidade, influenciadas, principalmente pelas classe solo exposto, agricultura e floresta nativa. Uma vez que, as duas primeiras

permitiram aumentar a fragilidade de determinadas áreas e a última possibilitou diminuir a fragilidade de outras regiões.

Com a realização da presente pesquisa pretendeu-se gerar mapas de fragilidade ambiental a partir do cruzamento de variáveis por meio de programação. Com isso, permitiu-se concluir que o método proposto mostrou-se eficiente para a obtenção dos mapas de fragilidade ambiental.

Desse modo, os resultados obtidos e os mapas gerados poderão ser utilizados como subsídios para a tomada de decisão, auxiliando assim, no planejamento e ordenamento territorial da sub-bacia hidrográfica do Arroio Jaquirana. Além disso, o método poderá ser aplicado em outras regiões para obtenção da fragilidade ambiental.

## 5 Referências

- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M. & Sparovek, G. 2014. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
- Bacha, C.J.C. 2004. O Uso de Recursos Florestais e as Políticas Econômicas Brasileiras - Uma Visão Histórica e Parcial de um Processo de Desenvolvimento. *Revista de Estatística e Economia*, 34(2): 393-426.
- Brasil. 2012. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm)>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Bueno, K. 2015. *Fragilidade ambiental do município de Guaíba – PR*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Dissertação de Mestrado, 104p.
- Câmara, G.; Souza, R.C.M.; Freitas, U.M. & Garrido, J. 1996. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, 20(3): 395-403.
- Carmo, L.E.A. 2003. *Impactos de políticas públicas na sustentabilidade socioambiental: o caso do pró-guaíba no município de Segredo – RS*. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 215p.
- Dessbesell, L.; Pereira, R.S.; Farias, J.A.; Vogt, E.A. & Welter, C.A. 2015. Classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens RapidEye para o município de segredo – RS – Brasil. *Geografia*, 40(2): 291-304.
- Farias, A.J. 2010. *Atividade Florestal no Contexto da Fumicultura: Oportunidade de Desenvolvimento Regional, Diversificação, Geração de Emprego e Renda*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Tese de Doutorado, 168 p.
- Fundação SOS Mata Atlântica. 2015. Relatório Anual 2015. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>>. Acesso em: 03 fev. 2019.
- IBGE. 2017. Produção Agrícola: Lavoura temporária. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/segredo/pesquisa/14/10193>>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- Jenkins, C.N.; Pimm, S.L. & Joppa, L.N. 2013. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *PNAS*, 110(28): 1-9.
- Kawakubo, F.S.; Morato, R.G.; Campos, K.C.; Luchiari, A. & Ross, J.L.S. 2005. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. Resumo completo, Goiânia, INPE, p. 2203-2210.
- Lemos, A.C.C. 2014. *Análise geológico-geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Paranhana/RS para o conhecimento de ambientes vulneráveis*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 102p.
- Luerce, T.D.; Oliveira, G.D.; Guasselli, L.A.; Brubacher, J. & Figueiredo, A.R. 2013. Mapeamento geomorfológico a partir de dados SRTM: bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, RS. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16, Foz do Iguaçu, 2013. Resumo completo, Foz do Iguaçu, INPE, p. 5210-5217.
- Megiato, E.I. 2011. *Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, RS*. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 140p.
- Padilha, D.G. 2008. *Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande, RS*. Programa de Pós-Graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 87p.
- QGIS Development Team. 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em: 07 fev. 2019.
- Redin, E. 2011. *Entre o produzir e o reproduzir na agricultura familiar fumageira de Arroio do Tigre/RS*. Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Dissertação de Mestrado, 261p.
- Ribeiro, M.C.; Metzger, J.P.; Martensen, A.C.; Ponzoni, F.J. & Hirota, M.M. 2009. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed: Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142(6): 1141-1153.
- Rockett, G.C.; Martins, E.M.; Todt, V.; Thum, A.B. & Barboza, E.G. 2014. Geoprocessamento aplicado à análise ambiental: vulnerabilidade natural à perda de solo no morro do osso, Porto Alegre/RS. *Geografia*, 39(3): 465-481.
- Ross, J.L.S. 2011. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do departamento de geografia*, 8: 63-74.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumberas, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Araújo Filho, J.C.; Oliveira, J.B. & Cunha, T.J.F. 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, Embrapa, 590 p.
- Schiavo, B.N.V.; Hentz, A.M.K.; Corte, A.P.D. & Sanquetta, C.R. 2016. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20(1): 464-474.
- SEMA. 2003. Inventário florestal contínuo. Disponível em: <<http://portalx.ufsm.br/ifcers/frame.htm>>. Acesso em: 06 mar. 2019.
- Spörl, C. & Ross, J.L.S. 2004. Análise da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. *GEOSP*, 15: 39-49.