

Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental

Juliana Marchesan¹
Elisiane Alba¹
Letícia Daiane Pedrali¹
Rudiney Soares Pereira¹

¹ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
Caixa Postal 5082 – 97105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
{marchesan.ju, elisianealba, lelepedrali, rudiney.s.pereira}@gmail.com

Abstract. The mapping of environmental fragility is an important tool to indicate areas with bigger or smaller potential uses assisting in the territorial environmental planning. Thereby the objective of the study is map the areas of environmental fragility of Agudo municipality, Rio Grande do Sul state, Brazil, helping in planning and territorial organization of the municipality. The processing and analysis of data were carried out with SPRING software 5.2.7 version, with the generation of the potential fragility map and emerging fragility map. The first map was built using the physical maps of declivity, soils and geology, and to construct the second map was added to the use and land cover map for the year 2014. Each map was weighted in amounts varying between 1 (smaller fragility) and 5 (larger fragility), followed by calculating the arithmetic mean of the same, both steps performed using the LEGAL analysis programming. The results demonstrated that environmentally fragility more representative potential in the study area is the called average fragility covering 22789.62 ha, corresponding to 42.55% of the total area of study. However, areas with very high fragility cover 7.03% of the total area. The emerging environmental fragility is also composed largely by the average fragility occupying 56.05% of the municipality (30016.98 ha), while areas with very high emerging fragility cover 964.62 ha (1.80% of the study area). The study concludes that the study area has at its greatest extent, fragility average to very high fragility; this indicates the need for environmental planning this municipality.

Palavras-chave: Landsat 8, geology, soils, declivity, land use and land cover, territorial planning, Landsat 8, geologia, solos, declividade, uso e cobertura da terra, planejamento territorial.

1. Introdução

A ocupação desordenada do território, sem um prévio planejamento, tem acarretado em profundas modificações no meio ambiente, causando danos, muitas vezes, irreversíveis ao mesmo. Em função disso, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial, não só com enfoque socioeconômico, mas também ambiental, levando-se em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas (Donha et al., 2005).

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 susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais).

A fragilidade ambiental pode ser classificada como potencial, na qual é caracterizada pela fragilidade natural a que uma determinada área está submetida, ou seja, em função de suas características físicas, como: tipo de solo, declividade, entre outros, e emergente, que por sua vez, considera os fatores ambientais, acrescentando o elemento humano, caracterizado como a forma que o homem ocupa a terra (Schiavo, 2016).

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 fornecendo subsídios à gestão do território (Oliveira et al., 2008). Segundo Kawakubo et al. (2005) o mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos

públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental, pois indicam áreas que apresentam maior ou menor potencialidade à determinados usos.

Estudos realizados por Marchesan et al. (2016) demonstram que a área de estudo, o município de Agudo, apresenta áreas altamente degradadas, com plantios agrícolas realizados em áreas de várzea, topos de morros e áreas declivosas. Assim, analisar as fragilidades e potencialidades do município torna-se crucial para servir de subsídio ao planejamento territorial do mesmo.

Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi mapear as áreas de fragilidade ambiental do município de Agudo, Rio Grande do Sul, Brasil, visando auxiliar no planejamento e ordenação territorial do município.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição da área de estudo

O município de Agudo, localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre as coordenadas geográficas 29°27'6" e 29°49'59" de latitude sul e 53°24'18" e 52°59'39" de longitude oeste (Figura 1). Apresenta uma área de aproximadamente 53.600 hectares e população, segundo o IBGE (2010), de 16.722 habitantes.

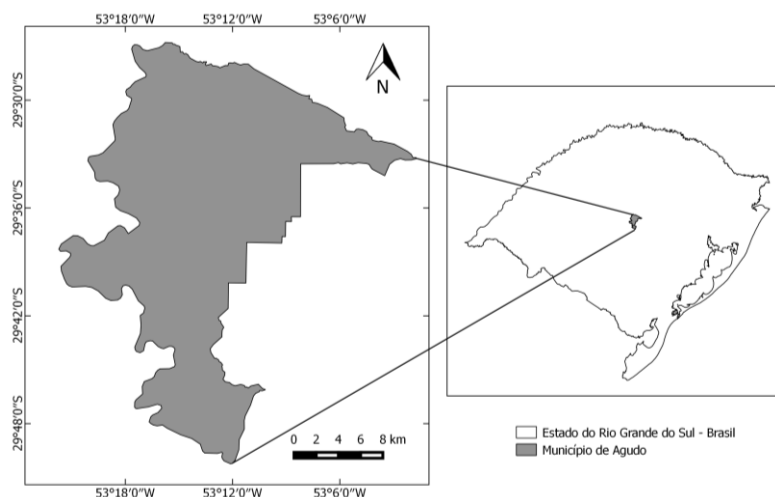


Figura 1. Mapa de localização do município de Agudo, Rio Grande do Sul, Brasil.

Localiza-se na transição entre a Depressão Central, apresentando relevos suaves a ondulados, e o Planalto, formado por rochas vulcânicas da formação Serra Geral, que apresentam um relevo aproximadamente tabular e escavado pelos rios (Streck et al., 2008). De acordo com a classificação de Köppen, o clima é subtropical úmido (Cfa), com temperaturas que variam entre 14°C e 25°C, e as precipitações são distribuídas durante o ano, com média anual de 1.700 mm (Moreno, 1961).

2.2 Materiais

Utilizou-se uma imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), composta pelas bandas visíveis e do infravermelho (2, 3, 4, 5, 6 e 7), com 30 metros de resolução espacial, orbita-ponto 222-81, datada de 28/01/2014, disponibilizada gratuitamente pelo USGS (*United States Geological Survey*).

Para a geração dos mapas de solos e geologia, utilizou-se o *shapefile* do banco de dados da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), na escala 1:750.000. A declividade da área de estudo foi gerada por meio dos dados de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que apresentam MDE (Modelo Digital de Elevação), com 30 metros de

resolução espacial, adquiridos no Banco de Dados do Projeto Topodata. Os aplicativos computacionais utilizados foram o SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Câmara et al., 1996) versão 5.2.7 para processamento e análise dos dados e o QGis versão 2.10.1 para a organização dos mapas finais.

2.3 Metodologia

No aplicativo SPRING importou-se a imagem e os arquivos vetoriais. Para a obtenção dos mapas temáticos de solos e geologia realizou-se edição matricial dos polígonos atribuindo classes temáticas aos mesmos. A classificação dos solos foi realizada segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2006). De acordo com a metodologia de Ross (1994) 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, conforme a Tabela 1, na mesma encontram-se os pesos adotados para cada classe. As unidades geológicas, por sua vez, apresentam as classes de fragilidade e os pesos dispostos na Tabela 2.

Tabela 1. Classes de Fragilidade dos tipos de solos.

Classes de Fragilidade	Tipo de Solos	Peso
Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo com textura argilosa	1
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo de textura média/argilosa	2
Média	Latossolo Vermelho Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo, Alissolos, Argissolos textura média/argilosa	3
Alta	Argissolo textura média-arenosa, Cambissolos	4
Muito Alta	Neossolos, Planossolos	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Tabela 2. Classes de Fragilidade das unidades geológicas.

Classes de Fragilidade	Unidades Geológicas	Peso
Muito Baixa	Fáceis Caxias, Fáceis Gramado	1
Baixa	-	-
Média	-	-
Alta	Formação Botucatu, Formação Caturrita, Formação Santa Maria	4
Muito Alta	Depósitos Aluviais, Formação Sanga do Cabral	5

Fonte: Lemos (2014); Cardon (2010); Oliveira (2006); Machado (1998).

O mapa de declividade foi dividido em cinco classes de acordo com a metodologia de Ross (1994): 0 a 6%, de 6 a 12%, de 12 a 20%, de 20 a 30% e acima de 30%. As mesmas estão dispostas na Tabela 3.

Tabela 3. Classes de fragilidade dos intervalos de declividade.

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

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Os referidos pesos foram atribuídos aos mapas utilizando-se a programação de análise LEGAL integrada ao aplicativo SPRING. Após o processo de ponderação, de cada mapa, efetuou-se o cálculo da média aritmética entre os 3 mapas (solos, geologia e declividade) gerando-se uma grade numérica, a qual, por meio de fatiamento, obteve-se a fragilidade potencial, em cinco níveis: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Da mesma forma, gerou-se o mapa de fragilidade emergente, utilizando o mapa de fragilidade potencial e o mapa de uso e cobertura da terra. Para tal, necessitou-se a geração do mapa de uso e cobertura da terra, assim, utilizou-se o processo de classificação supervisionada “pixel a pixel” por meio do algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança). Criou-se quatro classes de uso e cobertura da terra: Floresta, equivalente a florestas plantadas e nativas; Agricultura/Pecuária, em que engloba as áreas referentes a áreas de plantios agrícolas e campo naturais, Solo Exposto, incluem áreas agrícolas em preparo e, Água, abrangendo açudes, arroios, rios.

A análise da eficiência da classificação realizou-se por meio do índice *Kappa*, proposto por Cohen (1960). Para avaliar a qualidade da classificação utilizou-se a escala proposta por Landis e Koch (1977). Os níveis de fragilidade e os pesos atribuídos para cada uso e cobertura da terra estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4. Classes de fragilidade dos usos e coberturas da terra.

Classes de Fragilidade	Uso e Cobertura da Terra	Peso
Muito Baixa	Floresta e Água	1
Baixa	-	-
Média	Agricultura/Pecuária	3
Alta	-	-
Muito Alta	Solo Exposto	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Na fragilidade emergente também gerou-se cinco níveis de fragilidade: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta. Para a classe água cabe ressaltar que se atribuiu o peso 1, equivalente a classe de fragilidade muito baixa, pois a mesma não apresenta significância para os fins propostos neste trabalho.

3. Resultados e Discussão

As variáveis utilizadas no presente estudo, solos, geologia, declividade e uso e cobertura da terra, estão espacializadas na Figura 2. Os solos presentes na área de estudos são: Argissolo Bruno Acizentado Alítico típico (PBACal), Argissolo Vermelho Alumínico típico (PVAa), Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico típico (PVAvd), Planossolo Háptico Eutrófico arênico (SXe) e Neossolo Regolítico Húmico léptico (RRh), sendo esse último predominante na área, abrangendo 36,10% da área total de estudo, presente nas áreas mais declivosas do município. O solo do tipo SXe é o segundo maior em abrangência no município, ocupando 24,19% do mesmo, este localiza-se nas áreas de várzea, onde as declividades são de até 6%, sendo áreas ocupadas para rizicultura.

As unidades geológicas existentes na área são das mais diversas formas, sendo elas: Depósitos Aluviais, Fácies Caxias, Fácies Gramado, Formação Botucatu, Formação Caturrita, Formação Sanga do Cabral e Formação Santa Maria, na qual a mais representativa na área de estudo é a Fácies Gramado, ocupando 32,39% da área total do município, seguida dos Depósitos Aluviais que abrangem 30,08%. A Fácies Gramado localiza-se em áreas declivosas, que em sua maior extensão são também ocupadas por solos do tipo RRh, os

Depósitos Aluviais, por sua vez, concentram-se em áreas de várzea que conseqüentemente apresentam baixa declividade, nestas há presença de solos do tipo SXe.

Analisando o mapa de declividade, nota-se que os declives são menores em áreas de várzea, sendo estas localizadas ao sul do município. Enquanto que áreas com maiores declividades, muitas vezes ultrapassando os 30%, encontram-se na metade norte do município, sendo estas áreas ocupadas em sua maior extensão por florestas. Zamberlan et al. (2014) destacam que características de relevo acidentado com altos níveis de declividade e solos pouco intemperizados, são os indicadores da fragilidade natural da região.

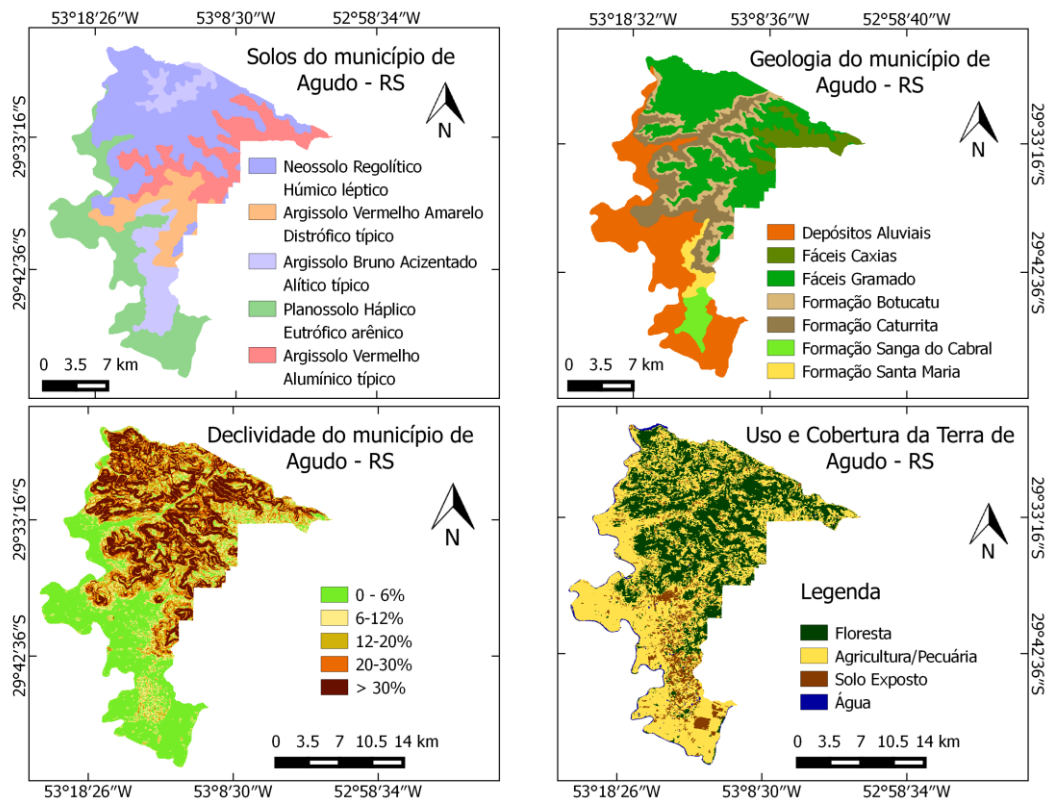


Figura 2. Espacialização das variáveis solos, geologia, declividade e uso e cobertura da terra presentes no município de Agudo, Rio Grande do Sul, Brasil.

Por meio do cálculo do coeficiente Kappa, para o mapeamento temático do ano de 2014, encontrou-se o valor de 0,956 (95,6%), portanto enquadra-se em uma classificação “excelente” de acordo com a tabela desenvolvida por Landis e Koch (1977). A área ocupada por floresta no município, no ano de 2014, foi de 19.774,72 ha do município de estudo, equivalente a 36,81% da área total. Por sua vez, a agricultura e a pecuária são predominantes na área de estudo, abrangendo 29.031,67 ha, correspondendo a 54,05%, ou seja, mais da metade do município apresenta estes usos.

O solo exposto, representado por áreas de agricultura que estão em preparo ou em pousio, verificou-se uma área de 3.964,69 ha, referentes a 7,38% da área total de estudo. Nota-se que esta classe, se comparada com as demais classes mapeadas, abrange uma área menor, este fato se deve à época de imageamento da imagem Landsat 8, na qual foi realizada em janeiro, período em que o município já realizou o plantio de seu principal produto agrícola, o arroz. A água abrange uma pequena proporção da área, ocupando 945,51 ha.

A espacialização das classes de fragilidade ambiental potencial e emergente do município de Agudo podem ser observadas na Figura 3. A quantificação das classes temáticas das mesmas está representada na Tabela 5.

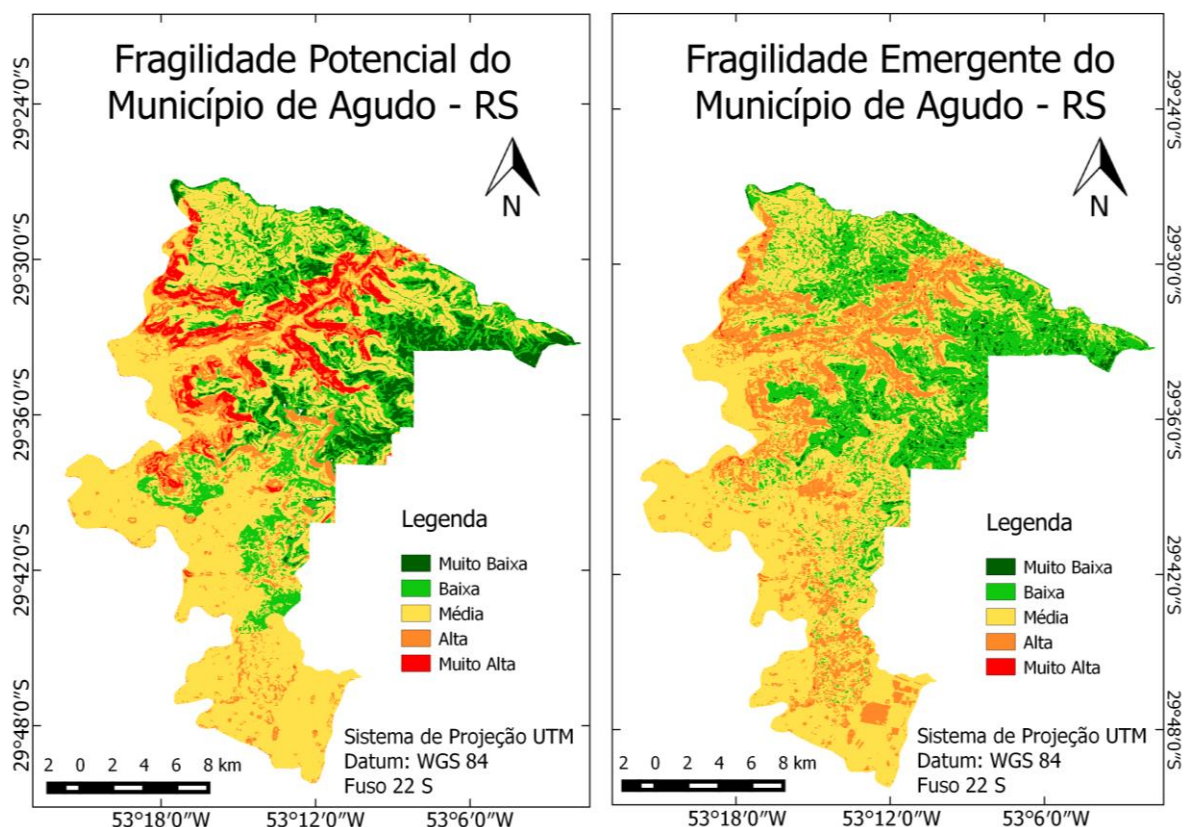


Figura 3. Mapa da fragilidade ambiental potencial e emergente do município de Agudo, Rio Grande do Sul, Brasil.

Tabela 5. Quantificação das classes de fragilidade ambiental potencial e emergente do município de Agudo, Rio Grande do Sul, Brasil.

Classes de Fragilidade	Fragilidade Ambiental Potencial		Fragilidade Ambiental Emergente	
	Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Muito Baixa	3.966,03	7,40	1.196,82	2,23
Baixa	9.694,45	18,08	12.951,27	24,16
Média	30.090,33	56,13	29.842,02	55,66
Alta	6.093,18	11,37	9.470,25	17,66
Muito Alta	3.766,67	7,02	150,30	0,28

Os resultados demonstraram que a fragilidade ambiental potencial mais representativa na área de estudo é a denominada de média fragilidade, abrangendo 30.090,33 ha, correspondente à 56,13% da área total. Nessa classe há predomínio de solos do tipo Planossolos, com Depósitos Aluviais e declividades de até 12%.

A classe de fragilidade alta compreende 11,37% da área de estudo (6.093,18 ha), localizadas principalmente em áreas com altas declividades, com unidade geológica de Formação Caturrita e solos do tipo Neossolos. O mesmo ocorre para as áreas com fragilidade muito alta, porém, estas localizam-se ainda nas áreas de Formação Botucatu. A referida classe abrange 3.766,67 ha, equivalente a 7,02% da área total de estudo. Somando-se as áreas de média, alta e muito alta fragilidade, nota-se que abrangem a maior parte da área de estudo, este fato se deve, segundo Zamberlan et al. (2014), por ser uma região inserida nas encostas da Serra Geral, desse modo, a fragilidade ambiental é maior.

A fragilidade ambiental potencial denominada muito baixa abrange 3.966,03 (7,40% da área total de estudo), enquanto que a fragilidade baixa ocupa 9.694,45 ha (18,08%), sendo esta a segunda mais representativa na área de estudo. Nesta classe há predomínio de solos do tipo Argissolo Bruno Acizentado Alítico típico (PBACal) e declividades relativamente baixas (até 12%).

No mapeamento da fragilidade ambiental emergente, nota-se que houve algumas mudanças em relação à fragilidade potencial principalmente nas áreas de fragilidade muito alta. No presente mapa essas áreas diminuíram em função da presença de floresta, a qual minimiza o efeito da fragilidade ambiental, desse modo, regiões com fragilidade muito alta foram alteradas para alta. Com isso, as áreas com fragilidade emergente classificada como muito alta passaram a abranger 150,30 ha (0,28% da área de estudo), porém, da mesma forma que a fragilidade potencial, ocupando áreas que apresentam declividades acima de 30%.

A classe de fragilidade alta, por sua vez, aumentou sua área de ocupação se comparado com a fragilidade ambiental potencial, passando a abranger 9.470,25 ha, equivalente à 17,66% da área de estudo. Essa região de estudo caracteriza-se por plantios agrícolas, principalmente culturas anuais, realizados em encostas (Zamberlan et al., 2014), auxiliando nesse aumento das áreas com alta fragilidade.

A fragilidade ambiental média continuou sendo a mais expressiva mesmo quando se acrescentou o uso e cobertura da terra na análise, ocupando dessa forma, 55,66% da área total do município (29.842,02 ha). Nessas áreas há predominância de agricultura e pecuária, com declividades de até 6%, solos do tipo Planossolos e Argissolos, além da ocorrência de depósitos aluviais. A fragilidade muito baixa e baixa, passaram a ocupar 1.196,82 ha (2,23% da área total de estudo) e 12.951,27 ha (24,16%), respectivamente, sendo esta última a segunda mais representativa no município.

4. Conclusões

Com a realização do presente trabalho conclui-se que a metodologia proposta, utilizando-se a programação em análise LEGAL, mostrou-se eficiente para a obtenção dos mapas de fragilidade ambiental. Sendo possível aplicá-la nas mais diversas áreas em que se pretende obter esse tipo de informação.

Foi possível observar que a área de estudo apresenta em sua maior extensão fragilidade média, e ainda áreas de fragilidades alta e muito alta, as quais indicam que o município em questão necessita de um planejamento ambiental. Com isso, os resultados obtidos e os mapas gerados oferecerão subsídios para a tomada de decisão auxiliando no planejamento e ordenamento territorial do município.

Referências Bibliográficas

- Cohen, J. A. Coefficient of agreement for nominal scales. **Journal of Educational and Measurement**, v. 20. n. 1. p. 37-46, 1960.
- Câmara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J.; Mitsuo, F. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v. 20. n. 3. p. 395-403, 1996.
- Cardon, L. M. **Mapeamento de fragilidade ambiental de bacia hidrográfica com uso de geoprocessamento**. 2010. 71 p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2010.
- Donha, A. G.; Souza, L. C. de P.; Sugamoto, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10. n. 1. p. 175-181, 2006.

Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de O., J. B. de; Coelho, M. R.; Lumberras, J. F.; Cunha, T. J. F. (Ed.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010. **Censo Demográfico**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430010&search=rio-grande-do-sul|agudo>>. Acesso: 06 ago. 2016.

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 (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2203-2210. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.16.10/doc/2203.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2016.

Landis, J.; Koch, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 3, p. 159-179, 1997.

Lemos, A. C. C. **Análise geológico-geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Paranhana/RS para o conhecimento de ambientes vulneráveis**. 2014. 102 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2014.

Machado, J. L. F. Hidroestratigrafia química preliminar dos aquíferos na região central do Rio Grande do Sul. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 10., 1998, São Paulo. **Anais...**São Paulo, 1998. Artigos, On-line. ISSN 2179-9784. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22237/14582>>. Acesso: 05 ago. 2016.

Marchesan, J.; Pedrali, L. D.; Tramontina, J.; Alba, E.; Mello, E. P.; Pereira, R. S. Análise da relação entre a evolução florestal e a declividade utilizando imagens Landsat. **Nativa**, v. 4, n. 1, p. 53-57, 2016.

Moreno, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42 p.

Oliveira, P. C. A. de. **Diagnóstico ambiental e análise da fragilidade do relevo da Bacia Hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia – Minas Gerais**. 2006. 65 p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2006.

Oliveira, P. C. A.; Rodrigues, G. S. S. C.; Rodrigues, S. C. Fragilidade ambiental e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego Pindaíba, Uberlândia, MG, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, n. 1, p. 54-67, 2008.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do departamento de geografia**, v. 8, p. 73-64, 1994.

Schiavo, B. N. de V.; Hentz, Â. M. K.; Dalla Corte, A. P.; Sanquetta, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 464-474, 2016.

Streck, E. V.; Kämpf, N.; Dalmolin, R. S. D.; Klamt E.; Nascimento, P. C. do; Schneider, P.; Giasson, E.; Pinto, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: EMATER-RS/UFRGS, 2008. 222 p.

Tamanini, M.A.S. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária**. 2008. 118 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade federal do Paraná, Curitiba. 2008.

Zamberlan, J. F.; Zamberlan, C. O.; Schuch Jr., V. F.; Gomes, C. M.; Kneip, J. M. Produção e manejo agrícola: impactos e desafios para sustentabilidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 19 n. Especial, 2014.