

GEOPROCESSAMENTO ALGÉBRICO UTILIZADO NA CARACTERIZAÇÃO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE SANTIAGO-RS

Lueni Gonçalves Terra

Geógrafa e mestra em Engenharia Civil, área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria
lueniterra@gmail.com

Bruna Nascimento de Vasconcellos Schiavo

Engenheira Florestal pela Universidade Federal do Pampa e mestranda em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
brunavasconcellos@gmail.com

Willian Fernando de Borba

Engenheiro Ambiental e Sanitarista e mestrando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria
borbawf@gmail.com

Manoela Mendes Duarte

Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria e mestra em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná
manu-florestal@hotmail.com

RESUMO

O geoprocessamento é uma ferramenta que tem sido utilizada em larga escala em estudos ambientais, pois permite a extração de informações com rapidez e acurácia. Estudos de fragilidade ambiental norteiam meios e condições para que todos os objetivos da conservação ambiental possam ser alcançados de forma harmônica. O presente estudo objetivou caracterizar a fragilidade ambiental do município de Santiago-RS, utilizando técnicas de geoprocessamento. Realizou-se um mapeamento temático da declividade, uso e ocupação da terra, tipo de solo e geologia, a partir da metodologia proposta por Ross (1994), logo foram atribuídos pesos de importância para cada um dos fatores e realizou-se uma álgebra de mapas. O resultado destacou que Santiago apresenta uma fragilidade média em 33,8% e muito alta em 29,3% da área estudada, fator que está associado a fatores antropogênicos, como urbanização e solo exposto. A partir dos estudos de fragilidade ambiental foi possível apontar as áreas onde a vulnerabilidade ambiental é considerada alta, possibilitando um melhor planejamento ambiental e auxílio para instituição de políticas públicas de ordenamento territorial.

Palavras-chave: Planejamento territorial; Geotecnologias; Vulnerabilidade ambiental; Álgebra de mapas; *Landsat 8*.

ALGEBRAIC GEOPROCESSING USED IN THE CHARACTERIZATION OF THE ENVIRONMENTAL FRAGILITY OF THE MUNICIPALITY OF SANTIAGO-RS

ABSTRACT

The geoprocessing is a tool that has been used in large scale in environmental studies, because it allows an extraction of information with speed and accuracy. Studies of environmental fragility outline means and conditions for that all the objectives of the environmental conservation can be achieved in a harmonious way. This present study aimed to characterize the environmental fragility of the municipality of Santiago-RS, using techniques of geoprocessing. We performed a thematic mapping of the declivity, use and occupation of the land, type of soil and geology, from the methodology proposed by Ross (1994), then we attributed weights of importance for each one of the factors and we performed algebra of maps. The result highlighted that Santiago presents an average of fragility in 33.8% and very high in 29.3% of the studied area, a factor that is associated to anthropogenic

Recebido em 23/03/2015
Aprovado para publicação em 20/01/2016

factors, such as urbanization and exposed soil. From the studies of environmental fragility it was possible to point out the areas where the environmental vulnerability is considered high, providing a better environmental planning and assistance for the institution of public policies of territorial planning.

Keywords: Territorial planning; Geotechnologies; Environmental vulnerability; Algebra of maps; *Landsat 8*.

INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais ocasionada, principalmente, pelos modelos atuais de consumo, mostra-se cada vez mais acelerada. E a utilização desses recursos de forma desenfreada resulta em sérios problemas de cunho ambiental. Nesse sentido, Ross (1994) diz que é necessário que o desenvolvimento da sociedade considere não apenas as potencialidades dos recursos, mas, sobretudo, as fragilidades dos ambientes naturais frente às variadas intervenções dos homens na natureza.

Ratcliffe (1971) diz que a fragilidade é uma medida de sensibilidade intrínseca de um ecossistema às pressões ambientais combinada com a exposição à ameaça que poderia perturbar o equilíbrio existente. Smith e Theberge (1986) definem fragilidade como o oposto à estabilidade e consideram a estabilidade como a velocidade com que um sistema retorna ao equilíbrio após uma perturbação.

Silva e Costa (2011) lembram que as pesquisas ambientais precisam se preocupar, não somente, no levantamento dos problemas ambientais causados pela sociedade e como recuperá-los, mas também com estudos do grau de fragilidade, caracterizadas por áreas que apresentam alto grau de vulnerabilidade, ou seja, que são vulneráveis a impactos antrópicos e ao processo erosivo pluviométrico, determinado por fatores físicos (declividade e tipo de solo) e econômicos (uso e ocupação) dos diversos ambientes às interferências antrópicas. De acordo com isso, Ross (1995) afirma que o mapeamento de unidades de paisagens identificadas sob a perspectiva das suas fragilidades, frente às condições materiais e possíveis intervenções humanas, é de valiosa importância.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um instrumento de elaboração eletrônica que permite coleta, gestão, análise e representação automatizada de dados georreferenciados. Flauzino *et al.* (2010) ressaltam que a utilização de geotecnologias é um instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e água, e dos ecossistemas em geral.

Assim, a aplicação de geotecnologias permite a obtenção de informações rápidas e precisas a baixo custo e posteriormente, a aplicação no planejamento. Segundo Santos (2004), o planejamento vai direcionar a quantidade, qualidade, a velocidade e a natureza das trocas, ou seja, ele é um processo necessário para se definir os parâmetros necessários às efetivas ações de gestão ambiental.

Diante disso, a determinação da fragilidade ambiental revela-se como uma importante ferramenta para o gerenciamento ambiental, pois além das características físicas, considera os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal sobre o ambiente. Spörl (2001) afirma que a fragilidade emergente caracteriza-se como aquela onde as atividades antrópicas desestabilizam o equilíbrio dinâmico do ambiente.

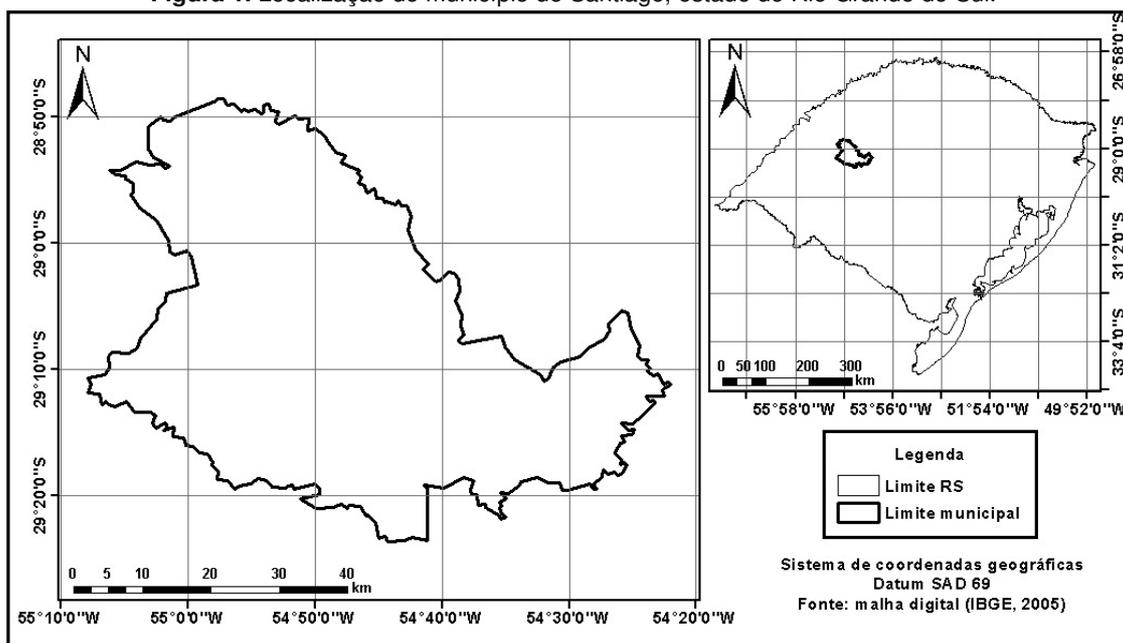
Nesse sentido, este estudo da fragilidade ambiental no município de Santiago, RS, justifica-se por contribuir principalmente como um instrumento de apoio à gestão ambiental do município, atuando como subsídio para os processos de tomada de decisão que identifiquem e amenizem prejuízos e riscos ao meio ambiente, bem como auxiliar na preservação dos recursos naturais locais.

MATERIAIS E MÉTODOS

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Município de Santiago localiza-se sob as coordenadas geográficas 29° 11' latitude sul e a 54° 52' longitude oeste de Greenwich, na porção noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). Situada aproximadamente a 450 km da capital, Porto Alegre.

Figura 1. Localização do município de Santiago, estado do Rio Grande do Sul.



De acordo com o censo demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a população em 2010 era de 48.071 habitantes. Desses, 44.735 residem na área urbana e 4.336 na área rural (IBGE, 2015).

De acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2013) o município está situado na faixa de Desenvolvimento Humano Alto (IDHM entre 0,700 e 0,799). Entre 2000 e 2010, a dimensão que mais cresceu em termos absolutos foi educação (com crescimento de 0,099), seguida por renda e por longevidade.

Município pertence à mesorregião Centro Ocidental Rio-Grandense e à microrregião de Santiago. Localiza-se, de acordo com a Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2005), em partes de duas bacias hidrográficas: a Bacia do Rio Ibicuí (U-50), e a do Butuí/Piratinim/Icamaquã (U-40). Informa-se que U é indicativo de Rio Uruguai.

Segundo a Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais- CPRM (2008), quanto à geologia, há predomínio da Formação Serra Geral e presença, em alguns lugares específicos, da Formação Botucatu. De forma generalizada, pode-se dizer que a primeira caracteriza-se por derrames basálticos e a segunda por arenitos finos a grossos.

PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Para a confecção do mapa de uso e ocupação da terra, foram utilizadas imagens do satélite *Landsat 8*, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizadas gratuitamente pelo *U.S. Geological Survey*. Para a classificação da imagem, realizou-se uma composição com as bandas 4, 5 e 6, e aplicou-se contraste para realçar as feições de interesse, para que se pudesse extrair o máximo de informações das imagens.

Utilizou-se a classificação digital supervisionada, onde o algoritmo classificador encontra, em meio aos dados, características semelhantes aquelas apresentadas na forma de amostra (amostras de treinamento) para cada classe pré-estabelecida (NAVULUR, 2006)

A técnica utilizada para a classificação das imagens baseia-se no algoritmo MaxVer (Máxima Verossimilhança), que agrupa os pixels que provavelmente pertençam a uma mesma classe de interesse. Para o mapeamento do uso da terra foram utilizadas as seguintes classes: recursos hídricos, floresta, campo, agricultura irrigada, agricultura e solo exposto/urbanização, de modo que o peso das classes foi definido conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classes utilizadas para a classificação.

Tipo de cobertura	Classes de fragilidade
Florestas e recursos hídricos	Muito baixa
Campo	Baixa
Agricultura	Média
Agricultura irrigada	Alta
Solo exposto e urbanização	Muito alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Para gerar o mapa de fragilidade ambiental utilizou-se a metodologia proposta por Ross (1994), onde são consideradas as características dos ambientes naturais e antropizados e atribuídos pesos para cada classe temática. O produto final do trabalho sintetiza a soma das variáveis, (tipo de uso e cobertura da terra, tipo de solo, geologia e declividade), a partir da álgebra de mapas, que consiste na sobreposição de vários mapas utilizando uma escala comum e pesos para cada classe conforme sua importância.

Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representadas por códigos específicos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Essas categorias expressam, especialmente, a fragilidade do ambiente.

O tipo de solo está diretamente relacionado à vulnerabilidade do solo à erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos são determinantes para alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiental. Os tipos de solos encontrados na área de estudo são mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Tipos de solos encontrados para a área de estudo.

Tipo de solo	Classes de fragilidade
Latossolo vermelho amarelo (LV)	Média
Podzólico vermelho-amarelo (PV)	Alta
Neossolo litólico (RL)	Muito alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

Declividade, de acordo com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2000) é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, isto é, a taxa máxima de variação no valor da elevação e, pode ser medida em graus (0 a 90) ou em porcentagem. As classes de fragilidade correspondentes as classes de declividade utilizadas foram definidas conforme Ross (1994) (Tabela 3).

Tabela 3. Classes de fragilidade conforme a declividade.

Classes de declividade	Classes de fragilidade
Até 6%	Muito baixa
De 6.1 a 12%	Baixa
De 12.1 a 20%	Média
De 20.1 a 30%	Alta
Maior que 30.1%	Muito alta

Fonte: Adaptado de Ross (1994)

A caracterização da fragilidade ambiental foi realizada a partir do agrupamento dos índices das variáveis declividade do relevo, tipos de solo, geologia e uso e ocupação da terra. A cada uma das variáveis atribui-se valores (pesos) para serem relacionadas na matriz de cálculo. Os parâmetros utilizados para as variáveis oscilam entre 1 e 5, qualificando a área desde fragilidade muito baixa até muito alta.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O município de Santiago possui uma área total de 2413,02 km² e o mapeamento de uso e ocupação da terra do local é apresentado na Figura 2. A Tabela 4 complementa a análise com a quantificação de cada classe mapeada na área de estudo.

Figura 2. Mapa temático de uso e ocupação da terra para o município de Santiago-RS.

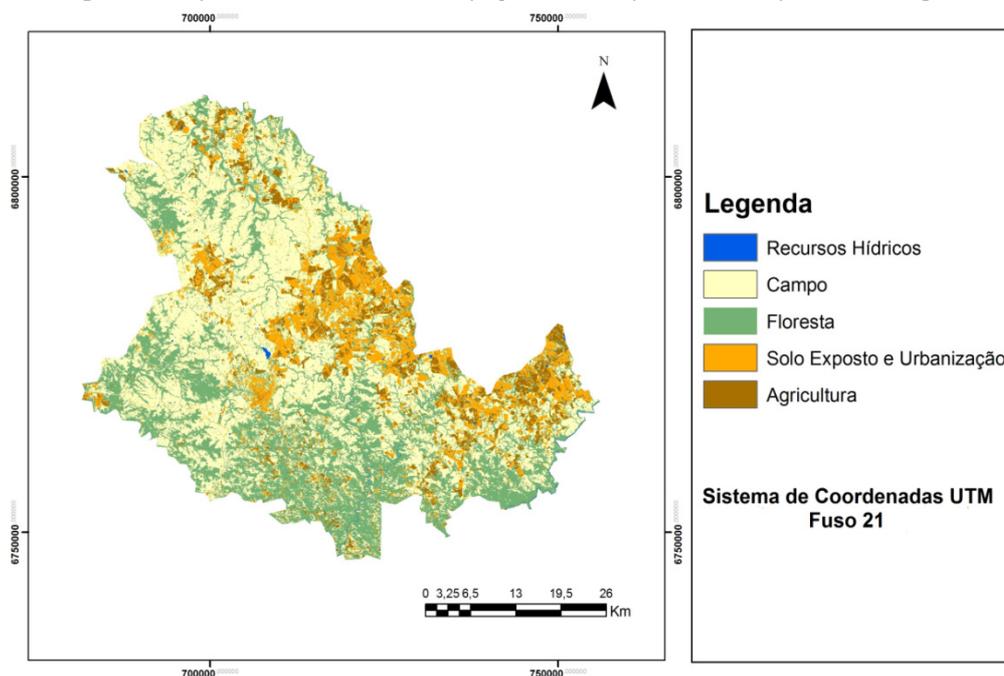


Tabela 4. Área mapeada para cada classe de uso da terra.

Classe de uso da terra	Área (km ²)	Área (%)
Recursos hídricos	21,74	0,9
Campo	933,83	38,7
Floresta	639,44	26,5
Solo exposto e urbanização	427,10	17,7
Agricultura	390,91	16,2
Total	2413,02	100

O mapeamento temático de uso e ocupação da terra apontou que, da área total, a classe mais representativa é a de áreas de campo, ou seja, vegetação rasteira (amarelo fraco) com aproximadamente 38,7%. O total mapeado nesta classe foi de 933,83km².

Ainda pode ser verificado que a área coberta por vegetação florestal, em verde no mapeamento, representa 639,44km², o que equivale a 26,5% da área total. Essa classe é mais observada ao sul, a sudoeste e sudeste do município e pode estar relacionada aos estímulos de reflorestamento. No ano de 2003 o Rio Grande do Sul iniciou um processo de reestruturação de sua paisagem, pois, implantou-se um programa de incentivo florestal, com intuito de aumentar a produção do Estado (VASCONCELLOS e BENEDETTI 2011).

A classe de solo exposto e urbanização, em alaranjado, representam 427,1km². Correspondem a 17,69% da área total e predominam, especialmente, na porção nordeste do Município.

Em marrom, a classe denominada agricultura (390,91km²) apesentou um percentual de 16,2% no mapeamento e predomina nas porções nordeste e norte de Santiago.

Recursos hídricos é a classe menos representativa, totalizando 21,74km². O seu percentual de abrangência é de 0,9% da área mapeada

Na categoria de campo, onde houve maior percentual de área, ainda há certo grau de proteção, pelo fato da vegetação ainda estar presente, mesmo que rasteira, exercendo cobertura ao solo. Áreas classificadas como florestas apresentam um alto grau de proteção para o solo, já que a vegetação proporciona cobertura devido ao seu dossel, extratos inferiores a matéria orgânica depositada acima do solo.

A Figura 3 apresenta o mapa de fragilidade ambiental do município de Santiago, obtido através

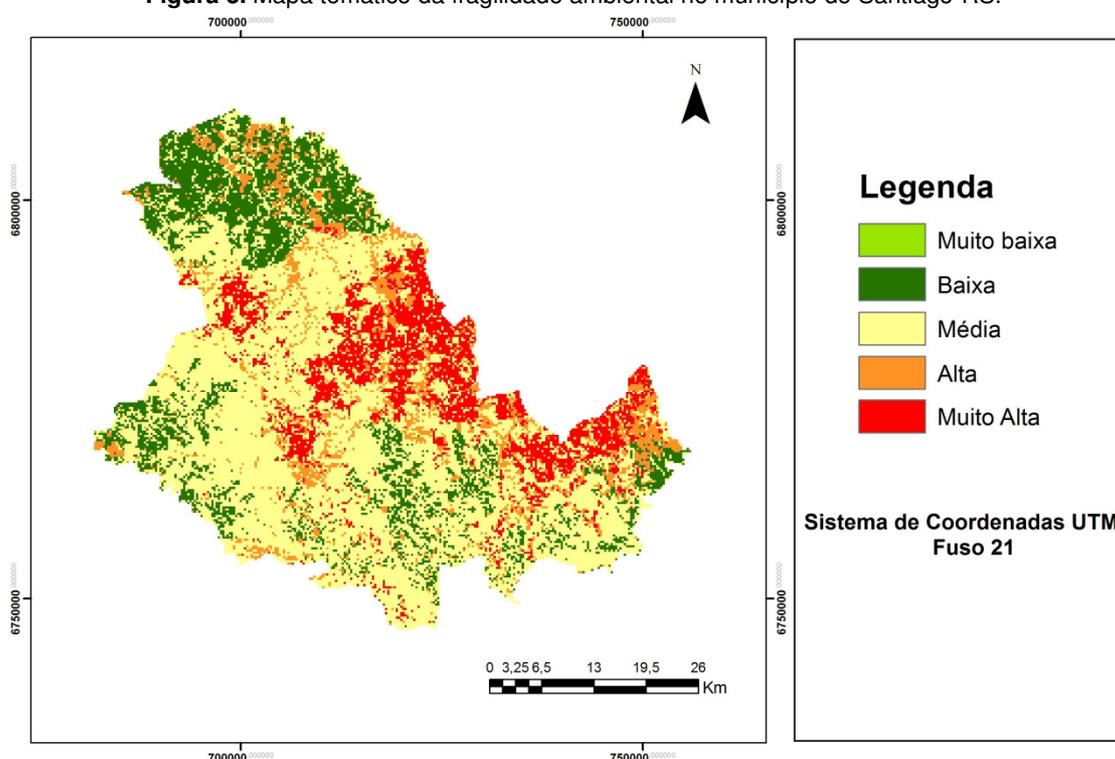
do programa *ArcGis10*. Os dados da Tabela 5 apresentam a quantificação das áreas de cada classe do mapa de fragilidade ambiental gerado.

As áreas de urbanização e locais com solo exposto podem ser consideradas como áreas de alta fragilidade ambiental. As áreas de agricultura possuem o grau de fragilidade dessa classe que varia conforme o tipo de uso, a declividade e o tipo de solo.

Analisando a Figura 3 percebe-se que grande parte das áreas de maior fragilidade ambiental (muito alta e alta) estão localizadas no nordeste do município, em vermelho no mapa. Nessa mesma porção, há também maior presença das classes de uso de solo exposto e urbanização e agricultura.

Observa-se ainda que a classe de fragilidade média (amarelo no mapa) representa a maioria do mapeamento e que, sua espacialização coincide com áreas de campo e floresta, assim como áreas de fragilidade menor. Na classe de fragilidade muito baixa ocorrem apenas as classes de uso pouco impactantes.

Figura 3. Mapa temático da fragilidade ambiental no município de Santiago-RS.



Verifica-se, na Tabela 5, que a maior parte da área estudada foi classificada como de fragilidade média, 815,6km², aproximadamente 34% do território. O segundo maior percentual foi obtido para a classe de fragilidade muito alta (29,3%), o que está ligado à presença de agricultura e da terra exposta à urbanização nestas áreas. Isso evidencia a necessidade de um cuidado especial com essas áreas e a importância dos planos urbanos de uso e ocupação do solo considerarem os mapeamentos de fragilidade ambiental.

Tabela 5. Área e percentual obtidos no mapeamento de fragilidade por classe.

Classes de fragilidade	Área (km²)	Área (%)
Muito baixa	79,62	3,3
Baixa	460,90	19,1
Média	815,60	33,8
Alta	349,90	14,5
Muito Alta	707,00	29,3
Total	2413,02	100

Destaca-se que mais de 40% do território mapeado possui fragilidade alta e muito alta. Somase a isso o percentual de fragilidade média, tem-se, então, cerca de 75% do município com grau de fragilidade que necessita de um planejamento especial.

Atualmente, diversos estudos de fragilidade ambiental têm sido desenvolvidos, principalmente em pesquisas acadêmicas e relatórios técnicos, porém sua utilização inicial se deu no Estado de São Paulo, como ferramenta de planejamento urbano e ambiental (PEREIRA, 2009). A partir daí difundiu-se como um instrumento de apoio em ações que objetivam o planejamento e gerenciamento ambiental.

No estado do Rio Grande do Sul, existe um estudo de fragilidade ambiental em larga escala, denominado “Desenvolvimento Metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise de Viabilidade de Hidrelétricas” – FRAG-RIO, desenvolvido a partir de uma parceria de diversas instituições acadêmicas. Esse estudo objetivou o estudo das fragilidades ambientais que decorrem principalmente da fragmentação da rede hidrográfica e do comprometimento de funções ecológicas ao longo do Rio Uruguai (TAMIOSSO, 2011).

Duarte *et al.*, (2013) desenvolveram pesquisa no município gaúcho de Frederico Westphalen e os resultados apontaram que a fragilidade ambiental está em maior proporção inserida nas classes média (54,6%) e alta (31,2%). Messias *et al.*, (2012) fizeram o estudo para a área de influência da hidrelétrica do funil em Minas Gerais e também concluíram que a maioria da área analisada está nas classes de fragilidade ambiental média e alta.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do aumento da demanda do uso dos recursos naturais, a necessidade do planejamento ambiental tem tornado-se uma ferramenta cada vez mais evidente. Nesse sentido, as geotecnologias destacam-se como ferramentas de apoio essenciais que auxiliam no processo de tomada de decisão.

Assim, no intuito de colaborar para o efetivo gerenciamento ambiental do município de Santiago, elaborou-se esta análise de fragilidade. O estudo apontou que 29,3% da área mapeada é classificada com fragilidade muito alta, o que evidencia a necessidade de um cuidado especial com essas áreas e a importância dos planos urbanos de uso e ocupação do solo considerarem os mapeamentos de fragilidade ambiental. Destacando-se ainda, com 33,8% da área, a fragilidade classificada como média, sendo que as fragilidades muito alta e média apresentaram as maiores áreas no município.

O uso desta tecnologia simplifica a manipulação dos dados, pois reduz o tempo necessário para a conclusão do trabalho. Portanto, possibilita, no futuro, uma rápida atualização desses mesmos dados.

Por fim, o presente instrumento de análise fornece importantes subsídios para a concretização de um planejamento que ordene de modo mais equilibrado as atividades no território, considerando as fragilidades ambientais. Assim, minimizando os problemas ambientais.

As alterações antrópicas podem então gerar inúmeras consequências ao equilíbrio dinâmico do meio ambiente. Por esse motivo, é necessário que sejam conhecidas as características dos locais onde são realizadas significativas mudanças no meio ambiente.

Assim, ressalta-se a importância de estudos desse cunho serem utilizados no planejamento ambiental. E demonstram ainda, a parcimônia necessária no licenciamento de atividades potencialmente poluidoras.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPQ) a concessão das bolsas de mestrado.

REFERÊNCIAS

- ATLAS DO DESENVOLVIMENTO HUMANO NO BRASIL. 2013. **Santiago, RS**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/santiago_rs>. Acesso em: 03 de março de 2015.
- CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, escala 1:750.000**. CPRM, Brasília, 2008. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2015.
- DUARTE, M. M; VASCONCELLOS, B.N. de; TERRA, L.G; GIOTTO, E. Visualização da fragilidade ambiental do município de Frederico Westphalen (rs) com a utilização de geotecnologias. **Enciclopédia Biosfera**, v.10, n.18; p. 2014- 1264.
- FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L. ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba no Cerrado Mineiro. **Revista Sociedade & Natureza**, n. 22, p. 75-91. abr. 2010.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=43&search=rio-grande-do-sul>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2015.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Apostila de curso – SPRING 3.4 (versão Windows)**. São José dos Campos, 2000.
- MESSIAS, C. G.; FERREIRA, M. F. M; RIBEIRO, M. B. P; MENEZES, M. D. Análise empírica de fragilidade ambiental utilizando técnicas de geoprocessamento: o caso da área de influência da hidrelétrica do funil – MG. **Revista GEONORTE**, Edição Especial, v.2, n.4, p.112 – 125, 2012.
- NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the objected-oriented paradigm**. Davis: CRC, 2006, 184 p.
- PEREIRA, K. N. **Avaliação da fragilidade ambiental na Microbacia do Ribeirão Imarú/SC: uma análise comparativa entre o modelo da Fragilidade Empírica dos Ambientes e o Método da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Geografia, 2009.
- RATCLIFFE, D. A. Criteria for the selection of nature reserves. **Advancement of Sciences**, 27. 1971. p. 294-296.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, p.63-74. 1994.
- _____. Análises e Sínteses na Abordagem Geográfica da pesquisa para o Planejamento Ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. 9. SP, USP/FFLCH, 1995.
- SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.
- SEMA/RS- Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Serviços e informações**. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=58>. Acesso em 23 de janeiro de 2015.
- SILVA, G. A.; COSTA, R. A. Paisagem e fragilidade ambiental natural da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata – MG. **Caminhos de Geografia**, v. 12, n. 39, 2011.
- SMITH, P. G. R.; THEBERGE, J. B. A review of criteria for evaluating natural areas. **Environment Management** 10. 1986. p. 715-734.
- SPÖRL, 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.
- TAMIOSSO, M. C. **Fragilidades ambientais aplicadas a gestão da qualidade das águas: estudo de caso da Bacia do Rio Santa Maria, RS**. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2011.
- VASCONCELLOS, B. N.; BENEDETTI, A. C. P. Dinâmica temporal da cobertura florestal na microrregião Campanha Central do Rio Grande do Sul. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.4, n. 4, p. 427-433, 2011.