

Gerenciamento de recursos hídricos na bacia do Arroio Grande, RS: zoneamento ambiental através de inferência geográfica Fuzzy

Anderson Luis Ruhoff^{1,2}

¹Fundo Setorial de Recursos Hídricos – CT Hidro
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq
CEP 70.750-901 – Brasília - DF, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
CEP 97.105-900 – Santa Maria - RS, Brasil
andersonruhoff@gmail.com

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Arroio Grande localiza-se na região central do Estado do Rio Grande do Sul. Como objetivo buscou-se elaborar uma proposta de zoneamento ambiental, a partir de um processo de regionalização de variáveis ambientais, com técnicas de Inferência Fuzzy. Com o estabelecimento dos fatores de importância (declividades, tipos de solos, formações geológicas e uso e cobertura da terra), gerou-se uma grade numérica em um espaço contínuo, que varia entre 0 a 100%, representando a vulnerabilidade ambiental. Dentro desta perspectiva, classificou-se a bacia hidrográfica em 5 áreas de risco, variando desde áreas com baixa suscetibilidade, suscetibilidade moderada até áreas com alta suscetibilidade, através das quais se pode estabelecer algumas medidas de proteção ambiental e implementação estudos de gerenciamento de recursos hídricos em bacias na região sul do Brasil, como previsto pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos.

Palavras-Chave

Impactos ambientais, zoneamento ambiental, inferência fuzzy.

Abstract

Arroio Grande Watershed is located in Rio Grande do Sul and the objective from this paper was to elaborate a proposal of environmental zoning, from a process of environmental variables regionalization, with techniques of Fuzzy Sets. With the establishment of the importance factors (geology, slope, soils and land use and cover), a numeric raster was generated in a continuous space, which varies from 0 to 100%, representing the environmental risk. Inside of this perspective, the watershed was classified in 5 classes of environmental risk, varying from areas with low susceptibility, moderate susceptibility and areas with high susceptibility, through which it can establish some measures of environmental protection and implement studies of water resources management in watershed, premised by the Fundo Setorial de Recursos Hídricos.

Keywords

Environmental impacts, environmental zoning, fuzzy sets.

1. Introdução

Este artigo foi elaborado a partir da dissertação de mestrado de Ruhoff (2004), do Programa de Pós-Graduação em Geomática, da UFSM, financiada pelo Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT Hidro) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ancorado no Ministério da Ciência e Tecnologia (2001) do Governo Federal, o Fundo Setorial de Recursos Hídricos apresenta como objetivos, estimular programas e pesquisas científicas capazes de promover a defesa e preservação da água em nosso país. Nesse sentido, o artigo apresenta um estudo de caso no Rio Grande do Sul, em que foram contempladas uma das áreas prioritárias estipuladas pelo CT Hidro – *Uso e Conservação do Solo e de Sistemas Hídricos*. Os problemas mais comuns salientados são a erosão e sedimentação do solo, perda de cobertura natural e reflorestamentos inadequados. Os objetivos estabelecidos pelo programa visam desenvolver práticas de ocupação e aproveitamento do espaço, com conservação do solo e dos sistemas hídricos.

A proposta de zoneamento ambiental será elaborada com base em Ross (1994), na *Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizado*. O processo de

zoneamento ambiental será avaliado através de Inferência Geográfica Fuzzy (processo analítico hierárquico). Neste procedimento, os diferentes fatores que serão analisados são comparados entre si através de um critério de importância relativa, conforme uma escala pré-definida, que varia de 1 a 9 (Igual importância – Máxima importância). Este tipo de análise espacial representa valores contínuos, em que os dados são transformados para o espaço de referência [0 ... 1] e processados por combinação numérica ou inferência fuzzy. Para tanto, cada parâmetro a ser avaliado receberá um valor de importância relativa que indicará a intensidade do processo erosivo. Serão estabelecidas 5 classes de vulnerabilidade ambiental, que varia entre 1) Estável; 2) Moderadamente Estável; 3) Instabilidade Moderada, 4) Instabilidade Emergente, e 5) Instável. Como objetivo estabeleceu-se elaborar uma proposta de zoneamento ambiental que contemplasse a proteção dos recursos naturais, principalmente da água, dos solos e das florestas em uma área de estudo de caso – a Bacia do Arroio Grande.

2. Perfil da Bacia do Arroio Grande

Na bacia encontram-se a Formação Aluvionar, Formação Botucatu, Formação Rosário do Sul e Formação Serra Geral (Basaltos e Riólitos) (**Figura 1**). Segundo o IBGE (1986), a Formação Aluvionar é formada por areias e cascalheiras em planícies de inundação e terraços da rede hidrográfica atual e sub-atual. Maciel Filho (1990.) salienta que a Formação Botucatu apresenta solos residuais e arenosos, com permeabilidade alta e processos erosivos intensos em solos residuais e baixos em solos litificados. A Formação Rosário do Sul apresenta, segundo o IBGE (1986), características de deposição em ambiente fluvial, consistindo em arenitos bastante finos, de baixa permeabilidade, o que acaba proporcionando uma maior proteção dos solos. A Formação Serra Geral (Basaltos), conforme Maciel Filho (1990) apresenta solos litólicos constituídos por fragmentos basálticos, de baixa estabilidade nos taludes, e com intensos movimentos de massa (rastejos e corridas de terra durante chuvas intensas); apresentando permeabilidade fissural. Maciel Filho (1990) ainda salienta que a Formação Serra Geral (Riólitos) possui comportamento semelhante ao Basalto Serra Geral.

Segundo a classificação de solos do Rio Grande do Sul, proposto por Streck et al (2002), em conformidade com as normas estabelecidas pela EMBRAPA, podem ser encontrados na Bacia do Arroio Grande, os seguintes solos (**Figura 2**): 1) Planossolo Hidromórfico (SGe1); 2) Argissolo Vermelho Distrófico Arênico (PVd2); 3) Alissolo Hipocrômico Argilúvico (APt2); 4) Associação Chernossolo Argilúvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico Chernossólico (MTf – RLe1); 5) Argissolo Vermelho Amarelo Alumínico (PVAa3); e 6) Argissolo Vermelho Amarelo (PVAa1).

O enquadramento fitogeográfico da Bacia do Arroio Grande, segundo estudos de Brena e Longhi (2002), corresponde principalmente às florestas estacionais decíduas. As florestas são tipicamente ombrófilas, que avançaram sobre os campos, resquícios de um clima árido e frio, e sobre as matas de araucárias. Revestindo toda a encosta sul do Planalto Rio-grandense, encontra-se uma floresta densa, de caráter estacional, tipicamente conhecida por Mata Atlântica. A floresta é caracterizada por uma grande densidade de indivíduos, com estratos que variam desde espécies herbáceas até espécies com mais de 30 metros. Brena e Longhi (2002) ainda salientam que ocorrem na área espécies comuns das formações secundárias, todas especializadas na colonização de clareiras. Dentro da área, as espécies florestais encontram-se distribuídas conforme a aptidão dos ambientes naturais. Três tipos de formações podem ser encontrados: I) Formações Aluviais; II) Formações Submontanas, compreendendo terrenos ondulados e dissecados; e III) Formações Montanas, abrangendo áreas com altitudes superiores a 400 metros.

Dados de uso e cobertura da terra, para 15/03/2002, obtidos a partir de imagens segmentadas do Satélite LANDSAT 7 ETM, indicam que a Bacia do Arroio Grande apresenta

44,44% de sua área coberta por florestas, 34,23% de sua área ocupada com campos e 20,82% de sua área ocupada com cultivos agrícolas (considerando-se aí lavouras agrícolas, lavouras irrigadas e solos preparados para cultivo/pousio). A **Tabela 1** e a **Figura 3** apresenta os dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande para o ano de 2002. A Bacia do Arroio Grande encontra-se em uma área de transição entre a Depressão Periférica Sul-Riograndense e o Planalto Norte-Riograndense. Apresenta portanto, três compartimentações geomorfológicas distintas: depressão, escarpa e planalto.

Uso da Terra	Área (Hectares)	Área (%)
Florestas	15.715,05	44,44
Campos	12.105,05	34,23
Agricultura	3.697,48	10,45
Agricultura Irrigada	1.749,34	4,95
Solos Expostos	1.919,21	5,42
Lâmina d'água	173,39	0,51
TOTAL	35.359,52	100,00

Tabela 1 – Dados de uso e cobertura da terra da Bacia do Arroio Grande.

A ocupação da Bacia do Arroio Grande iniciou-se a partir da metade do Século XIX, com a entrada de imigrantes italianos. A ocupação foi intensificada a partir de 1890, com o aumento das atividades agrícolas e comerciais, estando ligadas à extração de madeira e cultivo agrícola. A partir da ocupação por esses grupos, a região adotou alguns aspectos particulares, como a policultura e o predomínio de pequenas propriedades rurais. Segundo dados do IBGE (2004), os municípios de Silveira Martins localizam-se na bacia e apresenta densidade populacional média de 24,5 hab/km, e leve predomínio de população rural. Os principais produtos cultivados são feijão, milho e soja, destacando-se também a extração de madeira. Nas áreas de várzea foi desenvolvida a cultura do arroz irrigado. Mas o forte da produção agrícola, segundo Itaquí (2002), permaneceu nas encostas das serras até meados de 1950 – 1960. Essa realidade somente mudou com o acesso a mecanização agrícola e às novas tecnologias difundidas pela Revolução Verde. Em 1994, os remanescentes da Mata Atlântica e ecossistemas associados foram reconhecidos pela Organização das Nações Unidas para a Educação e Cultura (UNESCO) como integrantes da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica Brasileira.

3. Análise espacial de dados geográficos e álgebra de mapas

Esta seção apresenta algumas discussões sobre a recuperação, processamento e manipulação de dados geográficos. Tal referencial teórico centra-se se em Burrough e Mcdonnell (1998), Aronoff (1995), Câmara et al (1997), Cordeiro et al (2001) e Monteiro et al (2001).

O que caracteriza um SIG são as funções que realizam análises espaciais, utilizando as informações geográficas armazenados na base de dados espaciais, e realizando simulações sobre os fenômenos do mundo real. Diversas são as possibilidades de análise espacial disponíveis em um SIG. Nesse sentido, busca-se discutir o processo de Inferência Geográfica. O embasamento teórico apresenta uma grande gama de artigos sistematizando tais operações, com destaques para Goodchild (1987), Burrough e Mcdonnell (1998) e Dangermond (1991).

Os principais problemas relacionados às operações booleanas são os limiares nítidos e rígidos, que nem sempre representam os fenômenos naturais corretamente. Nesse sentido, utilizo as considerações de Burrough e Mcdonnell (1998), que na natureza os fenômenos não são representados por limites estáticos ou rígidos. A partir dessas considerações, buscou-se outras metodologias de análise espacial, com o intuito de produzir novas informações que

representassem, de uma maneira mais complexa, os fenômenos naturais. Para tanto, utilizou-se da Inferência Fuzzy, que tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes (Burrough e McDonnell, 1998).

Para muitos pesquisadores (Cox, 1994; Fang, 1997), um benefício significativo dos modelamentos baseados em lógica fuzzy é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito aos processos de decisão. Os sistemas de inferências baseados em lógica fuzzy possibilitam, assim, a captura do conhecimento próximo ao “modelo cognitivo” utilizado na análise de problemas. Isto significa que o processo de aquisição do conhecimento é mais fácil, mais confiável e menos sujeito a erros não identificados. O conjunto fuzzy, segundo Burrough e McDonnell (1998), é uma metodologia de caracterização de classes que não possuem, por várias razões, limites rígidos ou estáticos. Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicado para estudos que apresentam ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos. Burrough (1992) demonstra como as incertezas nos valores dos atributos dos mapas causam erros nos resultados das inferências espaciais efetuadas segundo modelamentos booleanos e fuzzy. Os resultados obtidos por esse autor sugere que os métodos booleanos estão muito mais sujeitos à propagação de erros do que os equivalentes fuzzy, e que a utilização da técnica fuzzy pode reduzir drasticamente a propagação de erros através de modelos lógicos, fornecendo informações mais confiáveis.

Atualmente, existem vários operadores de inferência espacial para a integração de dados, dentre as quais destaco os modelos Bayesiano, Redes Neurais, Média Ponderada e o Processo Analítico Hierárquico. Utilizou-se a Inferência Fuzzy Ponderada, pela maior facilidade e simplicidade de modelagem, bem como uma melhor adaptação aos objetivos propostos por essa dissertação. Um dos conceitos norteadores no suporte a decisão é o princípio de racionalidade. Para explicar a técnica fuzzy, utiliza-se como exemplo o processo de zoneamento ambiental. O zoneamento é estabelecido a partir de variáveis ambientais, como uso da terra (1), declividades (2), formações geológicas (3) e formações litológicas (4). Esses fatores são comparados entre si, conforme um critério de importância relativa atribuída às diversas classes temáticas e informações numéricas (conforme **Tabela 2**). Nesse sentido, Barbosa et al (2001) comentam que os pesos de cada variável são calculados conforme os autovalores e autovetores da matriz de comparação pareada. Com base nessa comparação, a técnica fuzzy classifica e transforma os dados para um espaço de referência entre [0 e 1], ou seja, entre [0 e 100%]. Nesse sentido, obtenho, ao invés de um mapa temático com limites rígidos, uma superfície de decisão numérica que representa uma variação contínua. No exemplo, a superfície numérica de decisão permite-me construir um cenário que pode espelhar diferentes compromissos na tomada de decisões ambientais, privilegiando-se maior proteção ambiental ou otimizando a exploração econômica e agrícola (e. g.).

Intensidade de importância	Definição e Explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários – possibilidade de compromissos adicionais entre julgamentos.

Tabela 2 –Escala de valores AHP para comparação pareada.

Fonte: Barbosa et al (2001).

Segundo Câmara (2001) o Processo AHP é uma teoria com base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos. Requer a estruturação de um modelo hierárquico, o qual geralmente é composto por um processo de comparação pareada, por importância relativa, preferências e probabilidade, entre dois critérios.

4. O processo de vulnerabilidade das unidades ecodinâmicas e o zoneamento ambiental

Os ambientes naturais mostram-se, inicialmente em equilíbrio dinâmico. Ao avaliar a vulnerabilidade dos ambientes naturais, utilizo as preposições de Ross (1994), que, em uma concepção ecológica, analisa o meio ambiente sob o prisma da Teoria de Sistemas das Unidades Ecodinâmicas. Os autores apontam que, na natureza, as trocas de energia se processam através de relações de equilíbrio dinâmico, e que esse equilíbrio dinâmico frequentemente é alterado por intervenções humanas. Esse tipo de análise requer estudos inter-relacionados de relevo, solos, sub-solos, uso e cobertura da terra e clima.

A vulnerabilidade ambiental é estipulada através de Inferência Fuzzy - Processo Analítico Hierárquico. Neste procedimento, os diferentes fatores são analisados e comparados entre si através de um critério de importância relativa, conforme uma escala pré-definida, que varia de 1 a 9 (Igual importância – Máxima importância). Para tanto, cada parâmetro a ser avaliado receberá um valor de importância relativa que indicará a intensidade da vulnerabilidade ambiental. O arranjo das classes de declividade, segundo Ross (1994), fica determinado na **Tabela 2**.

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividade
Muito fraco	Ate 6%
Fraco	De 6 a 12%
Médio	De 12 a 20%
Forte	De 20 a 30%
Muito forte	Acima de 30%

Tabela 2 – Importância das classes de declividades nos processos erosivo.

Fonte: Ross (1994).

As classes de erodibilidade dos solos, segundo Ross (1994), considerando-se o escoamento superficial difuso e concentrado, podem ser agrupados conforme a **Tabela 3**.

Categorias Hierárquicas	Classes de solos
Muito fraco	Latossolo roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo de textura argilosa
Fraco	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo de textura média argilosa
Médio	Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Solos Podzólicos Vermelho amarelo de textura média argilosa
Forte	Podzólico Vermelho amarelo de textura médio-arenosa e Cambissolos
Muito forte	Podzólicos, Litólicos e Areias Quartzosas

Tabela 3 – Importância dos tipos de solos na ocorrência de processos erosivos.

Fonte: Ross (1994).

A ocorrência de processos erosivos a partir das classes de uso e cobertura da terra obedece à classificação estabelecida conforme critérios de ROSS (1994), sendo apresentada na **Tabela 4**.

Categorias Hierárquicas	Classes de uso da terra
Muito fraco	Florestas e matas naturais com biodiversidade
Fraco	Formações arbustivas naturais, matas secundárias, cerrados e capoeiras
Médio	Cultivos de ciclos longos, pastagens com baixo pisoteio de gado, silvicultura
Forte	Culturas de ciclo longo com baixa densidade, culturas de ciclo curto
Muito forte	Áreas desmatadas, solo exposto, agricultura não-conservacionista

Tabela 4 – Importância da cobertura vegetal nos processo erosivo.
Fonte: Ross (1994).

O processo erosivo em formações geológicas é apresentado na **Tabela 5**, considerando nas formações geológicas o grau de agregação das partículas e a resistência aos processos erosivos.

Categorias Hierárquicas	Classes de formações geológicas
Muito alto	Formação Aluvial
Alto	Formação Botucatu
Médio	Formação Rosário do Sul
Baixo	Basalto Serra Geral
Muito baixo	Riólito Serra Geral

Tabela 5 – Importância das formações geológicas no processo erosivo.

Este tipo de análise espacial representa valores contínuos, em que os dados são transformados para o espaço de referencia [0 ... 1] ou seja, de 0 a 100%, e processados por combinação numérica ou inferência fuzzy. Um conjunto deste tipo tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes. O principal objetivo ao estabelecer o zoneamento ambiental e a vulnerabilidade potencial do meio natural corresponde à elaboração de um cenário preservacionista, que me permita selecionar áreas para reflorestamentos prioritários, dentro da perspectiva de reduzir a perda de água e de solos. No zoneamento ambiental a partir da vulnerabilidade ambiental, conforme **Figura 4**, a fragilidade do meio natural varia desde áreas “estáveis” até áreas com “instabilidade emergente”, em uma escala de [0 a 100%] de risco ambiental. A **Tabela 6** apresenta as classes de vulnerabilidade ambiental, bem como o respectivo risco ambiental.

Classe de Zoneamento Ambiental	Risco Ambiental	Área	
		Hectares	(%)
Estável	Até 20%	4.788,22	13,55
Estabilidade Moderada	Entre 20 e 40%	12.748,80	36,06
Instabilidade Moderada	Entre 40 e 60%	7.199,00	20,36
Instabilidade Emergente	Entre 60 e 80%	4.450,90	12,59
Instável	Acima de 80%	6.172,60	17,44
Total	---	35.359,52	100

Tabela 6– Zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Grande.

A partir desta classificação, pode-se estabelecer a adequação de ocupação e as normas de proteção de áreas que apresentam maiores riscos ambientais. As áreas altamente instáveis, necessitam de maiores proteções, o que pode ser obtido com o reflorestamento de áreas desmatadas ou agrícolas que se enquadram nessa classificação. De uma maneira geral, define-se que as áreas que apresentam as maiores instabilidades são ocupadas por atividades

agrícolas em altas declividades, pois esta combinação define a instabilidade e a fragilidade frente aos processos erosivos. Em um lado oposto, áreas bastante estáveis apresentam boa cobertura florestal e baixas declividades. Cita-se aqui, a influencia do tipo de solo, agravante dos processos erosivos, pois a associação de chernossolos e neossolos cria condições francamente favoráveis a instalação de erosão laminar, devido principalmente da baixa profundidade e elevada permeabilidade deste tipo de solo. As áreas estáveis (risco ambiental de até 20%), ocupam 4.788,22 hectares da Bacia do Arroio Grande, ocorrendo principalmente no planalto. As áreas de estabilidade moderada (risco ambiental entre 20 e 40%) também ocorrem no planalto, e ocupam uma área de 12.748,80 hectares. Nas escarpas ocorrem as classes com maiores riscos ambientais, como as áreas instáveis (risco ambiental entre 60 e 80%), com 4.450,90 hectares, e áreas de instabilidade emergente (risco ambiental maior que 80%), com 6.172,60 hectares. Já nas planícies aluviais da Bacia do Arroio Grande, encontram-se as áreas com risco ambiental entre 40 e 60% (instabilidade moderada), que ocupam uma área de 7.199,00 hectares.

5. Considerações Finais

O processo de zoneamento ambiental a partir da vulnerabilidade do meio ambiente natural permite organizar e avaliar a ocupação humana, bem como a intensidade de exploração. A Inferência Geográfica Fuzzy apresenta uma grade de valores relativos, que supera tecnicamente o processo de intersecção de conjuntos espaciais, como operações booleanas de mesma ordem de grandeza. A grande vantagem reside na possibilidade de avaliar o espaço geográfico continuamente, e não através de limites rígidos, como em conjuntos de dados estáticos. Tal processo cria uma superfície de decisão, que representa uma variação da grandeza avaliada, como a vulnerabilidade ambiental, oferecendo uma flexibilidade muito maior sobre problemas espaciais.

6. Referências Bibliográficas

- ARONOF, S. Geographic Information Systems: A Management Perspective. Ottawa: WDL Publications, 1995.
- BARBOSA, C. C. F. et al. Manual de Referencia em LEGAL. São José dos Campos: INPE, 2001. In: MONTEIRO, A. M. V. et al. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE. 2001.
- BRENA, D. A. e LONGHI, S. J. Inventário Florestal da Quarta Colônia. In: ITAQUI, J. Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002. 256 p.
- BURROUGH, P. A. Development of intelligent geographical information system. International Journal of Geographical Information Systems. (1): 1 – 11, 1992.
- BURROUGH, P. A. e MCDONNELL, R. A. Principles of Geographic Information Systems. Oxford: Oxford University, 1998.
- CÂMARA, G. et al. Anatomia dos sistemas de informações geográficas. Campinas: UNICAMP, 1997. 197p.
- CÂMARA, G. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CORDEIRO, J. P. et al (2001). Álgebra de Mapas. In: MONTEIRO, A. M. V. et al. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE. 2001.
- COX, E. The fuzzy systems: handbook a practitioner guide to building, using and maintaining fuzzy systems. London: London Academic Press, 1994.

- DANGERMOND, K. A Classification of Software Components Commonly Used in Geographic Information Systems. In: Introductory Readings in Geographical Information Systems. (?): 31 – 51, 1991.
- FANG, J. H. Fuzzy logic and Geology. In: Geotimes – News and Trends in Geoscience. (42): 23 – 26, 1997.
- Goodchild, M. A spatial analytical perspective on Geographical Information Systems. In: International Journal of Geographical Information Systems, (4): 327 – 334, 1987.
- IBGE. Levantamentos de recursos naturais: folha SH.22 Porto Alegre e partes das folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim. IBGE. Projeto Radam Brasil. Rio de Janeiro: FIBGE, vol 33, 1986.
- IBGE. IBGE@Cidades. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidades>. Acesso em: Março/2004.
- ITAQUI, J. (2002). Quarta Colônia – Inventário Técnico de Flora e Fauna. Santa Maria: Condesus Quarta Colônia, 2002. 256 p.
- MACIEL FILHO, C. L. Carta Geotécnica de Santa Maria. Santa Maria: UFSM, 1990. 28p.
- MINISTERIO DA CIENCIA E TECNOLOGIA. Diretrizes estratégicas para o fundo de recursos hídricos. Brasília: C e T, 2001. 38p.
- Monteiro. A. M. V. et al. Introdução à Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: INPE. 2001.
- MULLER FILHO, I. L. Notas Para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 1970. 34p.
- NOVO. E. M. L. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 1993.
- POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS. Lei n.º 9433, de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>. Acesso em: Setembro/2002.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade ambiental dos ambientes naturais e antropizados. In: Revista do Departamento de Geografia (USP). (6): 63 - 74. 1994.
- STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE, 1977.

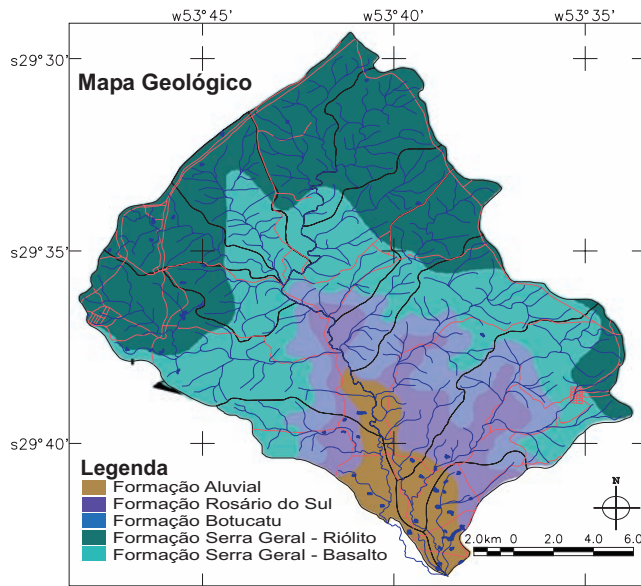


Figura 1 - Mapa geológico da Bacia do Arroio Grande.



Figura 2 - Mapa de solos da Bacia do Arroio Grande.

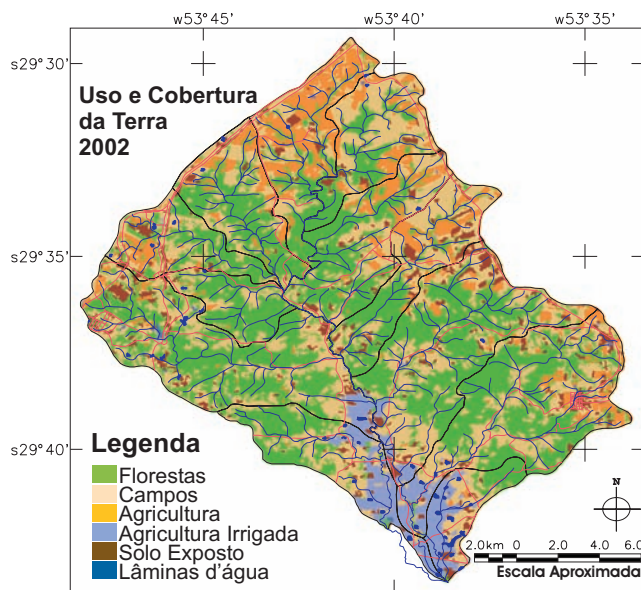


Figura 3 - Mapa de uso e cobertura da terra na Bacia do Arroio Grande.

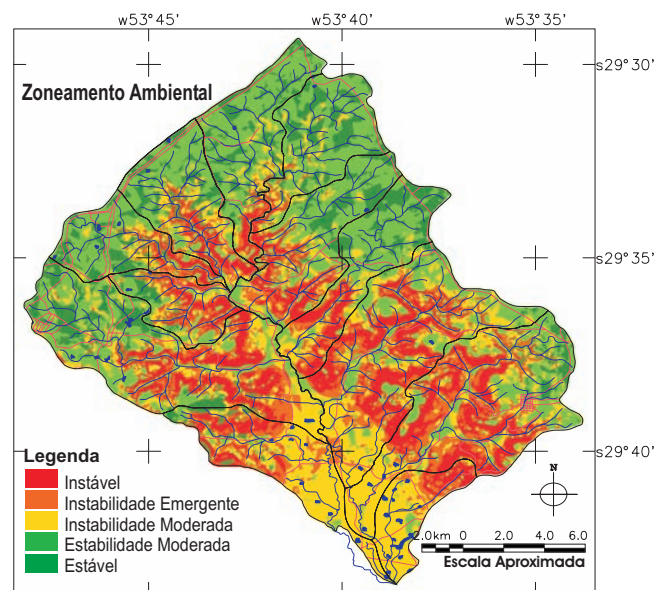


Figura 4 - Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande.