



## **Análise de sensibilidade para fragilidade física do território do Alto Camaquã à ponderação multicritério**

**Nájila Souza da Rocha<sup>1</sup>, Cibelle Machado Carvalho<sup>2</sup>, Rafael Cabral Cruz<sup>3</sup>,  
Pâmela Suélen Käfer<sup>4</sup>, Thiago Roberto Almeida<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (najila.rocha2011@gmail.com); <sup>2</sup> Laboratório Interdisciplinar de Análises Ambientais/ Universidade Federal de Santa Maria (cibelle\_mc@yahoo.com.br); <sup>3</sup> Laboratório Interdisciplinar de Análises Ambientais/ Universidade Federal do Pampa (rafaelcabralcruz@gmail.com); <sup>4</sup> Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico/ Universidade Federal do Rio Grande do Sul (pamelaskäfer@gmail.com); <sup>5</sup> Laboratório de Fluidodinâmica Computacional/ Universidade Federal do Rio Grande (eq.thiago@yahoo.com.br).

### **Resumo**

As análises ambientais englobam discussões interdisciplinares que devem refletir sobre os aspectos socioambientais do território de análise, estas dependem de modelos que envolvem o conhecimento empírico dos pesquisadores envolvidos. Nessa perspectiva, esses estudos sofrem determinada subjetividade e incertezas, tornando a realização de análises de sensibilidade dos modelos de suma importância para a validação dos mesmos. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de fragilidade do ambiente físico do território do Alto Camaquã frente à redução da disponibilidade hídrica através de uma análise de sensibilidade dos fatores envolvidos. Os resultados demonstram que a região possui de média a alta fragilidade, sendo um sinal de alerta para futuras pesquisas. A análise de sensibilidade não exclui as discussões acerca das variáveis envolvidas nas análises ambientais, mas demonstrou ser uma ótima ferramenta para diminuir incertezas.

Palavras-chave: Fragilidade Ambiental. Bioma Pampa. Território.

Área Temática: Impactos Ambientais.

## **Sensitivity analysis for physical fragility of the Alto Camaquã territory to multicriteria weighting**

### **Abstract**

*Environmental analyzes include interdisciplinary discussions that must reflect on the socio-environmental aspects of the analysis territory, these depend on models that involve the empirical knowledge of the researchers involved. Therefore, these studies suffer certain subjectivity and uncertainties, in this sense the performance of sensitivity analyzes of the models becomes of paramount importance for the validation of the same ones. The objective of this work is to study the fragility of the physical environment of the Alto Camaquã area in order to reduce water availability through a sensitivity analysis of the factors involved. The results have already shown that the region has medium to high fragility, which gives a warning signal for future research. Sensitivity analysis does not exclude discussions about the variables involved in environmental analyzes, but it has proven to be a good tool to reduce uncertainties.*

*Key words: Environmental Fragility. Pampa Biome. Territory.*

*Theme Area: Environmental Impacts*



## 1 Introdução

Análises de fragilidades ambientais são realizadas com o propósito de se identificar as áreas, de um determinado território, com melhores ou piores condições de resiliência e estabilidade. Estas têm como objetivo maior evitar a degradação de sistemas auto-organizativos, frente às alterações no meio ambiente, decorrentes de ações perturbadoras (CRUZ *et al.*, 2012).

Os sistemas ambientais apresentam maior ou menor fragilidade em função de suas características físicas, ambientais e sociais. Estas características sofrem perturbações, tanto por influências antrópicas quanto por influências naturais, que alteram suas estruturas e funções e que, dependendo da capacidade de resiliência do território, podem levar a uma maior ou menor degradação do meio (CRUZ *et al.*, 2014; PADILHA, 2014; PADILHA, 2008).

Segundo Padilha *et al.* (2014) “cabe à equipe ou ao projetista, identificar quais serão os  $n$  fatores que farão parte da avaliação em cada um dos ambientes, assim como a definição de sua importância relativa dentro do modelo.” Nesse sentido a avaliação multicritério contempla a diversidade natural em  $n$  fatores e considera a sua variabilidade, atribuindo a eles pesos de importância dentro de cada composição do modelo. Independente do método, as incertezas são inevitáveis em análises multicritérios, pois dependem das formações e informações dos técnicos envolvidos no trabalho. Em contrapartida, essas análises proporcionam ampla discussão do problema e levam a resultados coerentes com a realidade.

Uma das alternativas para diminuir as incertezas nos modelos de análise multicritério, quanto à ponderação das variáveis do estudo, proposta por Trevisan (2008) é o de “Análise de Sensibilidade”. Esta análise pode revelar redundância entre fatores, evidenciando a importância de outros e reduzindo discussões quanto à ponderação das variáveis.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar um estudo de fragilidade do ambiente físico do território do Alto Camaquã frente à redução da disponibilidade hídrica através de uma análise de sensibilidade dos fatores envolvidos.

## 2 Materiais e Métodos

O Ambiente Físico neste trabalho leva em consideração os mapas de Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD), elaborados a partir de dados de uso do solo disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2009), também o Mapa de Resistência do Solo do Estado do Rio Grande do Sul (RS) quanto a resistência a impactos ambientais, na escala 1:250.000, elaborado por FEPAM (2001), e o próprio Mapa de Uso de Solo do Rio Grande do Sul, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

A metodologia utilizada para elaboração dos mapas finais foi a de Álgebra de Mapas, no *software* ArcGIS 9.3 (ESRI, 2008), licença concedida à UFSM pela empresa ESRI - (*Environmental Systems Research Institute*), que compreende procedimentos matemáticos de análise espacial aplicados a geoprocessamento e que resultam em novas informações. Trata-se de uma linguagem especializada para realizar operações que tem tanto um sentido matemático quanto cartográfico e espacial.

A metodologia utilizada é a mesma desenvolvida pelo projeto FRAG-RIO (MMA, 2009), através de um esquema de pesos (para variáveis) e notas (para classes). Neste método cada variável possui um conjunto de classes aos quais são atribuídas notas, que variam de 0 a 255 (número de cores disponíveis no programa utilizado), sendo que quanto maior a nota atribuída mais frágil é a classe.

As notas, de cada classe das variáveis, são somadas pixel a pixel, por meio de média ponderada dos pesos atribuídos conforme valor de importância para cada variável, por fim são criados os cenários de fragilidade para o ambiente. Os pesos referidos acima são aqueles



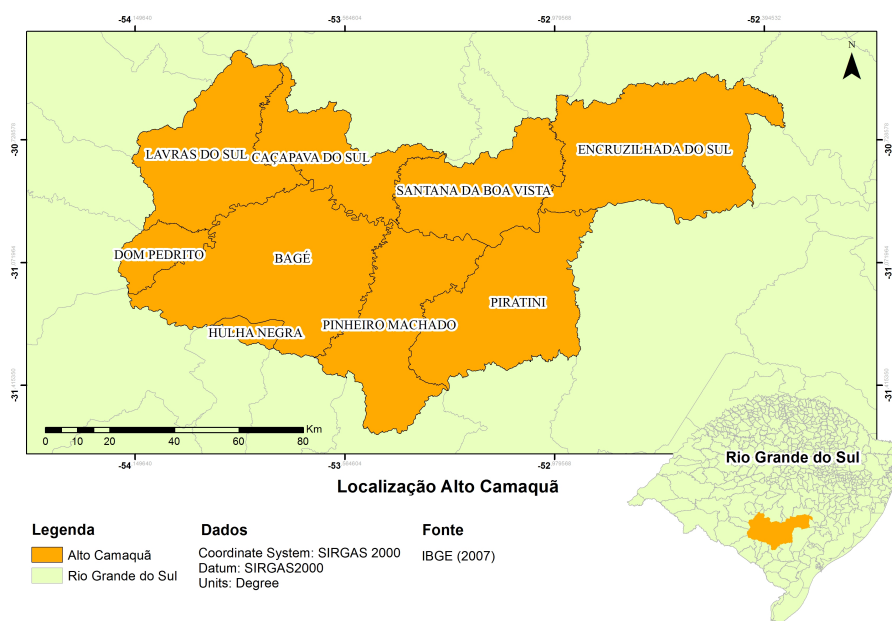
utilizados na matemática para atribuir importância diferente a cada valor, sendo que estes devem somar 100% em cada avaliação (CARDOSO *et al.*, 2015).

As notas dadas para cada classe das variáveis foram relativas à vulnerabilidade da variável frente ao déficit hídrico causado, ou não, pelo aumento de temperatura previsto pelo IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change - em caso de Mudança Climática. Ainda, quando necessário, professores e pesquisadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (PPGEAmb-UFSM) foram consultados sobre quais as classes deveriam ser consideradas mais frágeis neste estudo.

## 2.1 Área de Estudo

O Alto Camaquã, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Camaquã (Figura 1), localiza-se no seu terço superior, abrangendo uma área de 8.172 km<sup>2</sup> e compreendendo uma população de 24.700 habitantes (FEPAM, 2007). A temperatura média anual varia entre 16 °C e 18 °C, a precipitação entre 1.500 mm e 1.600 mm, e a hipsometria entre 100 m e 450 m (SEPLAG, 2007). O relevo resultante da heterogeneidade geomorfológica é bastante variado, com predominância de paisagens com declividades acentuadas. A vegetação característica envolve a coexistência entre os tipos fitogeográficos savana gramíneo-lenhosa e floresta estacional semidecidual, e alguns pequenos fragmentos de floresta ombrófila mista (IBGE, 2007; WEBER e HASENACK, 2006) (Figura 1).

Figura 1 - Localização bacia do Rio Camaquã e sub-bacia Alto Camaquã.



Fonte: Elaborado pela Autora.

Este território está inserido no Bioma Pampa, bioma este dependente da relação pecuária/campo para a sua própria preservação e conservação (CRUZ & GUADANIN, 2010). Os pecuaristas familiares são parte importante deste processo, por manterem essa relação com pouca interferência dos modelos que visam apenas o extrativismo dos recursos naturais.

## 2.2 Ambiente Físico - Fragilidade Física

A partir do mapa de uso e cobertura do solo, disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2007), foram determinadas as CADs para a sub-bacia de estudo, apresentados na Tabela 1. Os valores de referência utilizados para essa variável foram



estipulados por Pereira et al. (2002) apud Carvalho Neto (2014) e adaptados para os solos da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (2010) pelo mesmo autor.

Tabela 1 – Classes e fragilidades (notas) do uso e ocupação do solo e da Capacidade Máxima de Água Disponível (CAD) no território do Alto Camaquã Camaquã

<b>Uso e ocupação do solo</b>	<b>CAD</b>	<b>Fragilidade CAD</b>	<b>Fragilidade Uso e Ocupação</b>
Silvicultura	100	64	57
Pastagem Pecuária	60	128	255
Pastagem + Lavoura arroz	60	128	224
Pastagem + Lavoura	60	128	197
Vegetação Campestre + Pastagem + Lavoura Diversificada	60	128	170
Vegetação Campestre + Pastagem	60	128	140
Vegetação Florestal + Lavoura + Pastagem	60	128	85
Lavoura Soja/Trigo	20	192	113
Área Urbanizada	0	255	-
Mineração	0	255	28

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a análise da fragilidade foram consideradas que as áreas que possuem menor capacidade de água disponível são mais frágeis frente ao déficit hídrico causado ou não pelas mudanças climáticas, portanto possuem maior nota (255). Isso ocorre porque quanto menor a CAD, mais água será escoada e menos água estará disponível para as plantas.

A segunda variável deste ambiente é o uso e ocupação do solo, as classes são as mesmas utilizadas para a construção da CAD, porém receberam notas de fragilidade referentes à sua importância para a preservação e conservação do ecossistema do Bioma Pampa e da manutenção dos pecuaristas familiares no território frente às mudanças que estão sendo estudadas nesta pesquisa.

O uso e ocupação do solo e as classes foram definidos conforme o mapa disponibilizado pelo IBGE (2007). Estabeleceu-se que, quanto mais propício o uso for para a produção pecuária e manutenção dos agricultores na região, maior será a nota atribuída, pois maior importância se dá a essas áreas. Além disso, sistemas produtivos mais dependentes da água foram considerados mais frágeis que sistemas mais adaptados ao déficit hídrico.

A terceira variável analisada no Ambiente Físico mapa de classificação dos solos do Estado do RS, quanto a resistência aos impactos ambientais, na escala 1:250.000, elaborado por Nestor Kampf para FEPAM (2001), o qual contempla na região de abrangência do projeto, 4 classes de solos. Estas classes de solos possuem variada resistência a impactos ambientais, em função de sua profundidade, textura, gradiente textural, drenagem, nível freático, lençol suspenso, risco de inundação, susceptibilidade à erosão, relevo, declividade, aptidão agrícola e tipo de argilomineral (MMA, 2011). Esta variável abrange tantas características físicas do solo que sua utilização sintetiza a utilização de outros mapas básicos, como relevo e declividade.

De acordo com os fatores do solo ou do terreno, esta variável foi classificada em 4 classes de resistência a impactos ambientais como consta no relatório da FEPAM (2001): alta (a); média (b); baixa (c) e muito baixa (d). Estas classes receberam notas de fragilidade, como segue: (a)64; (b)128; (c)192 e (d) 255.



## 2.2 Análise de Sensibilidade

O conceito de sensibilidade “considera as diferenças entre os fatores (mapas) resultantes de processamento da avaliação multicritério quando se faz a variação do peso de um fator mantendo-se os demais iguais” (PADILHA *et al.*, 2014). Segundo os mesmos autores, esta análise necessita da construção de um cenário testemunha (CT), em que seus indicadores (variáveis) possuam o mesmo valor de importância.

Sendo assim, este cenário homogêneo servirá de referencial para a avaliação da diversidade possível de ser revelada em outros cenários ponderados. Esta metodologia foi descrita por Padilha *et al.* (2014) e será a mesma desenvolvida nesta análise. Segundo essa metodologia os valores que se afastem mais de 1, seriam os melhores cenários para representar o território.

Como a Fragilidade Física possui três variáveis de estudo, temos que: F1 (Fator 1) é Uso do Solo; F2 (Fator 2) é Resistência do Solo; e F3 (Fator 3) é CAD. Foram criados cinco cenários diferentes para cada fator colocado em evidência, com valores de 0 à 50%, sempre somando 100% na ponderação, como apresentado na Tabela 2.

A estatística utilizada foi a correlação de Pearson disponível na rotina *Spatial Analyst Tools/Multivariate/Band Collections Statistics*, no software ArcGIS 9.3

Tabela 2 – Ponderação das variáveis para Análise de Sensibilidade

Fator	Variável	CT	C1	C2	C3	C4	C5
F1 sob ponderação	Uso do Solo	33,33%	10%	20%	30%	40%	50%
F2 fixo	Resistência do Solo	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
F3 fixo	CAD	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
Fator	Variável	CT	C1	C2	C3	C4	C5
F1 fixo	Uso do Solo	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
F2 sob ponderação	Resistência do Solo	33,33%	10%	20%	30%	40%	50%
F3 fixo	CAD	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
Fator	Variável	CT	C1	C2	C3	C4	C5
F1 fixo	Uso do Solo	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
F2 fixo	Resistência do Solo	33,33%	45%	40%	35%	30%	25%
F3 sob ponderação	CAD	33,33%	10%	20%	30%	40%	50%

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 3 Resultados e Discussões

Os resultados, apresentados na Tabela 3, demonstram que o cenário F1C1 representa melhor a realidade, pois o resultado da estatística foi 0,84, aquele que mais se distancia do CT. Por outro lado, os cenários C3 e C4 são aqueles que mais se aproximam do cenário testemunha (CT) e, portanto, representariam condições muito homogêneas e distantes da realidade.





Tabela 3 –Resultado da análise estatística de Pearson

	C1 (0,1)	C2 (0,2)	C3 (0,3)	C4 (0,4)	C5 (0,5)
CT X F1	0,84204	0,94989	0,99721	0,99073	0,95356
CT X F2	0,86285	0,9487	0,9966	0,9864	0,92401
CT X F3	0,98021	0,99219	0,99935	0,99739	0,97992

Fonte: Elaborado pelos autores.

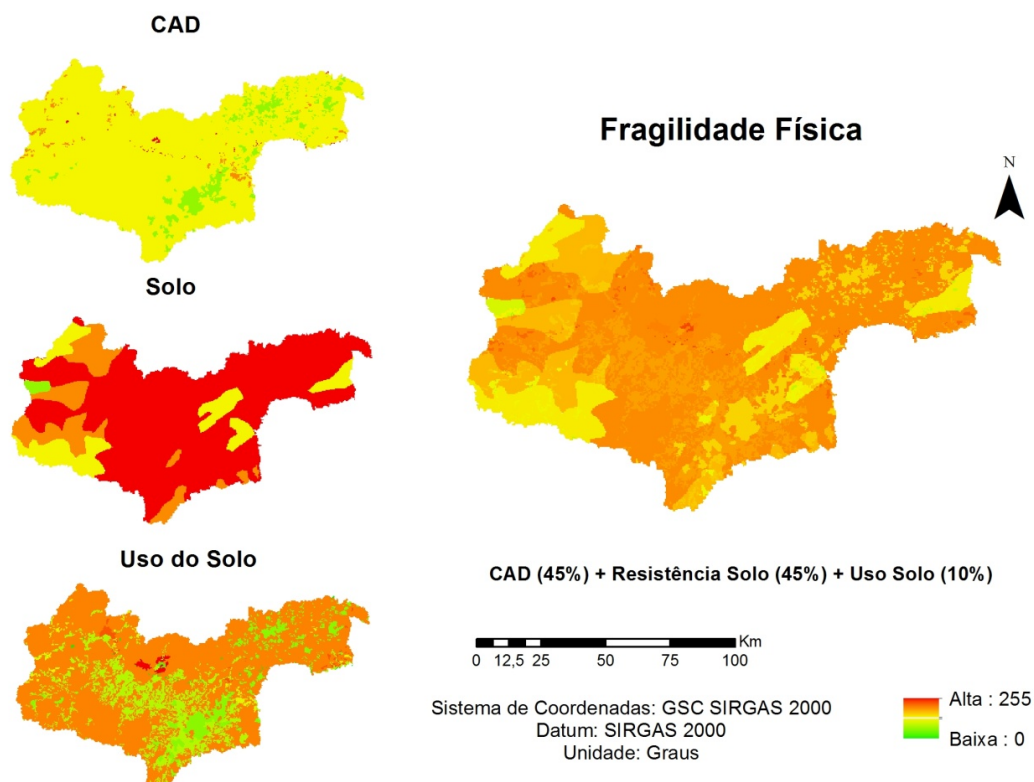
Através do resultado de análise de sensibilidade ficaram estabelecidos os pesos para cada variável, 10% para a variável “Uso do solo” e 45% para as variáveis “CAD” e “Resistência do Solo”. Um modelo esquemático da formação do Ambiente Físico é apresentado na Figura 2.

A Fragilidade Física do território é altamente influenciada pelo Mapa de Resistência do Solo, justamente por este apresentar muito baixa resistência na maior parte do território.

As regiões a oeste da sub-bacia possuem menor fragilidade física, justamente porque os solos desta região são mais resistentes a impactos ambientais. Já as regiões ao centro da bacia, que possuem muito baixa resistência do solo, são as áreas de maior fragilidade física. Ao leste da bacia há manchas de média fragilidade, principalmente nas regiões que sofrem introdução de áreas de silvicultura.

Essa avaliação demonstra que a maior parte da região de estudo possui de média a alta fragilidade, corroborando com pesquisas qualitativas realizadas por Neske (2012), Carvalho *et al* (2014) e Carvalho (2015) na mesma região deste estudo.

Figura 2 – Modelo esquemático da fragilidade do Ambiente Físico



Fonte: Elaborado pelos autores.



#### 4 Conclusões

A análise de sensibilidade realizada para ponderação multicritério se demonstrou uma ótima ferramenta para auxiliar nas análises de fragilidade ambiental, apesar de não excluir as decisões e o conhecimento empírico do pesquisador, é capaz de diminuir as subjetividades no momento da ponderação.

Sabe-se que as análises multicritério, principalmente sobre estudos ambientais, refletem muito o pensamento do grupo decisório sobre as notas e pesos estabelecidos. A análise de sensibilidade, assim como em estudos preliminares realizados por Padilha et al. (2014), também permitiu o refinamento da avaliação multicritério, os resultados puderam ser melhor avaliados pelo fato de se entender quais as variáveis que influenciavam mais no sistema.

A fragilidade física do Alto Camaquã é apenas a primeira realizada em um projeto maior que abrange também os aspectos hídricos e sociais da região. Apesar disso, já demonstra que a região possui de média a alta fragilidade, dando um sinal de alerta para futuras pesquisas.

#### 5 Referências

CARDOSO, O. R. et al. Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). Porto Alegre, **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2 p. 507-522, abr./jun. 2015.

CARVALHO NETO, R. M. **Uso do Balanço Hídrico Climatológico para subsidiar tomadas de decisão quanto ao manejo de Bacias Hidrográficas**. 2014, 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2014.

CARVALHO, C. M.; NUNES, D. S.; ROCHA, N. S.; CRUZ, R. C. A construção da gestão e educação ambiental dos recursos hídricos na pecuária familiar do Alto Camaquã. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.5, p.4019-4027, dez. 2014.

CARVALHO, C.M. **A pecuária familiar e a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Camaquã: um estudo de caso no território do Alto Camaquã**. 2015, 121p.Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

CRUZ, R. C.; GUADAGNIN, D. L. Uma pequena história ambiental do Pampa: proposta de uma abordagem baseada na relação entre perturbação e mudança. In: COSTA,B.P.; DIECKEL,M. E. G. (Org.). **A sustentabilidade da Região da Campanha- RS: Práticas e teorias a respeito das relações entre ambiente, sociedade, cultura e políticas públicas**. Santa Maria, RS: UFSM, PPG Geografia e Geociências, Dep. de Geociências, p. 155-179, 2010

CRUZ, R. C. et al. Uma análise crítica dos conceitos de análise de fragilidades ambientais e de avaliação ambiental integrada. In: QUINTA-FERREIRA, M., BARATA, M. T.; LOPES, F.C.; ANDRADE, A. I.; HENRIQUES, M. H.; PENA DOS REIS, R.; IVO ALVES, E. (Org.). **Para desenvolver a terra. memórias e notícias de geociências no espaço lusófono**.1. ed. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, v. 3, p. 1-8, 2012.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. **Mapa de Classificação dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à Resistência a Impactos**



**Ambientais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre: FEPAM. 13 p. (n.publ.). Relatório final de consultoria elaborado por Nestor Kämpf. Mapa em meio digital. 2001.

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental, SEMA, Secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Zoneamento Ambiental para atividade de silvicultura.**v. I e II. Porto Alegre, Janeiro de 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados do Censo Agropecuário,**2006. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 19 jan. 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Inter-relações entre biodiversidade e mudanças climáticas.** Brasília: PROBIO/MMA, 2007. 221 p.

\_\_\_\_\_.Projeto Relatório 1 - **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas.** Santa Maria: UNIPAMPA/UFSM, 2009.

\_\_\_\_\_.Projeto Relatório 2 - **Desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas.**Santa Maria: UNIPAMPA/UFSM, 2011.

NESKE, M. Z.; Andrade, M.L.; BORBA, M. F. S. Capital Ecológico e a Construção de Autonomia na Produção Familiar: o caso da pecuária familiar do Rio Grande do Sul. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 29, p. 291-317, 2012.

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

\_\_\_\_\_.**Modelo de apoio à decisão aplicado ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais.** 2014. p 287. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2014.

SEPLAG. Secretária de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul. **Projeto RS Biodiversidade: diagnóstico das áreas prioritárias.** 2007. Disponível em: [www.biodiversidade.rs.gov.br](http://www.biodiversidade.rs.gov.br). Acesso em: 27 jan. 2015.

TREVISAN, M. L. **Sensibilidade de fatores para valoração do ambiente com o uso de avaliação multicritério e geoprocessamento digital.** 165 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

WEBER, E. J.; HASENACK, H. **Base cartográfica digital do Rio Grande do Sul na escala 1:250.000.** Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia, 2006.