

## **ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA: SUDOESTE DO RIO GRANDE DO SUL**

Geoenvironmental zoning of Santa María basin river: southwest of Rio Grande do Sul

Zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica del río Santa María, suroeste de Rio Grande do Sul

Anderson Augusto Volpato Scoti  
Universidade Federal de Rondônia  
[ascoti2@gmail.com](mailto:ascoti2@gmail.com)

Luis Eduardo de Souza Robaina  
Universidade Federal de Santa Maria  
[lesrobaina@yahoo.com.br](mailto:lesrobaina@yahoo.com.br)

Romario Trentin  
Universidade Federal de Santa Maria  
[romario.trentin@gmail.com](mailto:romario.trentin@gmail.com)

### **Resumo**

No âmbito da Geografia é de grande importância entender a relação sociedade/natureza, pois hoje não existe área natural que não tenha sofrido a influência humana, através dos diferentes meios de atuação antrópica sobre o meio natural. Os diagnósticos ambientais visam conhecer os mecanismos de funcionamento dos mais diversos ambientes. Os zoneamentos, ganham destaque, visto que representam estudos complexos, onde muitas variáveis são analisadas. O modelo de zoneamento para ordenação de um determinado ambiente depende dos objetivos e do tipo de indicadores e interações utilizadas na análise. Os trabalhos de caráter geoambiental, são baseados na identificação e caracterização do meio natural e/ou antropizado, visando o uso racional do espaço geográfico. O objetivo deste trabalho é analisar as variáveis que compõe o ambiente e elaborar uma proposta de zoneamento geoambiental, para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHSM), definindo áreas com potencialidades e fragilidades ambientais. Através de uma análise integrada foi possível caracterizar os elementos básicos que formam o ambiente e que se refletem na fisiografia e no uso e ocupação. Com o auxílio da cartografia analítica e através da interpretação analítica-integrativa se chegou aos documentos finais, que caracterizam o Zoneamento Geoambiental. A BHSM foi compartimentada em 07 Sistemas e 12 unidades geoambientais, no intuito de apresentar as potencialidades e suscetibilidades do ambiente. As potencialidades da BHSM estão ligadas a produção agropecuárias, por outro lado, as suscetibilidades estão relacionadas aos danos que a produção ambientalmente incorreta ocasiona.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica; análise sistêmica; geoambiental.

### **Abstract**

In the field of Geography is very important to understand the relationship between society/nature, because today there is no natural area that has not suffered human influence, through of anthropic action on the natural environment. The environmental diagnoses are oriented to know the operation mechanisms of the most diverse environments. The zonification, gains prominence, because it represents a complex study, where diverse variables are analyzed. The zoning model for the management of an environment depends on the objectives and the type of indicators and interactions used in the analysis. The geoenvironmental works are based on the identification and characterization of the natural and/or anthropic environment, with the perspective of the rational use of the geographical space. The objective of this work was analyse the variables that constitute the environment and develop a geoenvironmental zoning proposal for the Santa Maria Basin River (SMBR), to define areas with environmental potentialities and fragilities. Through an integrated analysis was possible to characterize the basic elements of environment and how they are observed in the physiography, land use and occupation. Using the analytical cartography and analysis-integration interpretation, allowed the characterization of the Geoenvironmental Zoning. The SMBR was divided into 07 systems and 12 geoenvironmental units, with the respective potentialities and susceptibilities. The potentialities of BHRSM are related to agricultural production, while, the susceptibilities are related to the damages that production causes when is developed in an environmentally incorrect manner.

**Key words:** river basin, systemic analysis, geoenvironmental analysis

### **Resumen**

En el ámbito de la Geografía es de gran importancia entender la relación sociedad / naturaleza, pues hoy no existe una área natural que no haya sufrido la influencia humana, a través de acciones antrópicas sobre el medio natural. Los diagnósticos ambientales están orientados a conocer los mecanismos de funcionamiento de los más diversos ambientes. La zonificación, gana destaque, ya que representa un estudio complejo, donde diversas variables son analizadas. El modelo de zonificación para la ordenación de un ambiente depende de los objetivos y del tipo de indicadores e interacciones utilizadas en el análisis. Los trabajos de carácter geoambiental, se basan en la identificación y caracterización del medio natural y/o antrópico, con la perspectiva del uso racional del espacio geográfico. El objetivo de este trabajo fue analizar las variables que componen el ambiente y elaborar una propuesta de zonificación geoambiental para la Cuenca Hidrográfica del Río Santa María (CHRSM), definiendo áreas con potencialidades y fragilidades ambientales. A través de un análisis integrado fue posible caracterizar los elementos básicos que forman el ambiente y que se reflejan en la fisiografía, uso y ocupación. Usando la cartografía analítica e interpretación análisis-integración se llegó a la caracterización de la Zonificación Geoambiental. La CHRSM fue dividida en 07 sistemas y 12 unidades geoambientales, con las respectivas potencialidades y susceptibilidades del ambiente. Las potencialidades de BHRSM están vinculadas a la producción agropecuaria. Por otro lado, las susceptibilidades están relacionadas con los daños que dicha producción ocasiona cuando es desarrollada de forma ambientalmente incorrecta.

**Palabras clave:** Cuenca Hidrográfica, análisis sistémica, geoambiental.

## INTRODUÇÃO

No âmbito da Geografia é de grande importância entender a relação sociedade/natureza, pois hoje não existe área natural que não tenha sofrido a influência humana, através dos diferentes meios de atuação antrópica sobre o meio natural.

Ante o exposto, Ross (2003) destaca que a realização de projetos de planejamento territorial ambiental devem ter como base “...as preocupações com a preservação ambiental, conservação dos bens naturais recuperação de áreas degradadas”. Portanto os diagnósticos ambientais visam conhecer os mecanismos de funcionamento dos mais diversos ambientes.

Conforme o IBGE (1986), o objetivo principal do processo de zoneamento, numa primeira instância, é realizar divisões e classificações do espaço, baseadas em fatores ecológicos, econômicos e sociais e, através do cruzamento dessas ordens de fatores, identificar diferentes zonas, com sua problemática específica.

Portanto, os estudos ambientais, podem ser apresentados de várias formas, tais como análises e zoneamentos. Os zoneamentos, ganham destaque, visto que representam estudos complexos, onde muitas variáveis são analisadas. O modelo de zoneamento para ordenação de um determinado ambiente depende dos objetivos e do tipo de indicadores e interações utilizadas na análise. Os trabalhos de caráter geoambiental, são baseados na identificação e caracterização do meio natural e/ou antropizado, visando o uso racional do espaço geográfico. O zoneamento permitiu identificar os usos atuais inadequados, assim como orientar adequadamente a ocupação de ambientes.

O conceito de zoneamento geoambiental, adotado por Aswathanarayana em 1995, indica que geoambiental refere-se às porções da Terra afetadas pelas atividades humanas, sendo composta por rochas, solos, fluídos, gases e organismos. O zoneamento geoambiental, segundo Jimenez-Rueda et al. (1995), apresenta-se como uma ferramenta de análise sistemática de uma área, constituído pelo exame de diversas variáveis do meio, dentre elas, as litológicas, fisiográficas, climáticas, morfoestruturais, de cobertura da terra, e de alteração intempérica.

O resultado do mapeamento pode ser considerado uma técnica de integração e síntese de informações temáticas e podem indicar o comportamento de determinadas áreas, bem como permitir que a soluções destes problemas, desenvolvidos por fatores físicos ou antrópicos, possam ser discutidos e implantados (DINIZ, 2012).

Segundo Vedovello, (2004), de uma forma mais ampla, a cartografia Geoambiental pode ser entendida como o processo envolvido na obtenção, análise, representação de dados e informações do meio físico, considerando-se as potencialidades e fragilidades naturais do terreno, bem como conflitos decorrentes da interação entre as ações humanas e o ambiente fisiográfico.

Mais recentemente, trabalhos de avaliação e zoneamento geoambiental foram desenvolvidos por vários autores, no contexto da geografia, citam-se Costa et al (2009); De Nardin e Robaina (2009); Lima et al (2010); Silva (2010); Pinton e Cunha (2014).

Nos trabalhos de zoneamento, o auxílio de geotecnologias permite o cruzamento de informação dos diferentes temas através da criação de um banco de dados. Os dados são ordenados de forma lógica e podem ser desenvolvidas uma ampla gama de análises sofisticadas, permitindo a avaliação de situações ambientais com uma precisão adequada e com economia apreciável do esforço humano na coleta e reorganização dos dados.

O objetivo deste trabalho é analisar as variáveis que compõe o ambiente e elaborar uma proposta de zoneamento geoambiental, para a Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria (BHSM), definindo áreas com potencialidades e fragilidades ambientais.

A Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, localiza-se no sudoeste do Rio grande do Sul (Figura 01), o ambiente nessa área encontra-se em constante evolução, tanto com relação a aspectos do meio quanto do uso antrópico.

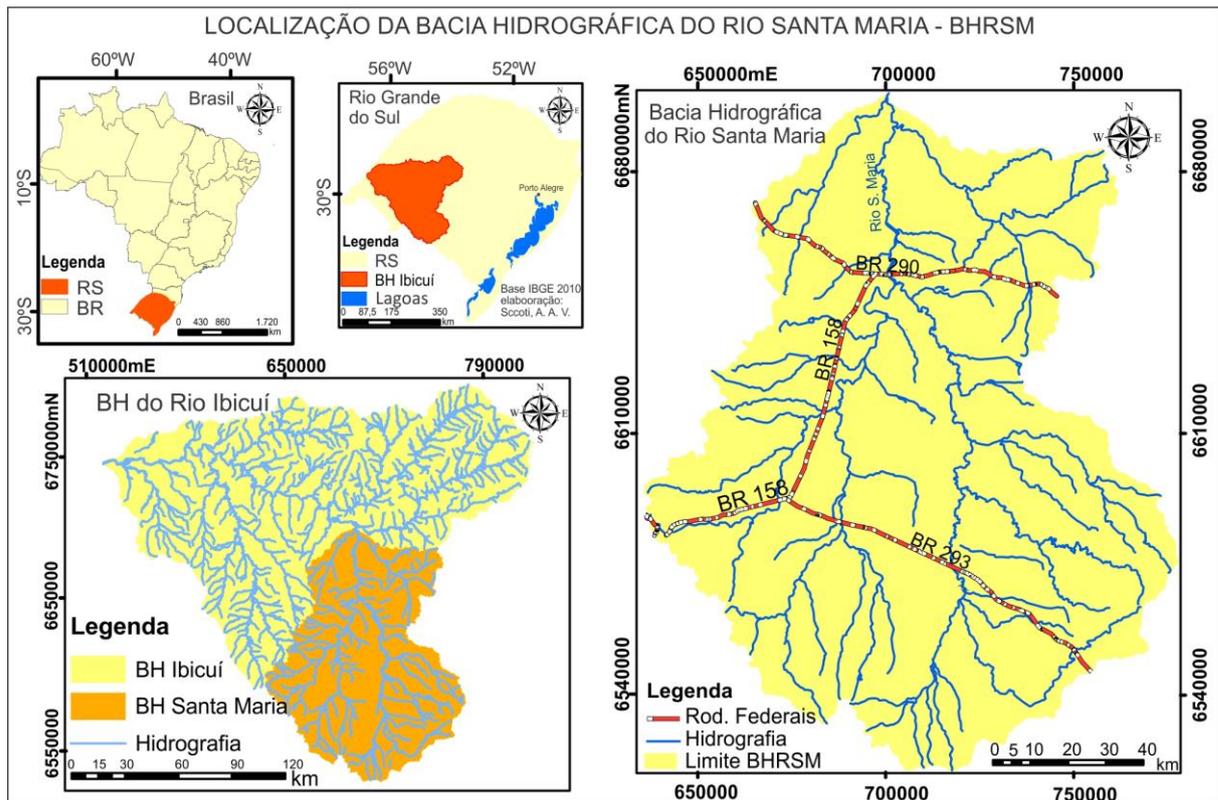


Figura 01:Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

## Metodologia

### CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

As litologias foram obtidas através do mapeamento geológico para o estado do Rio Grande do Sul, realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro (CPRM) na escala de 1:750.000. Foram realizados trabalhos de campo, onde percorreu-se caminhos e estradas para conferência das informações e aumento da escala das informações.

O levantamento simplificado dos solos, teve como base o mapeamento realizado por Streck et al (2008) na escala de 1:250.000, também foram realizados trabalhos de campo, com o intuito de melhorar a escala das informações. Os solos foram divididos em três classes, sendo elas: solos bem desenvolvidos, mal desenvolvidos e hidromórficos.

Os compartimentos de relevo foram obtidos através da análise sobre os elementos de *geomorphons* (Jasewicks e Stepinsk 2013), onde os mesmos foram agrupados em 4 classes de relevo. Essa metodologia foi aplicada por Scotti (2017), Robaina et al 2017, Robaina et al (2016).

Os dados foram cruzados, com auxílio de árvore de decisão, determinando 14 unidade, as quais representam situações, referentes a litologia, solos e compartimentos do relevo, (Figura 02) na escala de 1:50.000.

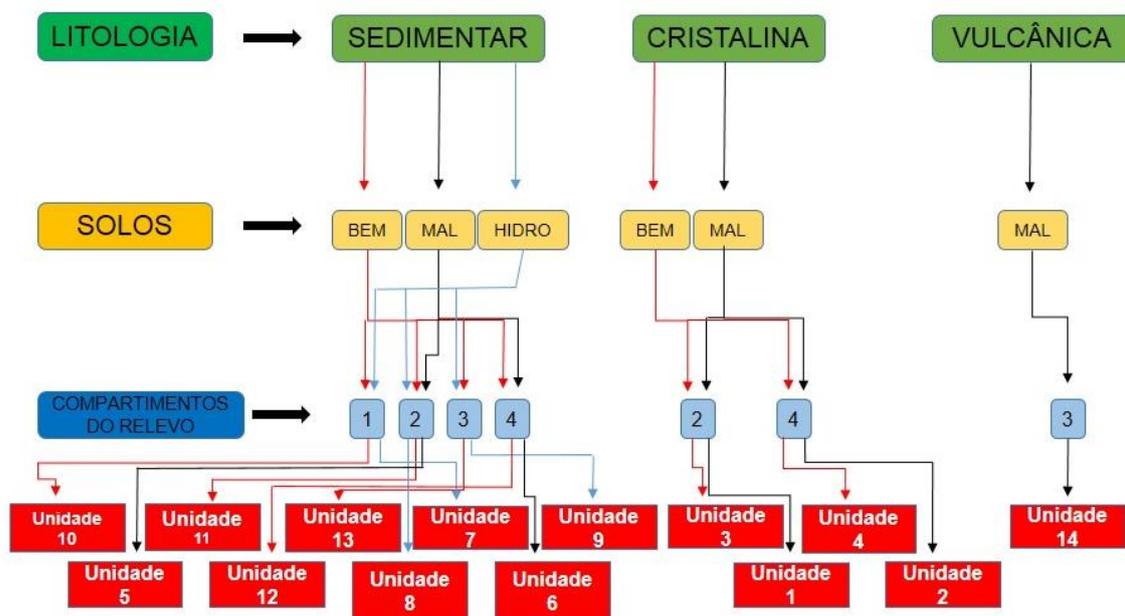


Figura 02: Fluxograma mostrando a estrutura de organização da análise fisiográfica.(Fonte: autor, dezembro de 2016).

#### DETERMINAÇÃO DO USO DO SOLO

A confecção do mapa de uso do solo e as análises, ocorreram utilizando-se imagens do satélite LANDSAT 8 OLI, com resolução espacial de 30 metros e orbitas ponto 223/81 e 223/82. As imagens, com menor cobertura de nuvens, foram de 08 dezembro de 2015, final da primavera no hemisfério sul. Todas as imagens disponíveis nessas orbitas/ponto para o ano de 2016, apresentavam elevada cobertura de nuvens, as quais comprometeriam a qualidade e a acurácia do trabalho. Através da classificação imagens orbitais, dados do IBGE e os trabalhos de campo investigativos, realizados na BHRSM, foi possível descrever as condições atuais de uso e ocupação do solo.

A identificação dos diferentes usos, define a situação atual da área, para a classificação do uso do solo na BHRSM. As classes utilizadas foram: Vegetação Arbórea-Arbustiva: vegetação composta por florestas endêmicas e porções com predomínio de arbustos, também endêmicos da BHRSM; Água: representada por reservatórios e porções da hidrografia onde a dimensão dos canais é superior a 30 metros de largura; Área Urbana: representadas pelas cidades de Sant’Ana do Livramento, Rosário do Sul, Dom Pedrito e Cacequi; Campo: porções compostas principalmente por vegetação gramínea onde não se observa presença recente de cultivo; Praias: depósitos de barra de meandro, localizados junto as principais drenagens; Lavoura; áreas definidas como lavouras incluem também solo exposto, pois no período da coleta da imagem, estava ocorrendo o final do período de

plântio, ainda foram classificadas como lavoura; Silvicultura: áreas onde ocorrem o plântio de florestas com espécies exóticas.

A classificação supervisionada das imagens, foi feita através do software Envi 4.8 e para a edição dos mapas e cálculo de área utilizou-se o ArcGIS®. As imagens foram obtidas através do web site USGS (*United States Geological Survey*), disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>. Utilizou-se o algoritmo Maxver (máxima verossimilhança), que é um algoritmo de classificação supervisionada, que usa parâmetros estatísticos na classificação, visando áreas homogêneas ou de mesmo valor numérico. Os diferentes usos do solo, são definidos com base nas respostas espectrais dos alvos.

A análise da confiabilidade das interpretações das imagens foi realizado através do coeficiente Kappa. O valor obtido foi de 0,98, expressando uma alta confiabilidade entre a amostragem e o observador, indicando poucos erros na classificação.

#### CORRELAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

O cruzamento e correlação das informações produzidas, através dos diferentes levantamentos, permitiram obter um material cartográfico que resume o diagnóstico ambiental de cada etapa, servindo para a compartimentação fisiográfica, mapeamento do uso do solo e por fim o estudo e zoneamento geoambiental.

O cruzamento das informações obtidas na elaboração do diagnóstico deu-se no ambiente do (ArcGIS® 10.4) e ocorreu de duas formas: a primeira e mais utilizada, foram as ferramentas que possibilitam o cruzamento automático (fisiografia e geoambiental), como *union* e o *combine*; de maneira menos comum, alguns processos, ocorreram com a sobreposição de *layers* e posterior vetorização mecânica (Compartimentos do Relevo).

A análise sistêmica das informações referentes ao meio, juntamente com os dados de uso e ocupação, permitem a compreensão das potencialidades e suscetibilidades da área de estudo.

#### AValiação das potencialidades e suscetibilidades

Nesta etapa foram interpretadas as informações que caracterizam a área de estudo, chegando-se aos resultados conclusivos através dos dados selecionados e correlacionados nas etapas até então trabalhadas. Os resultados referem-se à compreensão dos mecanismos de funcionamento da área de estudo, através da definição das potencialidades e suscetibilidades ao uso do ambiente.

As potencialidades, são características intrínsecas de determinadas áreas que apresentam capacidade de realização, de produção e execução de determinadas atividades que acarretam benefícios ambientais e socioeconômicos.

A suscetibilidade representa as restrições para a execução de determinadas atividades humanas. Estas restrições podem ser relacionadas às características do meio como tipos de solos e litologias ou a alterações antrópicas.

#### COMPARTIMENTAÇÃO GEOAMBIENTAL

Na etapa final ou no último nível de análise, foi feita a síntese e as relações de todas as informações e dados coletados, analisados, interpretados e correlacionados no decorrer da pesquisa, apresentando na forma de um quadro síntese e na descrição dos 7 (sete) Sistemas e de 12 Unidades espacializadas através do mapa Geoambiental, em escala de 1:50.000.

A caracterização geoambiental, consiste na compartimentação do espaço em unidades homogêneas, obtidas através da análise das potencialidades e suscetibilidades do ambiente, sendo esses os termos utilizados nesse trabalho. Os pressupostos teóricos que norteiam a avaliação, não podem ser vistos apenas como limitadores de uso, mas sim de regulação das atividades que usam como base os recursos naturais. Desta forma, a setorização da área de estudo através de características Geoambientais, tem como objetivo potencializar o uso sem comprometer o ambiente, minimizando os danos e limitações.

A análise integrada (Figura 03) foi possível através de uma caracterização dos elementos básicos que formam o ambiente e que se refletem na fisiografia com os componentes de uso e ocupação. Com o auxílio da cartografia analítica e através da interpretação analítica-integrativa se chega aos documentos finais, que se caracterizam por um Zoneamento Geoambiental.

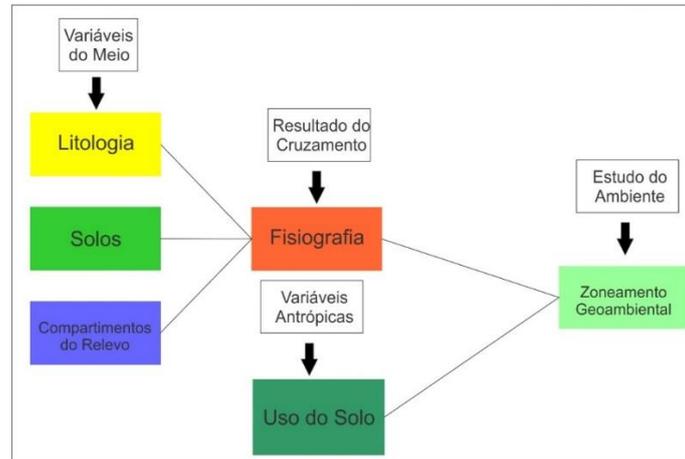


Figura 03: Resumo dos procedimentos utilizados para obter o Zoneamento Geoambiental.

Cabe ainda ressaltar a importância dos trabalhos de campo que são efetuados de forma investigativa, e organizados em forma de perfis com o auxílio do receptor GPS e cartas topográficas, essa etapa é importante para a aferição de algumas informações e elaboração dos documentos finais.

## Resultados

O comportamento natural de uma bacia hidrográfica, está diretamente relacionada às características dos seus componentes. Portanto, entender o comportamento dos processos que atuam no interior da bacia, demanda a análise integrada (método sistêmico) dos elementos de modo a estabelecer a interação das variáveis possibilitando o conhecimento do sistema, o que dará suporte ao embasamento de estratégias de planejamentos e tomadas de decisões.

As formas de relevo, as litologias e os solos constituem o meio sobre o qual se desenvolvem as atividades humanas e dessa forma, trabalhos de zoneamentos que determinam unidades homogêneas são fundamentais para entendimento dos processos geomorfológicos e como as ações humanas podem interferir no meio. O relevo está representado por quatro compartimentos, onde: Compartimento 1 é caracterizado pelas formas planas e está presente seguindo os principais cursos da hidrografia, com predomínio do elemento de *geomorphon - flat*; O Compartimento 2 está caracterizado por amplas áreas planas associadas com elementos de *slope* e *footslope* que marcam o relevo suavemente ondulado, também, ocorre a presença de elementos de *shoulder* indicam ressaltos na meia encosta; Compartimento 3 se caracteriza pelo predomínio dos elementos de *geomorphons - slope, ridge* e *hollow*, marcando um relevo com interflúvios mais curtos e encostas mais acentuados; e o Compartimento 4, com predomínio dos elementos

de *Slope, spur e valley*, esse compartimento se caracteriza pelas formas mais abruptas de relevos – presença de morros- com inclinações superiores a 15% e drenagem encaixada em vales.

O relevo, predominante, é composto por áreas planas e colinas com inclinação média de 8%, sobre um substrato de rochas que podem variar de cristalinas vulcânicas ácidas, granítico-gnáissico (porção sudeste); arenitos e lamitos, da bacia sedimentar do Paraná (ocorrem em grande parte da BHRSM), com sequências de origem marinha em uma porção leste, junto as rochas cristalinas, e sequências continentais, fluviais e eólicas, no restante da bacia. No extremo oeste, limitando a bacia, ocorrem rochas vulcânicas, que marcam os eventos finais da Bacia do Paraná em um relevo de morros e morrotes que formam a “Serra do Caverá”.

Os solos são, predominantemente, rasos junto as rochas cristalinas e ígneas, bem desenvolvidos argilosos sobre a sequência marinha, arenosos e profundos sobre os arenitos continentais, a espacialização e as características fisiográficas da BHRSM são apresentadas no mapa da figura 04 e na tabela 01.

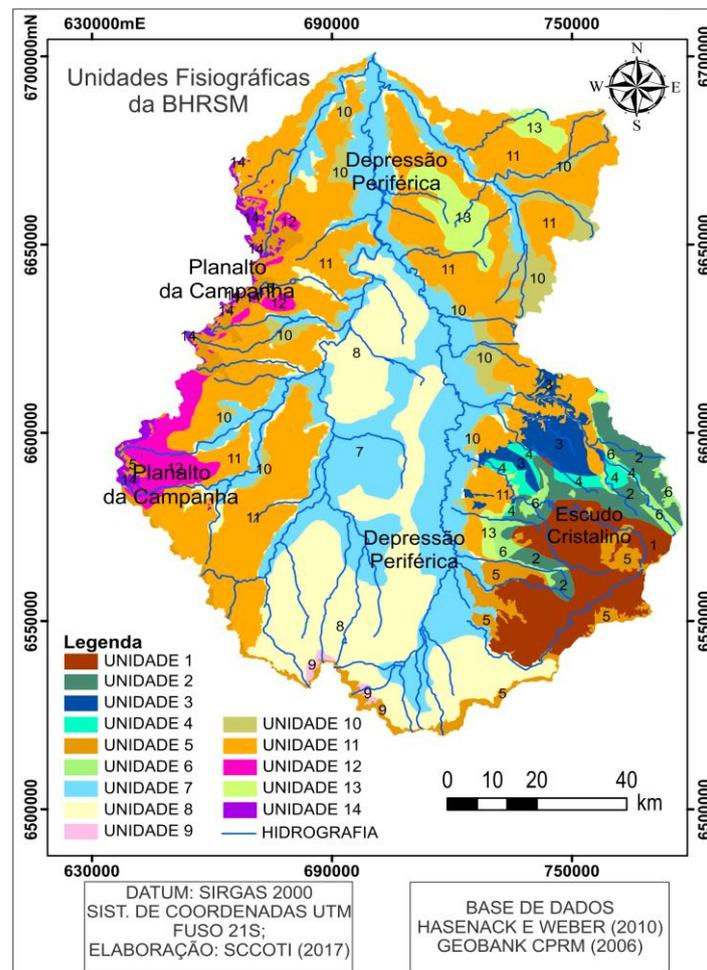


Figura 04: Mapa fisiográfico da BHRSM, através desse mapa podemos ver a distribuição espacial das unidades. (Fonte: autor).

Tabela 01: características básicas das unidades fisiográficas.

UNIDADE	CARACTERÍSTICAS
<b>UNIDADE 1</b>	Rochas cristalinas, solos mal desenvolvidos, compartimento 1
<b>UNIDADE 2</b>	Rochas cristalinas, solos mal desenvolvidos, compartimento 4
<b>UNIDADE 3</b>	Rochas cristalinas, solos bem desenvolvidos, compartimento 2
<b>UNIDADE 4</b>	Rochas cristalinas, solos bem desenvolvidos, compartimento 4
<b>UNIDADE 5</b>	Rochas sedimentares, solos mal desenvolvidos, compartimento 2
<b>UNIDADE 6</b>	Rochas sedimentares, solos mal desenvolvidos, compartimento 4
<b>UNIDADE 7</b>	Rochas sedimentares, solos hidromórficos, compartimentos 1
<b>UNIDADE 8</b>	Rochas sedimentares, solos hidromórficos, compartimento 2
<b>UNIDADE 9</b>	Rochas sedimentares, solos hidromórficos, compartimento 3
<b>UNIDADE 10</b>	Rochas sedimentares, solos bem desenvolvidos, compartimento 1
<b>UNIDADE 11</b>	Rochas sedimentares, solos bem desenvolvidos, compartimento 2
<b>UNIDADE 12</b>	Rochas sedimentares, solos bem desenvolvidos, compartimento 3
<b>UNIDADE 13</b>	Rochas sedimentares, solos bem desenvolvidos, compartimento 4
<b>UNIDADE 14</b>	Rochas vulcânicas, solos mal desenvolvidos, compartimento 3

Com relação ao uso do solo e cobertura vegetal, a classe que predomina na BHRSM é a de campo (tabela 02; Figura 05)

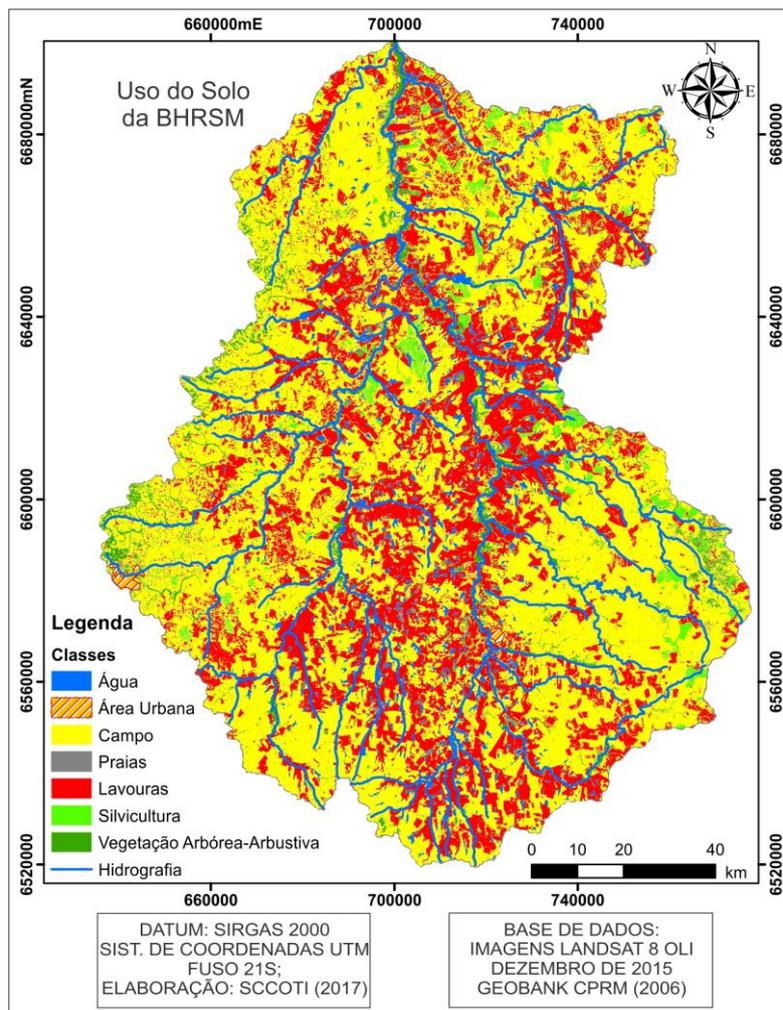


Figura 05: Classificação do uso do solo na BHRSM

Tabela 02: informações quantitativas referentes ao uso e ocupação do solo na BHRSM.

Quantificação do Uso do Solo. (Dezembro de 2015)		
Classe	Área km <sup>2</sup>	%
<b>Vegetação Arbórea – Arbustiva</b>	916,03	5,81
<b>Água</b>	496,04	3,14
<b>Área Urbana</b>	40,91	0,25
<b>Campo</b>	8.577,06	54,46
<b>Praias</b>	18,86	0,11
<b>Lavouras</b>	5.025,58	31,91
<b>Silvicultura</b>	675,58	4,28

As formas de relevo (predomínio de áreas planas) permitem uma ampla utilização de mecanização agrícola. Com isso existem grandes áreas com cultivos comerciais, os

quais geram inúmeros resíduos tóxicos que são transportados para os arroios e rios da BHRSM.

As áreas com lavouras, estão inseridas nas porções junto as margens dos principais rios, onde ocorre principalmente o plantio de arroz, devido a disponibilidade hídrica e fertilidade dos solos. As lavouras também estão inseridas nas áreas com solos bem desenvolvidos.

Os representantes arbóreos nativos da área de estudo, estão localizados junto a hidrografia, caracterizados como florestas ripárias e em encostas íngremes da “Serra do Caverá” ou ainda em capões de mato em meio a campos e lavouras.

A silvicultura, com cultivo de *Eucaliptus sp* e o *Pinus sp*, foi uma prática introduzida a partir do ano 2000, se apresentando como uma alternativa econômica as propriedades onde os solos são friáveis ou então mal desenvolvidos.

As áreas urbanas estão representadas pelas cidades de Cacequi, Sant’Ana do Livramento, Rosário do Sul e Dom Pedrito. De maneira geral, as cidades que estão inseridas na BHRSM, apresentam porte pequeno a médio, mesmo assim geram muitos impactos negativos, como o lançamento de águas servidas diretamente na hidrografia, além do acúmulo e transporte de lixo sólido para o leito e margens dos arroios e rios.

As áreas urbanas de Rosário do Sul e Dom Pedrito, esporadicamente, em períodos de grande precipitação pluvial, passam por eventos de inundação, ocasionados pelo Rio Santa Maria, visto que partes de suas áreas urbanas, encontram-se na planície de inundação.

#### ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BHRSM

O zoneamento geoambiental permite estabelecer as relações entre a ocupação e os usos do solo tendo como palco o meio. Portanto, o resultado do zoneamento pode ser considerado uma técnica de integração e síntese de informações temáticas que identificam padrões de suscetibilidade e potencialidade do ambiente.

As características geoambientais representam os elementos naturais que compõem o meio, como a morfometria de relevo, litologia, pedologia e unidades fisiográficas, os quais são a base para o entendimento da estruturação e organização do espaço físico, integrada as questões de uso e ocupação da terra.

A cartografia geoambiental pode ser entendida, de forma ampla, como todo o processo envolvido na obtenção, análise, representação, comunicação e aplicação de dados e informações do meio, considerando-se as potencialidades e suscetibilidades naturais do

terreno, bem como os perigos, riscos, impactos e conflitos decorrentes da interação entre a ação humana e o meio. A BHRSM foi compartimentada (Figura 06) em 07 Sistemas e 12 unidades geoambientais, no intuito de apresentar as potencialidades e suscetibilidades, no quadro 02 pode-se observar de forma resumida as potencialidade e suscetibilidades de cada sistema.

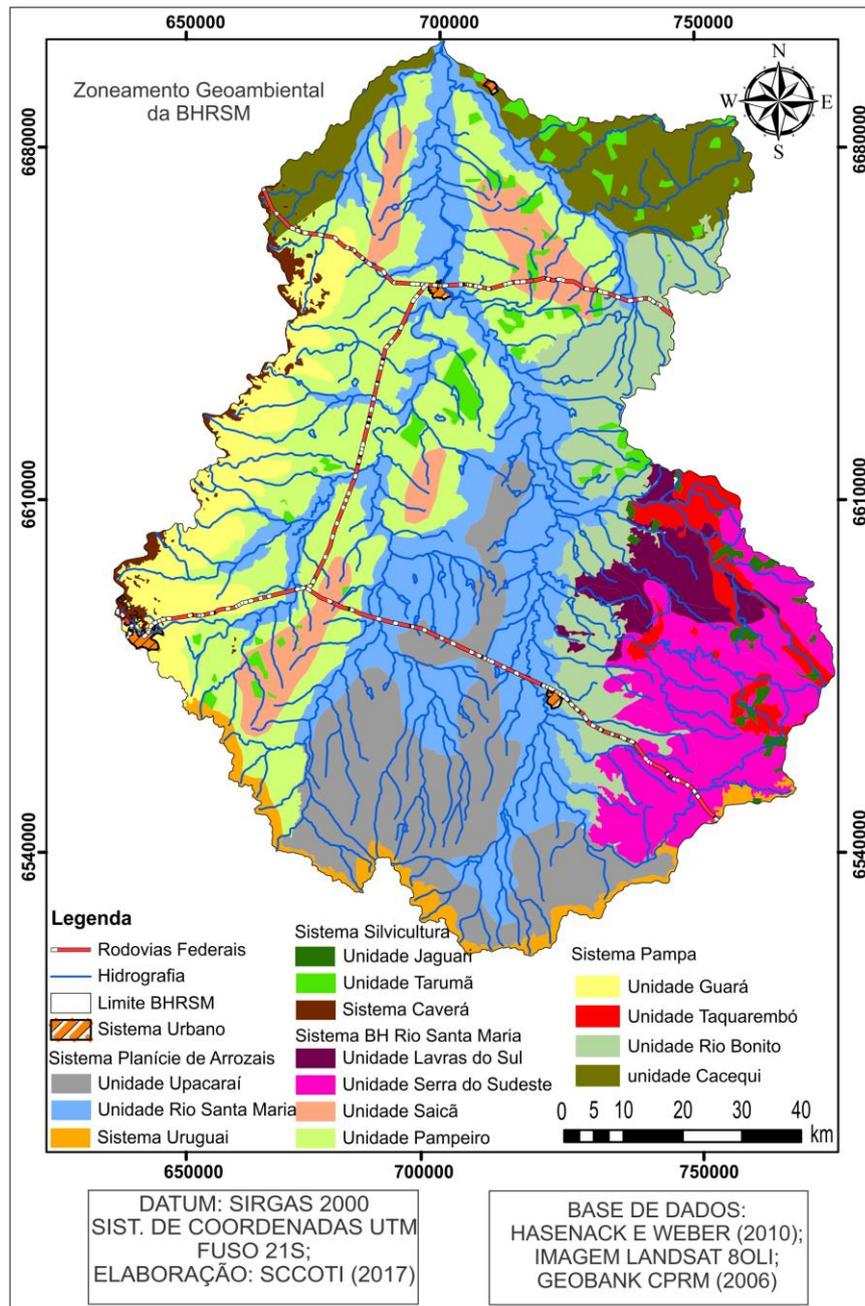


Figura 06: Mapa geoambiental da BHRSM, na imagem podemos observar a integração de informações do ambiente natural e antrópico. (Fonte: autor).

## **Sistema Urbano**

O sistema urbano da BHRSM é composto pela sede de três municípios. As áreas urbanas exercem um papel centralizador e a ela compete oferecer bens e serviços necessários a sua comunidade.

Nesse sistema se encontra a maior concentração populacional da área de estudo, dispondo de serviços e infraestrutura básica, como por exemplo, atendimento à saúde, educação e comércio.

As cidades apresentam limitações de infra-estrutura e saneamento básico, tendo como principal conflito ambiental a contaminação das águas das drenagens devido o lançamento de esgotos.

Outros impactos do sistema urbano nas características naturais e na fisiologia do ambiente são visíveis como, por exemplo, as alterações na hidrografia, onde avançam as construções; a impermeabilização das planícies aluviais; a construção de aterros para os terrenos; a geração de resíduos sólidos sem uma adequada área de descarte e a própria instauração das vias de acesso, entre outros problemas fruto da ocupação humana.

Processos de inundações periódicas do rio Santa Maria têm causado problemas sérios nas cidades de Dom Pedrito e Rosário do Sul. Por questões sociais, acabam ocorrendo ocupações nas planícies de inundação, em períodos de elevação de caudal, o nível do Rio Santa Maria se eleva, com isso muitas moradias são invadidas pela água.

## **Sistema Planície dos Arrozais**

Neste sistema ocorrem os depósitos recentes, localizados próximos aos canais principais dos rios e aos seus afluentes, que possibilitam o desenvolvimento, nestas várzeas caracterizadas por solos mal drenados, hidromórficos associados a depósitos recentes, características típicas da unidade fisiográfica 7.

A potencialidade desse sistema está ligada a disponibilidade hídrica do Rio Santa Maria e seus afluentes, sendo que esse recurso possibilita a irrigação de lavouras e a dessedentação de animais. Outra potencialidade relaciona-se a fertilidade dos solos localizados na planície de inundação, que esporadicamente são ocupados pelas águas do rio sendo ali depositados uma gama de nutrientes e matéria orgânica.

Ao longo dos canais principais da hidrografia restam poucas porções de mata ciliar. A principal atividade desenvolvida é o cultivo de arroz, que se associa à disponibilidade hídrica e potencialidade do solo. Grandes áreas alagadas, onde antes haviam banhados, foram drenadas ou aterradas para o plantio de arroz.

A maior suscetibilidade deste sistema está associada aos banhados, compactação do solo e à mata ciliar, que vem sendo retirada nas últimas décadas de maneira intensiva, sendo substituída pela agricultura. Os banhados que ainda restam tornaram-se impróprios para vida aquática devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos, principalmente nas lavouras de arroz. A vegetação arbórea ao longo do canal dos rios, em sua grande maioria, não se mantém, dentro das áreas de proteção exigidas pela legislação ambiental

### **Unidade Rio Santa Maria**

Nesta unidade as atividades de lavoura seguem a área ocupada pela unidade fisiográfica 7, que segue o canal principal do rio Santa Maria. Se associam a planície de inundação onde ocorrem os depósitos mais finos, constituídos de silte a argila, os solos apresentam hidromorfismo.

Além disso, no canal principal ocorrem áreas deposicionais de barra de meandro e barra de pontal no baixo curso, que têm importante papel econômico pela extração de areia. A potencialidade dessa unidade está ligada aos aspectos econômicos referentes a extração de areia para a construção civil, além de serem ambientes altamente propícios ao cultivo do arroz, o fato de serem grandes planícies com disponibilidade hídrica, agrega esse potencial a esses locais.

A principal suscetibilidade, está relacionada aos impactos gerados pelas lavouras que, além de, lançarem cargas de insumos agrícolas que são lixiviados para os rios, suprimem as matas ripárias.

### **Unidade Upacaráí**

Esta unidade está associada as porções de alto e médio curso da BHRSM. A ocorrência de substrato lamítico com baixa permeabilidade permite o acúmulo de água em amplas áreas. A potencialidade dessa unidade, está ligada ao uso para atividade de lavouras de arroz e no período de entre safras pecuária. Uma característica interessante dessa unidade é o fato da ocorrência de vastas áreas planas próximas aos divisores de água, características controlada pela litologia.

A suscetibilidade dessa unidade também está ligada aos impactos gerados pelas atividades agrícolas, como já foi dito, ligados ao uso de insumos agrícolas e ao desmatamento.

### **Sistema Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria**

Este Sistema está representado em algumas áreas da BHRSM onde o relevo é relativamente mais movimentado, formando vales encaixados, amplas encostas afloramentos de rocha e algumas cristas em forma de cornijas.

Esse sistema representa porções onde as litologias apresentam maiores resistências, e estão localizadas nos divisores de água da BHRSM ou então no seu interior, marcando divisores de sub-bacias tributárias ao rio Santa Maria.

O uso desenvolvido nesse Sistema e feito a partir de lavouras e campos com criação de gado, porém há o predomínio da pecuária devido as características físicas, onde poucas áreas permitem a mecanização.

As potencialidades desse Sistema estão relacionadas a produção agropecuária, visto que nas porções onde existe a possibilidade de mecanização, as lavouras predominam, nas porções não aptas para o plantio, a criação de gado predomina.

As suscetibilidades estão ligadas as perdas ambientais e aos danos causados pela pressão que os cultivos ocasionam sobre o meio junto as nascentes. A criação de gado também ocasiona problemas, tanto com a pressão sobre a vegetação natural, quanto com o desenvolvimento de ravinas pelo pisoteio.

### **UNIDADE SERRA DO SUDESTE**

Ocorre sobre um substrato de rochas cristalinas vulcânicas ácidas, solos mal desenvolvidos e levemente ondulado. O uso e ocupação é predominantemente de campos com pecuária, porém são campos com muitos afloramentos de rocha, então a densidade de animais nessa área deve ser baixa, caso contrário não haverá suporte alimentar satisfatório para todo o rebanho.

Unidade com solos bem desenvolvidos em áreas suavemente onduladas sobre substrato de rochas cristalinas metamórficas e de granitoides. O uso e ocupação do solos é predominantemente, de campos para pecuária e atividade agrícola com soja.

O fato dos mantos de alteração serem mais desenvolvidos, permite um maior desenvolvimento vegetativo das plantas, com isso a potencialidade dessa unidade, está ligada a sua aptidão para o uso agropastoril, onde então, ocorrem vastas áreas com cultivo de lavouras e as criações de gado apresentam uma densidade superior a unidade cristalina de solos rasos.

A suscetibilidade dessa unidade está também ligada ao uso abusivo de insumos agrícolas, e a grande utilização do solo, o que acarreta sua exaustão e com isso é maior a utilização de insumos.

## **UNIDADE PAMPEIRO**

Unidade com relevo suavemente ondulado, substrato de arenitos e solos bem desenvolvidos e, em geral, arenosos e friáveis, podendo ocorrer processos de ravinas e voçorocas.

Esses processos de maneira geral ocorrem de forma natural na BHRSM, porém são potencializados pelas atividades antrópicas, através da concentração de fluxo hídrico ou então quando o solo é preparado para o plantio e com isso fica propenso a lixiviação e podendo ocorrer ravinas e voçorocas.

## **UNIDADE SAICÃ**

Unidade representada por porções planas entre colinas, com rochas areníticas e lamíticas com solos espessos areno-argilosos. Uso e ocupação de lavouras e campos com pecuária.

As potencialidades estão ligadas a boa qualidade dos solos propensos ao desenvolvimento de lavouras e pastagens eficientes em termos de produção.

A suscetibilidade dessa unidade, está ligada ao mal uso do solo, onde através de técnicas inadequadas de produção e manejo os nutrientes e os mantos de alteração são perdidos ou então exauridos pelo uso abusivo.

## **Sistema Uruguai**

Unidade constituída por porções mais resistentes do arenito ocasionados por carapaças ferruginosas ou então de carbonato de cálcio, que ocorrem no divisor de águas ao sul da bacia e em porções na passagem das rochas cristalinas do escudo para sedimentares da depressão, em altitudes entre 200 e 250m.

Estas áreas são importantes por conterem as nascentes da porção Sul da BHRSM e apresenta muitas belezas naturais que poderiam ser atrativas a visitantes.

A principal suscetibilidade é o avanço de áreas de cultivos, fazendo com que seja suprimida a vegetação original, ou então, ocorra a substituição de campos por florestamentos de exóticas, as quais agregam tanto perdas de biodiversidade como também sociais.

## **Sistema de Silvicultura**

A unidade de silvicultura compreende as plantações de pinus e eucaliptos, sendo estabelecido por representar uma proposta de novos usos para dinamizar a metade sul do Estado, que inclui a área de estudo. Além disso, é importante ressaltar que a presença da vegetação exótica faz com que a ação dos agentes de erosão, vento e água, sejam modificadas e, portanto, alteram a dinâmica superficial da região.

A silvicultura é uma atividade que se instalou na última década de uma forma muito dinâmica e que nos últimos anos recuou sua expansão e dinâmica devido a preços de mercado.

As plantações comerciais ocorrem em 675,58 km<sup>2</sup> da área total, em locais que anteriormente se desenvolviam campos com pecuária e agricultura, com solos arenosos bem desenvolvido ou solos pedregosos mal desenvolvidos.

As potencialidades relacionadas a esse sistema estão ligadas aos ganhos econômicos gerados por essas lavouras, que acabam rendendo impostos aos municípios.

As suscetibilidades desse sistema, estão relacionadas a perda de biodiversidade, pois as plantações originam verdadeiros “desertos verdes”, onde se desenvolvem apenas as espécies exóticas. Outra suscetibilidade está ligada ao estado vegetativo dessas espécies, que absorvem mão-de-obra apenas no início, com o preparo do solo e o plantio, depois os trabalhadores são dispensados ocasionando êxodo rural e todos os problemas gerados por esse fenômeno.

## **UNIDADE TARUMÃ**

Unidade onde a atividade de silvicultura se estabeleceu sobre um substrato de rochas areníticas e solos arenosos friáveis com suscetibilidade a processos erosivos lineares. O uso desenvolvido anteriormente nessas áreas, era pecuária em campos nativos. Com os incentivos a silvicultura, algumas áreas foram florestadas, com isso, a perda de espécies é grande. Um fator agravante a esse processo é o reduzido número de estudos florísticos nessa área, então a possibilidade da perda de espécies que não são nem conhecidas é grande.

## **UNIDADE JAGUARI**

Esta unidade ocorre sobre substrato de rochas cristalinas com solos pedregosos mal desenvolvidos. A silvicultura, foi inserida em porções onde antes existiam campos com pecuária.

Quanto a potencialidade dessa unidade, podemos destacar que a silvicultura permite o desenvolvimento de atividades agrícolas em porções de solos com baixa fertilidade, com isso, gerando ganhos econômicos.

A principal suscetibilidade dessa unidade está ligada a perda de biodiversidade, pois muitas espécies (vegetais e animais) são extintas mesmo antes de serem descobertas e estudadas. Algumas pesquisas relacionadas a Biogeografia do oeste do Rio Grande do Sul, já foram desenvolvidas, como é o caso da obra de Guadagnin e Trentin (2014), onde realizaram um estudo florístico na Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá, e outras estão sendo desenvolvidas. Porém é uma grande área e os estudos ambientais, muitas vezes não conseguem acompanhar o acelerado ritmo dos ciclos econômicos.

### **Sistema Pampa**

O Sistema de Colinas que caracteriza-se por apresentar relevo ondulado a suavemente ondulado foi indicado a partir do relevo ser condicionante para uso e suscetibilidade a processos erosivos. Este sistema foi dividido em 04 unidades com base as características fisiográficas.

Os usos com atividades agrícolas nessas áreas, estão ligados ao cultivo de soja, trigo e pecuária (ovinos e de bovinos de corte), representando com isso sua maior potencialidade. Há grande suscetibilidade natural encontrada nessa área, principalmente nas porções onde o arenito é friável e com solos arenosos e espessos, sem ligantes, ou seja, apresenta-se com baixo teor de argila que mantenham a sua estrutura. Apresenta processos erosivos lineares, com presença de voçorocas, ravinas e “pipings”.

### **UNIDADE TAQUAREMBÓ**

Esta unidade marca os depósitos sedimentares na borda do escudo, com drenagens encaixadas e solos mal desenvolvidos, com uso para pecuária. Os afloramentos de rocha são comuns, com isso as atividades econômicas são controladas pelo meio físico.

A potencialidade dessa unidade está ligada a disponibilidade de espaço para a criação de gado. A suscetibilidade dessa unidade está ligada a pressão antrópica sobre o ambiente natural, suprimindo espécies vegetais além próprio desmatamento antrópico da vegetação arbóreo-arbustiva para o aumento das pastagens.

### **UNIDADE GUARÁ**

Rochas areníticas de textura média da Formação Guará, que ocorrem junto a área de rochas vulcânicas da Serra do Caverá. A ocorrência de degraus e cornijas são comuns e

estão associadas a porções mais cimentadas. Nas porções friáveis os solos são bem desenvolvidos e o relevo é de colinas, o uso é pecuária predominantemente.

A potencialidade dessa unidade está ligada a sua aptidão para a agropecuária. A suscetibilidade é a pressão pela pecuária sobre os campos naturais e ainda a perda de biodiversidade com a implementação de monoculturas.

### **UNIDADE CACEQUI**

Relevo ondulado com substrato de arenitos e solos profundos e arenosos ocorrendo no divisor de águas. O uso está associado, principalmente, a atividade agrícola de plantação de soja e no período do inverno essas lavouras são ocupadas com pastagens.

A suscetibilidade está relacionada a solos arenosos pobres, onde há necessidade de uso abusivo de insumos, para que ocorra a produção. Ainda é comum a ocorrência de processos erosivos lineares ligados as nascentes.

### **UNIDADE RIO BONITO**

Essa unidade se caracteriza pela ocorrência de lamitos com carapaças carbonatadas, que mantém o relevo, formando degraus na meia encosta. Os solos têm elevada umidade e teores orgânicos no horizonte A.

A principal peculiaridade dessa unidade e a formação de solos com hidromorfismo em porções mais elevadas topograficamente, isso se deve ao fato do substrato ser composto por lamitos o que altera a circulação de água e gera um ambiente quimicamente redutor.

A agricultura é dificultada nessas áreas, pois em períodos de grande precipitação pluviométrica o solo se torna muito plástico, aderindo aos equipamentos agrícolas e nos períodos de baixa precipitação, esse solo se torna rígido o que dificulta o desenvolvimento vegetativo das plantas.

### **Sistema Caverá**

Unidade formada por um relevo ondulado com substrato caracterizado por rochas vulcânicas, solos mal desenvolvidos, com matéria orgânica e pedregosos. O uso está associado a áreas com vegetação arbórea arbustiva, nas maiores declividades e nas encostas menos declivosas, é comum observarmos campos, utilizados para a criação de gado.

A potencialidade é paisagística e pode ser conectado com uso de atividades de pequeno porte com a indicação local do lugar “produtos da Serra do Caverá” o que pode

umentar o valor agregado, além da criação de locais de lazer e esportes radicais que não prejudiquem o meio.

A principal suscetibilidade está relacionada a retirada de vegetação, que além de gerar perda de biodiversidade ainda pouca estudada nas encostas da Serra, pode gerar perdas das finas camadas de solo localizadas nas encostas.

Quadro 01: síntese das potencialidades e suscetibilidades dos sistemas geoambientais da BHRSM.

Sistema	Potencialidade	Suscetibilidade
Sistema Urbano	Prestação de serviços e infraestrutura básica, como por exemplo, atendimento à saúde, educação, comércio.	Limitações de infra-estrutura e saneamento básico, tendo como principal conflito ambiental a contaminação das águas das drenagens devido o lançamento de esgotos. Processos de inundação e erosão de margem que podem causar acidentes.
Sistema Planície dos Arrozaís	Disponibilidade hídrica do rio Santa Maria e seus afluentes, sendo que esse recurso possibilita a irrigação de lavouras e a dessedentação de animais.	Contaminação de rios, arroios e banhados por insumos agrícolas, além da retirada da vegetação das margens dos rios.
Sistema Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria	Potencialidades desse Sistema estão relacionadas a produção agrícola	As suscetibilidades estão ligadas as perdas ambientais e aos danos causados pela pressão que os cultivos e a criação de gado ocasionam sobre o ambiente natural
Sistema Uruguai	As potencialidades desse sistema, estão ligadas as suas belezas cênicas. O desenvolvimento de atividades turísticas nessa área	Avanço de áreas de cultivos, fazendo com que seja suprimida a vegetação original, ou então, ocorra a substituição de campos por florestamentos de exóticas, as quais

	promoveria a preservação.	agregam tanto perdas de biodiversidade como também sociais
Sistema de Silvicultura	Ganhos econômicos em solos com baixa fertilidade.	Perda de biodiversidade, pois as plantações originam verdadeiros “desertos verdes”, onde se desenvolvem apenas as espécies exóticas
Sistema Pampa	Cultivo de soja, milho, trigo e pecuária (ovinos e de bovinos de corte),	Solos friáveis com propensão a processos erosivos acelerados, além de problemas gerados pelas atividades agrícolas.
Sistema Caverá	A Potencialidade é paisagística e pode ser conectado com uso de atividades de pequeno porte com a indicação local do lugar “produtos da Serra do Caverá” o que pode aumentar o valor agregado, além da criação de locais de lazer e esportes de radicais que não prejudiquem os ambientes naturais.	A principal suscetibilidade está relacionada a retirada de vegetação, que além de gerar perda de biodiversidade ainda pouca estudada nas encostas da Serra, pode gerar perdas das finas camadas de solo localizadas nas encostas.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O zoneamento geoambiental permitiu definir as potencialidades e suscetibilidades dos sistemas e unidades. As potencialidades da BHRSM estão ligadas a produção agropecuária, por outro lado, as suscetibilidades estão relacionadas aos danos que a produção ambientalmente incorreta ocasiona.

O método de tabulação cruzada empregado em SIG está se difundindo para integração de variáveis nas Ciências da Terra, sendo muito útil em trabalhos de vulnerabilidade ambiental, geotecnia, entre outros; porém a aplicação para estudos fisiográficos e geomorfológicos, ainda, é incipiente no Brasil, embora, apresentem grande potencialidade.

A parametrização fisiográfica e geoambiental, por meio da análise digital, demonstrou potencial para compreender as relações entre as características fisiografias e o uso e ocupação. O uso de ferramentas de SIG e árvore de decisão possibilitam integrar variáveis paramétricas.

### **Referências bibliográficas**

ASWATHANARAYANA, U. **Geoenviroment: an Introduction**. Rotterdam: A. A Balkema, 1995. 270p.

COSTA, M. T. S. P.; OLIVEIRA, N. M. G. A.. AVALIAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ZONA COSTEIRA DO BAIRRO DE CANDEIAS, PERNAMBUCO. MERCATOR, FORTALEZA. v. 08. n. 17. P. 147 – 162. 2009.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Zoneamento geoambiental no oeste do Rio Grande do Sul: bacia hidrográfica do arroio Miracatu. Geografia, Rio Claro. v. 34. n. 01. p. 163 – 181. 2009.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, São Paulo. v. 2, n. 1. p. 29 – 77. 2012

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais (Folha SH.22 Porto Alegre parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, CD-ROM. 1986

GUADAGNIN, P. M. A.; TRENTIN, R. Compartimentação Geomorfométrica da Bacia Hidrográfica do Arroio Caverá-RS. Geo UERJ, Rio de Janeiro. Nº25, v.1, p.183-199. 2014.

JASIEWICZ, J.; STEPINSKI, T. Geomorphons—a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. Geomorphology, Amsterdam, v.182, p. 147–156. 2013.

JIMÉNEZ - RUEDA, J.; LANDIM, P. M. B.; MATTOS, J. T. Gerenciamento Geoambiental. In: TUK-TORNISIELO, Sâmia Maria.; Gobbi, N.; FORESTI, C.; LIMA, S.T. (orgs.) Análise Ambiental: estratégias e ações. São Paulo: T.A. Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf; Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP,. p. 327-329. 1995

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agrément for categorical data. Biometrics, Washington. v.33, n1, p.159-174, 1977.

LIMA, F. J.; CESTARO, L. A.; ARAÚJO, P. C. Sistemas geoambientais do município de Crato/CE. Mercator, Fortaleza. v. 09 n. 19. p. 117 – 128, 2009.

PINTON, L. G.; CUNHA, C. M. L. Diagnóstico do estado geoambiental da área urbana do município de Cubatão (SP). Revista Sociedade e Natureza, Uberlândia. v. 26. n. 02. p. 353 - 367, 2014

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; LAURENT, F. Compartimentação do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, Através do Uso de Geomorphons obtidos em classificação **topográfica automatizada**. Revista Brasileira de Geomorfologia, **Brasília**. v.17, n°2, p **287-298**. 2016

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIN, R.; CRISTO, S. S. V. C.; SCCOTI, A. A. V. Application Of The Geomorphons To The Landform Classification In Tocantins State Brazil. **RAEGA**, Curitiba. v.40. p. 37-48. 2017

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. Editora contexto, 7 ed. São Paulo. 2003. 88pág.

SCCOTI, Anderson Augusto Volpato. Zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada-RS: potencialidades e suscetibilidade. Dissertação (Mestrado em Geografia) Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2015. 151pág.

SCCOTI, A. A. V. Estudo e Zoneamento Geoambiental com Auxílio de SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria: Sudoeste Do Estado do Rio Grande do Sul. **Tese (Doutorado em Geografia)** Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2017. 153pág.

SILVA, S. R. R.; CHAVES, I. B.; ALVES, J. J. A. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento geoambiental: Bacia Hidrográfica do Açude Camará – PB. **Mercator**. Fortaleza-CE. v. 09 n. 20. p. 217. 2010

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed.. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

VEDOVELLO, R. Aplicações da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Planejamento Urbano. In: 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, São Carlos, 2004. **Anais**. São Carlos, SP: ABGE, 2004.