

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ DA ARMADA-RS:
POTENCIALIDADES E SUSCETIBILIDADE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Anderson Augusto Volpato Scoti

Santa Maria, RS, Brasil

2015

ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ DA ARMADA-RS: POTENCIALIDADES E SUSCETIBILIDADE

Anderson Augusto Volpato Scoti

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Geografia (PPGGeo), **Área de Concentração
Análise Ambiental e Dinâmica Espacial**, da Universidade Federal
de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito para obtenção do grau
de **Mestre em Geografia**.

Orientador: Prof. Dr. Luís Eduardo de Souza Robaina

Santa Maria, RS, Brasil

2015

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Scoti, Anderson Augusto Volpato
Zoneamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio
Ibicuí da Armada-RS: Potencialidades e Suscetibilidades /
Anderson Augusto Volpato Scoti.-2015.
151 p.; 30cm

Orientador: Luis Eduardo de Souza Robaina
Coorientador: Romario Trentin
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Programa de
Pós-Graduação em Geografia e Geociências, RS, 2015

1. Zoneamento Geoambiental 2. Análise Sistêmica 3.
Rio Ibicuí da Armada I. Robaina, Luis Eduardo de Souza
II. Trentin, Romario III. Título.

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Naturais e Exatas
Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação
de Mestrado

**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO IBICUÍ DA ARMADA-RS: POTENCIALIDADES E
SUSCETIBILIDADE**

Elaborado por
Anderson Augusto Volpato Scoti

Como requisito para a obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:



Drº Luís Eduardo de Souza Robaina
(Presidente/Orientador)



BANCA, Drº Sandro Sidnei Vargas de Cristo (UFT)



BANCA, Drª Andrea Valli Nummer (UFSM)

Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2015

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pela oportunidade de crescimento acadêmico e profissional em um dos melhores centros de excelência em ensino superior público deste país.

A CAPES pelo fomento financeiro que possibilitou a execução dessa pesquisa.

A meus pais Solange e Vilceu que me apoiaram e me estimularam durante essa “caminhada”. A meus irmãos Silvio, Marta e Tanerson que me deram força e serviram de exemplo.

Ao professor Luis Eduardo de Souza Robaina, que além de um extraordinário orientador é um grande exemplo de pessoa.

Ao professor Romario Trentin que foi um excelente co-orientador e um grande amigo para todas as horas.

Aos professores Edgardo Ramos Medeiros e Andréa Valli Nummer que me ajudaram muito durante a execução da pesquisa.

Aos meus amigos do LAGEOLAM, Daniel, Gerson, Débora, Luciele, Sandro, Fabiano, Paula, Danielli, Igor, Vinicius, Vanessa, Gabriel, Eloisa, Richard, Lucas, Rafael, Ademir, Arivane e vários outros.

Aos funcionários Rômulo e Liliane que me ajudaram a solucionar problemas.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que o projeto se tornasse realidade.

Só cresce quem é bem adubado

(LAGEOLAM-UFSM)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geografia
Universidade Federal de Santa Maria

ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IBICUÍ DA ARMADA-RS: POTENCIALIDADES E SUSCETIBILIDADES

AUTOR: Anderson Augusto Volpato Scoti

ORIENTADOR: Prof.Dr.Luis Eduardo de Souza Robaina

LOCAL E DATA DA DEFESA: Santa Maria, 25 de Fevereiro de 2015

A área de estudo, representada pela Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada (BHRIA), localiza-se na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul. Estende sua área, sobre porções de três grandes municípios gaúchos, são eles: Dom Pedrito, Santana do Livramento e Rosário do Sul. Objetivo geral deste trabalho é realizar um zoneamento geoambiental, usando como subsídio informações referentes ao meio físico e ao uso e ocupação. A justificativa pela escolha da BHRIA, ocorreu pelo fato dessa apresentar processos significativos de dinâmica superficial e econômica, além de ser uma área rica em termos de geologia, hidrografia e feições geomorfológicas. Também o número de trabalhos com esse tema ainda são rarefeitos nessa região. O termo “zoneamento”, na proposta desenvolvida no LAGEOLAM/UFSM, refere-se ao parcelamento de um determinado espaço geográfico e tem seu direcionamento na determinação das fragilidades e potencialidades ambientais das paisagens. Na definição de uma unidade ambiental homogênea pode-se utilizar um único parâmetro ou um grupo deles para formar uma unidade, que é a base para a análise de uma área. Define-se como parâmetro o elemento base que será inserido e manuseado sobre um documento cartográfico, como informação que representa parte dos componentes do ambiente. As pressuposições teóricas que norteiam as pesquisas relacionadas a estudos geoambientais concentram-se em informações de caráter sistêmico, que tratam da integração dos elementos da natureza e sociedade de forma espacializada. O diagnóstico apresenta informações referentes aos aspectos naturais e antrópicos que compõem a área de estudo, indicando potencialidades e suscetibilidades dos sistemas e unidades. Esse trabalho apresenta informações que podem ser utilizadas como ferramentas de planejamento territorial, além de servirem como subsidio a educação básica dos habitantes dos municípios que ocupam a bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Zoneamento Geoambiental; Análise Sistêmica; Rio Ibicuí da Armada.

ABSTRACT

Master's Dissertation
Post-Graduation Program in Geography
Universidade Federal de Santa Maria

GEOENVIRONMENTAL ZONING OF THE RIVER BASIN OF IBICUÍ OF THE ARMADA-RS: POTENTIAL AND SUSCEPTIBILITIES

AUTHOR: Anderson Augusto Volpato Scotti
ADVISER PROFESSOR: Drº Luis Eduardo de Souza Robaina
PLACE AND DATE OF DEFENSE: Santa Maria, February 25, 2015

The study area, represented by the river Basin Ibicuí of the Armada (BHRIA), located in the southwest portion of the state of Rio Grande do Sul. Stretch your area on portions of three major cities in the state, they are: Dom Pedrito, Santana do Livramento and South Rosary. Overall objective of this work is a geo environmental zoning, using as input information relating to the physical environment and the use and occupation. The rationale for choosing BHRIA, was the fact that present significant cases of superficial and economic dynamics, besides being an area rich in terms of geology, hydrology and geomorphological features. The number of work with this theme are still rarefied in this region. The term "zoning" in the proposal developed in LAGEOLAM / UFSM, refers to the installment of a given geographical area and has its direction in determining the weaknesses and environmental potential of landscapes. The definition of a homogeneous environmental unit may use a single parameter or a group of them to form one unit, which is the basis for analysis of an area. Parameter is defined as the basic element that is inserted and handled on a cartographic document, such as information that is part of the environment components. The theoretical assumptions that guide the research related to geoenvironmental studies focus on systemic character information, dealing with the integration of elements of nature and society spatialized form. The diagnosis provides information relating to natural and man-made features that comprise the study area, indicating potential and susceptibilities of systems and units. This paper presents information that can be used as territorial planning tools, as well as serving as a subsidy as the basic education of people in cities that occupy the watershed.

Keywords: Geoenvironmental Zoning; Systemic analysis; Ibicuí da Armada River

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Mapa de localização da BHRIA.....	19
Figura 02: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no decorrer da pesquisa.....	36
Figura 03: Modelos de curvatura das encostas.....	43
Figura 04: Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para definição das unidades.....	44
Figura 05: Níveis geomorfológicos.....	47
Figura 6: Mapa hidrográfico da BHRIA.....	53
Figura 7: Mapa indicando alguns dos padrões de drenagem encontrados na BHRIA. (Fonte: autor).....	56
Figura 8: Mapa mostrando as diferentes altitudes encontradas na BHRIA. (Fonte: autor).....	58
Figura 9: Mapa apresentando as declividades.....	60
Figura 10: fotografia mostrando área próxima a confluência do rio Ibicuí da Armada com o Santa Maria.....	61
Figura 11: Mapa de orientação de vertentes da BHRIA. (Fonte autor).....	63
Figura 12: Mapa indicando o Perfil e Plano das vertentes.....	66
Figura 13: Mapa indicando as unidades morfológicas.....	68
Figura 14: Morrote isolado, localizado na porção noroeste da BHRIA.....	69
Figura 15: Fotografia mostrando colinas suavemente onduladas.....	70
Figura 16: “A” colinas fortemente onduladas, é possível observar interflúvios mais curtos e declividades entre 5-15%; “B” pequenas cornijas compostas de rochas mais resistentes que as de seu entorno e associadas ao topo de algumas colinas.....	71
Figura 17: Fotografias mostrando as unidades morfológicas.....	71
Figura 18: Áreas planas próximas a foz do rio Ibicuí da Armada.....	72
Figura 19: mapa geológico da BHRIA.....	74
Figura 20: Escala parcial do tempo geológicos.....	75
Figura 21: Nesta imagem podemos observar como se organizam os principais depósitos fluviais do Rio Ibicuí da Armada.....	76
Figura 22: Diferentes estruturas observadas em derrames vulcânicos.....	77
Figura 23: Feições observadas em rochas vulcânicas.....	78
Figura 24: Afloramentos de rochas sedimentares formadas em ambientes desérticos.....	80
Figura 25: Arenitos de origem fluvial encontrados na BHRIA.....	81
Figura 26: Mapa indicando a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos observados na BHRIA.....	83
Figura 27: Solos bem desenvolvidos.....	84
Figura 28: Imagens mostrando locais com ocorrência solos rasos e	

afloramentos de rocha.	85
Figura 29: Solos com matriz argilosa, na imagem.....	86
Figura 30: Fragmento evidenciando unidades geomorfométricas.....	89
Figura 31: Recorte apresentando unidades geomorfométricas, localizadas a altitudes inferiores a 170 metros.	90
Figura 32: Mapa indicando a disposição das unidades Geomorfométricas.	92
Figura 33: indicação dos níveis Morfoestruturais.	95
Figura 34: Indicando as feições geomorfológicas observadas no quarto nível de análise.....	99
Figura 35: Características das colinas de arenito.	100
Figura 36: Perfil de solo Argiloso.....	101
Figura 37: Morrotes isolados em meio a colinas, eles se mantêm visto há uma camada mantenedoura.	102
Figura 38: Morrote isolado.....	102
Figura 39: Cornija de arenito em meio as colinas.	103
Figura 40: Colinas sobre folhelhos marinhos.	104
Figura 41: Imagem mostrando canal do Rio Ibicuí da Armada.....	105
Figura 42: Imagem mostrando áreas ocupadas com lavouras de arroz.....	106
Figura 43: Imagem mostrando uma visão geral de unidade geomorfológica.	106
Figura 44: “A” imagem mostrando solos observados nas colinas em meio aos morros e morrotes.	107
Figura 45: Imagem mostrando escarpas íngremes e vegetadas.....	108
Figura 46: Imagem mostrando a forma com que foi analisado e definidas as Unidades Geomorfométricas em que se localizam as Escarpas.....	113
Figura 47: Feições associadas a processos erosivos acelerados.....	114
Figura 48: Alguns exemplares de afloramentos de rocha.	115
Figura 49: Depósitos fluviais, nos períodos de elevação de caudal os depósitos são formados pela carga do rio.	116
Figura 50: Imagem ilustrando os principais produtos agropecuários da BHRIA.	119
Figura 51: Forma de criação de gado.	120
Figura 52: Parte de um lote, fruto de reforma agrária.	120
Figura 53: Mapa apresentando uso do solo.	123
Figura 54: Mapa do uso do solo e cobertura vegetal da BHRIA no ano de 2004.	125
Figura 55: Imagem mostrando campo.....	126
Figura 56: Lavoura de soja, as áreas cultivadas com lavouras vem aumentando nos últimos anos na BHRIA.....	127
Figura 57: Áreas com florestas nativas na BHRIA.	127
Figura 58: Áreas ocupadas com Silvicultura, é possível observar na imagem que essas áreas são cultivadas para uso comercial.	128
Figura 59: Corpos de água na BHRIA.....	128
Figura 60: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da BHRIA.....	130

Figura 61: Mapa ilustrando os Sistemas e Unidades definidos para o Zonemaneto Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Ibicuí da Armada.....	134
Figura 62: Imagem mostrando a conurbação entre as cidades de Santana do Livramento (Brasil) e Rivera (Uruguai).....	136
Figura 63: Área plana ou "varzea" do rio Ibicuí da Armada.....	137
Figura 64: Nessa imagem podemos observar uma porção de área com campo nativo.....	139
Figura 65: Imagem típica observada no Sistema Palomas..	141
Figura 66: Solos rasos nas colinas encontradas no Sistema Caverá.....	143
Figura 67: Rocha sedimentar cimentada com carbonato de cálcio	144

SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
2	Referencial teórico.....	20
2.1	Abordagem sistêmica nos estudos ambientais	20
2.2	Atributos geomorfométricos e modelagens do terreno.....	23
2.3	Mapeamento geomorfológico.....	26
2.4	Mapeamento e Zoneamento Geambiental.....	28
3	Procedimentos Metodológicos.....	35
3.1	Levantamento e processamento de dados	36
3.1.1	Levantamento bibliográfico e cartográfico	37
3.1.2	Produção de Dados	38
3.1.3	Correlação das informações.....	45
3.2	Avaliação das Potencialidades e Suscetibilidades.....	48
3.3	Caracterização Geoambiental.....	49
4	RESULTADOS obtidos.....	51
4.1	Caracterização dos elementos físicos.....	51
4.1.1	Análise da drenagem.....	51
4.1.2	Morfometria de relevo.....	57
4.1.3	Distribuição das Litologias.....	73
4.1.4	Análise e distribuição dos solos.....	82
4.1.5	Avaliação Automatizada das encostas e do Relevo por Parâmetros Geomorfométricos	87
5	Geomorfologia	93
5.1	Compartimentação no primeiro, segundo e terceiro níveis geomorfológicos.....	94
5.1.1	Primeiro Nível	94
5.1.2	Segundo Nível	96
5.1.3	Terceiro Nível	96
5.2	Compartimentação no quarto, quinto e sexto níveis geomorfológicos	98
5.2.1	Quarto Nível.....	98

5.2.2	Quinto Nível.....	108
5.2.3	Sexto Nível.....	113
6	Uso e ocupação do solo.....	117
6.1	Breve Histórico da Gênese da Ocupação.....	
6.2	Avaliação do Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal.....	
6.3	Análise Multitemporal do Uso e Ocupação da BHRIA.....	121
6.3.1	Uso do Solo no ano de 1994.....	121
6.3.2	Uso do Solo no ano de 2004.....	124
6.3.3	Uso do Solo no ano de 2014.....	126
7	Zoneamento Geambiental: avaliação das potencialidades e Vulnerabilidade dos sistemas.....	131
7.1	Avaliação geoambiental dos sistemas e unidades geoambientais....	131
7.1.1	Sistema Urbano.....	135
7.1.2	Sistema Ibicuí da Armada.....	136
7.1.3	Sistema Campo Seco.....	137
7.1.4	Sistema Palomas.....	141
7.1.5	Sistema Caverá.....	142
7.1.6	Sistema Upacarái.....	143
8	Considerações e recomendações.....	145
9	Referências.....	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHRIA – Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada

DSG – Diretório do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro

FEE – Fundação de Economia e Estatística

GPS – *Global Position System*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LAGEOLAM – Laboratório de Geologia Ambiental

MNT – Modelo Numérico do Terreno

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria

ZEIS – Zonas Especiais de Interesse Social

INTRODUÇÃO

O aumento da utilização dos recursos naturais exige, cada vez mais, a elaboração de estudos voltados à harmonização das interações entre a sociedade e o ambiente em que se vive. Desta forma, o planejamento não deve apenas limitar-se aos aspectos socioeconômicos, mas é fundamental levar em consideração a análise das características dos elementos que compõe o meio físico, pois não pode-se pensar o espaço de forma fragmentada, mas sim, como sendo um sistema amplo e complexo.

O oeste e o sudoeste do Rio Grande do Sul, são caracterizados, na sua maioria, por áreas cobertas com campos nativos, historicamente utilizados para a criação de gado. Nas décadas de 1990 e 2000 foi possível notar uma modificação na região, onde os antigos campos passaram a ser povoados e explorados com culturas agrícolas e florestamentos com espécies exóticas.

Para Ross (1994) a fragilidade dos ambientes naturais frente as intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. Os ambientes naturais se mostravam em um estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as intervenções humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais.

A dinâmica do ambiente está relacionada às modificações causadas pela ação antrópica. Desta forma trabalhos que tratem da relação sociedade/natureza se revestem de grande importância, pois se hoje considerarmos todos os meios de atuação antrópica, pode-se dizer que não mais existe natureza que não tenha sofrido alguma forma de influência ou alteração humana.

As ações que o homem exerce sobre a natureza, apresentam um padrão de localização próprio de cada sociedade. Essas marcas geradas pela apropriação e transformação do meio natural, quando organizadas constituem o espaço geográfico.

As diferentes formas de avaliar o ambiente modificado permitem o

surgimento de estudos, muitos deles relacionados à interação sociedade/natureza, que visam buscar alternativas para um uso racional (menos agressivos) e ordenado do ambiente.

Com o aprimoramento do conhecimento científico, as consequências são logo vistas nas formas de organização do espaço e na inter-relação entre suas principais esferas. As questões Ambientais devem discutir os fenômenos da superfície terrestre, a partir de sua natureza heterogênea tendo em vista o diagnóstico das potencialidades e suscetibilidades de cada sistema.

O advento das geotecnologias tornou possível, através de um banco de dados georreferenciado, realizar a interpolação de informações referentes a natureza, possibilitando o ordenamento lógico desses dados e a organização e execução de uma vasta gama de complexas análises.

A análise geomorfológica, uma das principais etapas em estudos ambientais, consiste na identificação de atributos do relevo, por meio de estudo de sua origem, estrutura, natureza das rochas, clima e fatores endógenos e exógenos responsáveis pelo modelado ou formação de determinados elementos da superfície terrestre. Os estudos geomorfológicos podem contribuir no planejamento do uso e na conservação de recursos naturais. A abordagem utilizada nos estudos ambientais, dirige-se a uma geomorfologia que tem suas bases conceituais nas ciências da terra, onde as sociedades humanas organizam seus espaços físico-territoriais.

A ocupação do solo, também se apresenta como um tema básico nos estudos de natureza ambiental, pois retrata as atividades humanas que podem diagnosticar os impactos que possivelmente estão sendo causados sobre elementos naturais.

Com a interpolação de informações que dizem respeito as condições naturais e antrópicas do espaço, têm-se como resultado os estudos de natureza geoambiental. Esse termo foi adotado pela *Union of Geological Sciences - IUGS* para denominar estudos realizados por profissionais das geociências sobre o meio ambiente (TRENTIN 2011). Esses estudos, contemplam, no campo da geografia, aplicações dos conhecimentos técnicos do meio físico e socioeconômico, inter-relacionando informações sobre ambos.

O zoneamento geoambiental fornece subsídios para a organização espacial, pois o espaço é fragmentado em Sistemas e unidades homogêneas

quanto as potencialidades e suscetibilidades de uso e ocupação se baseando nas condições atuais da área, tanto em termos físicos quanto antrópicos. Cabe ressaltar que cada uma das zonas é descrita e avaliada quanto as suas restrições ou suas potencialidades.

Seguindo essa linha de pensamento, o objetivo geral deste trabalho é realizar um zoneamento geoambiental, usando como subsídio informações referentes ao meio físico e ao uso e ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada.

Especificamente, os objetivos a serem alcançados na pesquisa são:

- Caracterizar e analisar de forma integrada os elementos físicos do relevo, rede de drenagem, litologias e os materiais de alteração que compõem a paisagem local;
- Utilizar geotecnologias na avaliação de relevo;
- Mapear a compartimentação geomorfológica em unidades taxonômicas da BHRIA;
- Analisar o Uso do Solo em diferentes épocas;
- Correlacionar os elementos geomorfológicos aos usos da terra, avaliando as aptidões e restrições à ocupação;
- Apresentar e disponibilizar ao Poder Público um documento abrangente, o qual poderá servir de subsídio para projetos e planos de gestão.

A unidade a ser aplicado o zoneamento geoambiental, compreende uma bacia hidrográfica. Os estudos em bacias hidrográficas, são assegurados no Brasil, através da Lei N° 9.433 de 1998, que estabelece em seus conceitos básicos algumas normatizações que devem ser utilizadas no planejamento e gestão.

O conceito de Bacia Hidrográfica (BH) utilizado neste trabalho é o proposto por Santos (2004), onde BH “constitui um sistema natural bem delimitado no espaço, composto por um conjunto de terras topograficamente drenadas por um curso d’água e seus afluentes, onde as interações, pelo menos físicas, são integradas e, assim, mais facilmente interpretadas”

A BH a ser estudada, é a Rio Ibicuí da Armada. A justificativa da escolha, ocorreu pelo fato dessa apresentar processos significativos de dinâmica superficial como erosão, diversidade geológica e de relevo. Além disso, o rio faz

parte da grande bacia do Ibicuí, objeto de trabalho do Laboratório de Geologia Ambiental.

A BHRIA localiza-se na porção sudoeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 01). Estende sua área, sobre porções de três grandes municípios gaúchos, são eles: Dom Pedrito, Santana do Livramento e Rosário do Sul. A Bacia Hidrográfica encontra-se em constantes processos evolutivos, sejam eles relacionados a aspectos físicos e também a sociais-econômicos.

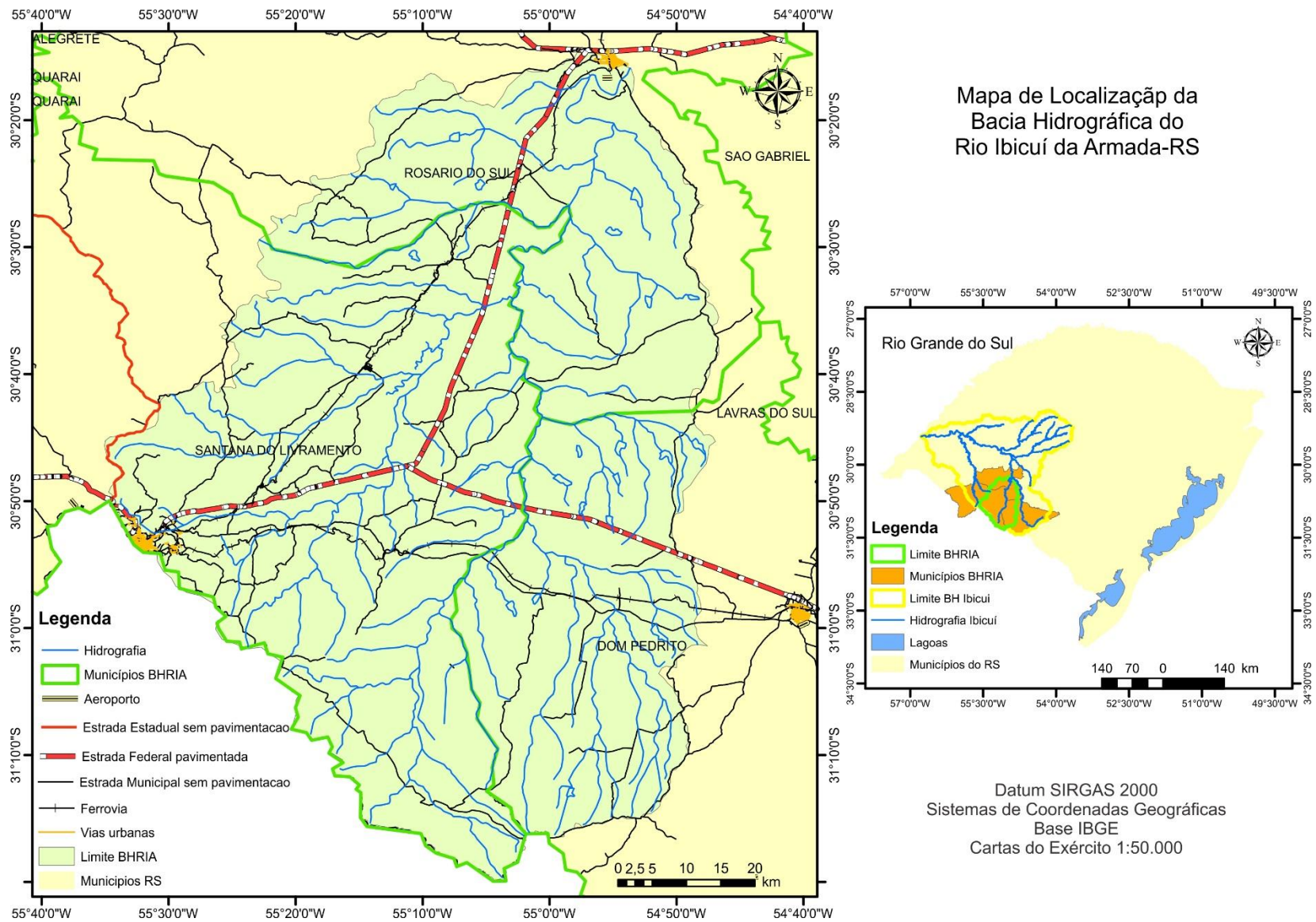


Figura 01: Mapa de localização da BHRIA, no mapa é possível observar a localização geográfica, além da malha viária.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo apresenta o levantamento bibliográfico que serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa, está dividido em diferentes temas que são importantes para fundamentar o trabalho.

2.1 Abordagem sistêmica nos estudos ambientais

As pressuposições teóricas que norteiam as pesquisas relacionadas a estudos geoambientais concentram-se em informações de caráter sistêmico, embasadas em bibliografias que tratam da integração dos elementos da natureza e sociedade de forma espacializada.

A aplicação da Teoria dos Sistemas teve seu início nos Estados Unidos nas primeiras décadas do século XX, em conformidade com o avanço da Cibernética. A sua utilização nas ciências naturais é fruto do trabalho pioneiro de Bertalanffy (1950), que aplicou esse método à Biologia e à Termodinâmica. Foi necessário um grande período de tempo (várias décadas) para que tais preceitos se estendessem pelo conjunto das ciências e pela totalidade das ciências naturais.

Em uma discussão inicial sobre sistemas, Bertalanffy (1950, pág.23) escreve que:

From the physical point of view, the characteristic state of the living organismo is that of an open system. A system is closed if no material enters or leaves it; it is open if there is import and export and, therefore, change of the components. Living systems are open systems, maintaining themselves in exchange of materials with environment, and in continuous building up and breaking down of their components. (BERTALANFFY, 1950)

Quando se trata de abordagem sistêmica aplicada há estudos ambientais, em especial no campo das geociências, Christofletti (1979) fala que essa abordagem, serviu para melhor focalizar as pesquisas e delinear com maior exatidão o setor de estudo desta ciência, além de propiciar oportunidade para reconsiderações críticas de muitos dos seus conceitos.

De acordo com Tricart (1977), o conceito de sistema está relacionado ao melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente, pois ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise e a necessidade contrária de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Sistema é um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, sendo que estes fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos.

Para Christofolletti (1982), a visão sistêmica incorporada à Nova Geografia, através da aplicação da Teoria Geral dos Sistemas, auxiliaria o geógrafo como instrumento teórico e conceitual que lhe facilitaria tratar dos conjuntos complexos, como os da organização espacial e estudos relacionados a temática ambiental.

A obra de Bertalanffy (1976) apresenta a "Teoria Geral dos Sistemas", cujos princípios gerais se caracterizam por serem aplicáveis aos sistemas em geral, quer sejam eles de natureza física, biológica, ou sociológica. A teoria se constitui em uma ferramenta útil capaz de fornecer modelos a serem utilizados em diferentes campos do conhecimento. O autor destaca, ainda, que o surgimento da Teoria Geral dos Sistemas, ocorreu em um momento em que o modelo mecanicista e o tratamento por parte de diversos assuntos, se mostravam insuficientes para atender os problemas de caráter teórico vigentes, necessitando um novo modelo de análise que pudesse sanar estas lacuna.

De forma geral, pode-se sintetizar a formulação de sistema proposta por Bertalanffy (1976), como sendo um conjunto de elementos interligados para formar um todo e que possui propriedades e características próprias, que não são encontradas em nenhum dos elementos tomados isoladamente, assim, formando um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência e cujas unidades são reciprocamente organizadas e relacionadas.

Os primeiros trabalhos geográficos a adotar a ideia de aplicação de sistema na Geografia Física pertencem a autores da escola anglo-americana, como Strahler (1950; 1952 *apud* Trentin 2011). Para Christofolletti (2002), a revelação mais explícita acerca do uso da teoria sistêmica, começou a

aparecer na década de 1960 e 70, servindo como ponto de partida os artigos de Chorley sobre geomorfologia.

Segundo Chorley (1975), a geomorfologia devia ser vista como se fosse um sistema: o sistema geomorfológico composto por um complexo integrado de formas de relevo. O enfoque sistêmico geral das formas de relevo baseia-se numa atitude ampla em relação a grupos de fenômenos geomorfológicos, originada da experiência (talvez de algum outro tipo de análise, por exemplo: modelos de projetos experimentais) ou da intuição. Para essa perspectiva, a ênfase está na organização e na operação do sistema como um todo ou como componentes ligados, em vez de se basear no estudo detalhado de elementos individuais do sistema.

Sotchava (1977) chama a atenção para o fato de que os geossistemas, embora sejam considerados "fenômenos naturais", devem ser estudados à luz dos fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura. Os geossistemas podem refletir parâmetros sociais e econômicos que influenciam importantes conexões em seu interior. Essas influências antropogênicas podem representar o estado diverso do geossistema em relação ao seu estado original.

Bertrand (1972) destaca que o geossistema corresponde a um modelo de interpretação da paisagem, e como tal, busca o entendimento desta a partir dos elementos que a compõem, resultando da combinação de um potencial ecológico (subsistema abiótico, englobando o clima, a hidrologia e a geomorfologia), uma exploração biológica (subsistema biótico, contendo a vegetação, solo e fauna) e uma ação antrópica (subsistema antrópico).

Christofoletti (1999) destaca ainda, a incorporação de conceitos como ecossistema, conceito utilizado pela Biologia e pela Ecologia e incorporado à Geografia dando origem ao conceito de geossistema. O geossistema, enquanto conceito permitiu a inserção da dimensão humana, como um dos elementos de análise.

O termo geossistema definido por Christofoletti (1999) tem como finalidade hierarquizar o espaço em unidades homogêneas, através de uma metodologia que se mostre eficiente para identificação das relações naturais-antrópicas, de forma que os problemas e o potencial de cada área sejam definidos segundo uma dinâmica própria.

Para Monteiro (2000), geossistema constitui um sistema singular, complexo onde interagem os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos, e onde os elementos sócio-econômicos não fazem parte de um sistema antagônico e oponente, mas porém estão incluídos no funcionamento do sistema. Trata-se de considerar que os elementos do sistema antrópico influenciam nos processos e fluxos de matéria e energia (dinâmica da paisagem), repercutindo inclusive nas respostas da estruturação espacial geossistêmica.

Monteiro (2000) destaca que: o tratamento geossistêmico visa à integração das variáveis naturais e antrópicas (etapa análise), fundindo recursos, usos e problemas configurados (etapa integração) em unidades homogêneas assumindo papel primordial na estrutura espacial (etapa síntese) que conduz ao esclarecimento do estado real da qualidade do ambiente na (etapa aplicação) do “diagnóstico”.

Freitas e Cunha (2004), abordando sobre a compartimentação espacial, através da visão geossistêmica, apontam que este método estabelece critérios que buscam a identificação e agrupamento do comportamento das variáveis ambientais, destacando os processos morfodinâmicos da paisagem de origem natural (geologia, geomorfologia, clima, hidrologia e ecossistemas) e antrópica (baseada na ocupação sócio-histórica).

Vicente e Perez Filho (2003) destacam: a abordagem sistêmica na Geografia insere-se na própria necessidade de reflexão sobre a apreensão analítica do complexo ambiental, através da evolução e interação de seus componentes, sendo nesse contexto que surgem as propostas de cunho sistêmico e sua fundamentação integrada da abordagem do objeto de estudo, e do entendimento do todo (sistema) e de sua inerente complexidade.

Neste estudo utilizou-se a proposta de análise sistêmica, pois permite uma integração entre os diferentes componentes do ambiente, além do mais já se tem um largo período de tempo que essa análise é desenvolvida por pesquisadores no campo da geografia.

2.2 Atributos geomorfométricos e modelagens do terreno

A cada nova pesquisa realizada pelo grupo do Laboratório de Geologia Ambiental (LAGEOLAM/UFSM), é necessário que haja uma inovação científica, seja ela inédita ou que já esteja sendo utilizada por pesquisadores de outras instituições. Para essa pesquisa optou-se pela escolha de uma nova metodologia de análise de encosta, caracterizada pela avaliação de variáveis morfométricas correlacionadas através de métodos estatísticos em um ambiente georreferenciado de SIG.

O uso de técnicas quantitativas para a predição de solos vem sendo crescente nas últimas décadas. Isso se deve aos avanços dos computadores e a capacidade de processamento, fato que permite a aplicação de maneira mais rápida e acessível de métodos matemáticos e estatísticos existentes, os quais já vinham sendo empregados na ciência do solo. (McBRATNEY *et al.* 2003).

A base para execução desta metodologia, foi adquirida através da tese de doutorado, desenvolvido por Silveira 2010, que utilizou esse método como auxílio em mapeamento de solos. A modelagem digital é uma técnica quantitativa desenvolvida para predizer atributos e classes de solos (McKENZIE *et al.* 2000).

Burrough (1986) fala sobre as utilizações de modelos digitais de terreno:

A variação do relevo pode ser modelada para fins de processamento digital como uma superfície contínua e uma forma de representar essa superfície variando continuamente é por meio do uso de isolinhas, como é feito geralmente em cartas topográficas. No entanto, as isolinhas não são particularmente adequadas para análises ou modelagem, assim, a variação contínua do relevo é representada digitalmente como um MDT.

No entanto algumas abordagens focadas em atributos morfométricos de relevo, baseiam-se em três aspectos principais, são eles: I) superfícies geomórficas, II) curvatura do terreno e III) segmentos de vertentes.

Através da descrição de algumas variáveis geomorfométricas é possível, entender a fundamental importâncias desses atributos há correlação, que resulta em unidades distintas. Quanto as diferenças de altitude, Hansen *et al.* 2009, comenta que o conhecimentos das distâncias verticais é essencial para uma primeira avaliação das superfícies de erosão (porções elevadas topograficamente) e deposição (níveis de base), sendo essa a principal contribuição na correlação das informações.

Para Souza Júnior e Demattê (2008), a declividade refere-se à inclinação da superfície do terreno em relação à inclinação horizontal, com essas informações é possível prever quais áreas estão mais propícias a erosão ou a sedimentação.

A avaliação das vertentes fornece informações básicas, que são necessárias à caracterização de um determinado local, pode ser expressa em perfil e plano de vertente. Para Summerfield (1997), são representações bi-dimensionais. Estes perfis desenvolvem-se desde as linhas de drenagem, localizadas no pé do talude, até as linhas de cumeada. O perfil típico de uma vertente apresenta uma convexidade no topo e uma concavidade na parte inferior, sendo ambas separadas por um ponto de inflexão ou por um segmento retilíneo.

Bigarella (2003) explica que a curvatura das vertentes indicam as áreas de escoamento superficial divergente e convergente, de modo que as vertentes de fluxo concentrados (convergente) tende ao transporte de partículas maiores, que aquelas movidas pelo escoamento laminar difuso (divergente).

Já o plano irá responder a parâmetros de acumulação ou dispersão de matéria e energia. Bigarella (2003) considera que:

[...] a força erosiva do escoamento aumenta com a distância vertente abaixo e com a sua declividade. Numa vertente com perfil convexo – côncavo, a energia do fluxo aproxima-se do máximo na parte mais íngreme, geralmente na porção central do perfil. A maior parte da ação erosiva ocorre abaixo dessa zona, onde se inicia o fluxo em canais e onde se formam as ravinas. (BIGARELLA, 2003 pág. 923)

Segundo Valeriano (2003) as formas do terreno resultam da combinação entre as curvaturas verticais e horizontais. Como produto final da associação da curvatura vertical (côncava, retilínea e convexa) e curvatura horizontal (Convergente, planar e divergente), estabelecendo-se nove classes distintas para a forma das vertentes.

Cassetti (1995) comenta a utilização das informações geométrica das vertentes.

[...] a forma geométrica da vertente apresenta uma significativa participação no balanço morfogenético. Como exemplo: a) as vertentes portadoras de comprimento reto e largura reta respondem pelo domínio do fluxo laminar; b) as representadas por comprimento reto e largura curva respondem por processos complexos (largura convexa: fluxo disperso; largura côncava: fluxo convergente com ocorrências de escoamento concentrado); c) as de comprimento curvo e largura também curva caracterizam processos mais complexos (ocorrência de

fluxo concentrado em linhas de drenagem de primeira ordem). (CASSETI, 1995, p. 68)

Como exemplo de utilização de modelos digitais de terreno, como ferramenta, Ippoliti *et al* (2005) identificaram unidades preliminares de solos pelas geoformas e pedoforma obtidas em uma bacia hidrográfica por meio dos atributos topográficos: elevação, declividade e curvatura, comparando-as com avaliação de campo. O principal mérito do método apontado pelos autores é a maior eficiência obtida no trabalho de campo, após a realização de uma classificação digital preliminar, em virtude de um modelo de ocorrência de solos previamente conhecido.

As análises geomorfométricas também podem ser realizadas sobre dados SRTM, como é o caso de Muñoz (2009) apresentou as relações entre as variáveis geomorfométricas obtidas de MDE: declividade, curvatura vertical (perfil de curvatura), formas de terrenos, altura, dissecação, amplitude e predominância, com um levantamento pedológico simidetalhado, na escala 1:100.000, da quadricula de São Carlos/SP. A autora demonstra que as variáveis mostram-se úteis para a separação de unidades de mapeamento de solos, uma vez que as variáveis geomorfométricas, cada uma a seu modo, indicaram de dois a três conjuntos de classes de solos. Com isso foi possível concluir que a utilização de dados SRTM são eficientes em estudos de média e pequena escala.

A evolução das geoinformações aderem agilidade e precisão a pesquisas geográficas, a evolução de técnicas computacionais e matemáticas permitem a modelagem de superfícies e com isso prever a ação de agentes erosivos e a determinação da modelagem do relevo.

2.3 Mapeamento geomorfológico

São muitos os fatores que alteram a superfície do planeta. Tendo como princípio teórico os processos endógenos e exógenos como geradores das formas grandes, médias e pequenas do relevo terrestre, Guerasimov (1946) e Mecerjakov (1968) *apud* Ross (1992), desenvolveram os conceitos de morfoestrutura e morfoescultura, com isso, todo o relevo terrestre pertence a uma determinada estrutura que o sustenta e mostra um aspecto escultural que é

decorrente da ação do tipo climático atual e pretérito que atuou e atua nessa estrutura.

Baseado em alguns autores estrangeiros como Walter Penck e alguns nacionais, como Aziz Ab'Saber, Ross (1992) desenvolveu uma metodologia de mapeamento geomorfológico, baseada em 6 (seis) diferentes Taxons ou níveis de análise, são eles: 1º taxon morfoestruturais – características estruturais de grandes formas do relevo; 2º táxon morfoescultura gerada pela ação climática no seio da morfoestrutura; 3º táxon formas de relevo, apresentam distinção de aparência entre si em função da rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo; 4º táxon unidade de padrão de formas semelhantes, podem ser formas agradacionais (terraços fluviais, planícies fluviais, etc) ou denudacionais (colinas, morros, cristas, etc); 5º táxon são as vertentes ou setores das vertentes pertencentes a cada uma das formas individualizadas do relevo; por fim o 6º táxon que corresponde às formas menores produzidas pelos processos erosivos atuais ou por depósitos atuais.

Essa metodologia proposta por Ross (1992) é largamente utilizada em mapeamentos geomorfológicos atuais, sendo que no decorrer dos anos, os cientistas ligados a geografia realizaram algumas adaptações na sua aplicação. Com o advento da cartografia digital e das geotecnologias o uso deste método foi informatizado e tornou-se mais eficiente e dinâmico quando aplicado com auxílio de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

O uso do geoprocessamento e do sensoriamento remoto em experimentos estatísticos e cartográficos auxiliados por uma vasta gama de *hardwares* e *softwares* existentes no mercado, revestem-se, hoje, de apoio fundamental para a elaboração de mapeamentos geomorfológicos, com isso, vê-se ampliado, o poder pragmático da Geomorfologia, que se constitui em um importante subsídio ao planejamento ambiental. (GUERRA & CUNHA 1998).

Conforme Guerra & Cunha (1998) a metodologia de mapeamento geomorfológico tem como base a ordenação dos fenômenos mapeados, segundo uma determinada escala cartográfica. Os agrupamentos constituídos de tipos de modelados permitem a identificação de unidades geomorfológicas, assim como o agrupamento dessas permite delimitação de regiões geomorfológicas, que sequencialmente originam os grandes domínios morfoestruturais.

Silva (2000), comenta a necessidade da integração e organização do conhecimento geomorfológico:

[...] é preciso criar pontes entre o conhecimento geomorfológico organizado, a chamada Geomorfologia Sistemática, que permite a identificação das entidades que compõem o relevo terrestre, a perspectiva sistêmica, e o geoprocessamento de dados, que viabiliza o tratamento dos dados geomorfológicos de forma integrada, colocando-os dentro do contexto ambiental através dos modelos digitais do ambiente. (SILVA, 2000. Pág.49).

Schirmer e Robaina (2013), colocam que a cartografia geomorfológica é utilizada como meio de representação gráfica e espacial, pois permite representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e os processos.

Florenzano (2008), organiza e discute uma série de metodologias, algumas clássicas e outras modernas, que utilizam e exemplificam o uso de imagens orbitais tanto de sensores ópticos como de imagens de radar em especial as do SRTM, para o desenvolvimento de estudos dentro da geomorfologia. Atualmente ainda não existe um método unificado internacionalmente para o mapeamento geomorfológico, como ocorre com as cartas geológicas, isso se deve a complexidade e variedade dos objetos estudados pela geomorfologia e a consequente dificuldade em classificá-los.

Em relação ao uso de produtos obtidos através de Sensoriamento Remoto Santos *et al* (2012), ressalva que o uso desses materiais proporciona agilidade para a delimitação das diferentes unidades de relevo, bem como, auxilia em quantificações de variáveis morfométricas.

Neste trabalho o mapeamento geomorfológico resulta da integração de informações de diferentes temas como relevo, geologia e solos.

2.4 Mapeamento e Zoneamento Geambiental

O procedimento de mapeamento geoambiental tem como rotina principal a divisão da área em unidades, de acordo com a variação de seus atributos. As unidades representam áreas com homogeneidade e compartimentos com respostas semelhantes, frente aos processos de dinâmica superficial.

A cartografia geoambiental, de desenvolvimento mais recente no Brasil, começa a ganhar importância nos últimos anos e, seu desenvolvimento metodológico vem se aprimorando, com vários pesquisadores de diversas instituições produzindo documentos de zoneamento geoambiental. Estes trabalhos utilizam, predominantemente, as bacias hidrográficas como unidade de mapeamento e têm tido aplicação intensa nos estudos ambientais de caráter mais amplo (TRENTIN e ROBAINA, 2005).

A abordagem metodológica utilizada pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo), principalmente a utilizada na elaboração de cartas e de atributos ou parâmetros, é uma base importante utilizada em trabalhos com enfoque geoambiental, em vista que, distribui-se espacialmente, uma ou mais características (geotécnico-geológicas), do terreno.

Segundo Trentin e Robaina (2005), a partir da década de 1950 ocorreu um avanço significativo nos trabalhos referentes à avaliação do terreno, destacando-se dois grupos de pesquisa: uma delas seguiu uma linha voltada aos aspectos geomorfológicos; e a outra concentrou os estudos no sentido da ampliação de conceitos na avaliação das condições naturais. Esse segundo grupo dividiu-se em duas correntes de trabalho: a avaliação visual do meio natural e a avaliação do terreno.

Conforme Lollo (1996), a delimitação de diferentes formas de terreno é baseada na interpretação de imagens e trabalhos de campo, promovendo o zoneamento de áreas consideradas semelhantes ou com um grau de heterogeneidade mínimo.

A definição do termo Geoambiental está baseado na divisão de áreas em classes de terrenos hierarquizados a partir de características gerais, conforme Herrmann (2004), para a definição das unidades Geoambientais, faz-se necessário o reconhecimento dos componentes do relevo, bem como os atributos e fatores condicionantes: hidrográficos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, fitogeográficos e antrópicos.

Em relação as ações antrópicas ligadas ao uso e ocupação. Mota (1995) comenta que o uso e a ocupação do solo em determinadas áreas devem considerar os aspectos naturais do meio físico que possam ter influência sobre os recursos hídricos. Estes condicionantes devem ser estudados em conjunto,

de modo a garantir o uso e a ocupação da área evitando o máximo possível de mudanças ambientais.

Para Souza *et al* (2012) o mapeamento da cobertura da terra é entendido como a caracterização dos objetos da superfície terrestre em termos de suas propriedades biofísicas, físicas e químicas que exibem uma relação própria de interação energia-matéria, ou seja, um padrão mais ou menos definido pela refletância de diferentes alvos.

Trentin e Robaina (2005) descrevem que esses parâmetros são informações básicas que se utiliza para o mapeamento. Para a definição de uma unidade homogênea pode-se utilizar um único parâmetro ou um grupo deles para formar uma unidade, que é a base para a análise de uma área. Define-se como parâmetro o elemento base que será inserido e operado sobre um documento cartográfico como informação que representa parte dos componentes do ambiente.

A elaboração dos mapas geoambientais consiste na associação de mapas temáticos, entre os quais se destacam o Geológico, o Geomorfológico, o Pedológico, o Litológico, o de Declividade, a Drenagem e o Uso e Ocupação do Solo. A síntese dos mapas temáticos e a integração dos parâmetros para a definição adequada dos limites de cada unidade são facilitadas pelas ferramentas de cartografia digital e (SIG) Sistemas de Informação Geográfica (FIORI, 2004).

O mapeamento geoambiental, consiste numa metodologia centrada na divisão da área em classes de terreno hierarquizadas, a partir de características gerais Geológico-Geomorfológicas e de Uso e Ocupação do solo. A união dessas informações possibilita a fragmentação de áreas homogêneas, onde é possível indicar Potencialidades e Suscetibilidades ambientais.

Um exemplo é a proposta de mapeamento geotécnico descrito por Trentin (2011) utilizando a sistemática das Cartas Zermos (zonas expostas a movimento de solos), adotadas pelo serviço geológico francês, sob a responsabilidade do laboratório do Ponts et Chaussées, na França. A proposta é que as cartas devem representar uma análise, em um dado momento, dos movimentos dos terrenos, ou dos terrenos de instabilidade revelados pelos dados obtidos na área estudada. A hierarquia, a graduação da

natureza ou do nível de instabilidade é baseada, essencialmente, na análise de certo número de fatores temporais ou permanentes que afetam a estabilidade dos terrenos.

No Brasil, o mapeamento com essas características teve início com os trabalhos de Haberlehner (1966), Heine (1966) e Grehs (1966). Entretanto, só nos primeiros anos da década de 1980 tiveram início os trabalhos de mapeamento geotécnico de cunho acadêmico, com a obra de Zuquette (1981), denominada "Mapeamento Geotécnico Preliminar na Região de São Carlos".

Segundo Carvalho *et al.* (2004), é partir da década de 1980, que surge a cartografia geoambiental, cujos conteúdos procuram dar respostas às necessidades de planejar, tendo em atenção à preservação e gestão do ambiente. As cartas geoambientais, são documentos temáticas, preparadas para fins específicos, podendo ser editadas isoladamente ou reunindo diferentes cartas nos designados Atlas ou zoneamentos Geoambientais.

Nas palavras de Vedovello (2004), 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 físico, 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 ambiente fisiográfico. Pode, por isso, incorporar elementos bióticos, antrópicos e sócio-culturais em sua análise e representação (VEDOVELLO, 2004).

Fiori (2004), descrevendo Cartografia Geoambiental, destaca que esta, ocupa-se da elaboração de mapas e de informações que tratem de problemas Geoambientais, freqüentemente ocasionados por um desequilíbrio do meio físico ligados principalmente a fenômenos de erosão, escorregamento, assoreamento, enchentes, inundações e circulação de água, associados ou não à ocupação antrópica.

Para Herrmann (2004), as unidades Geoambientais são definidas a partir do reconhecimento dos componentes do relevo, bem como os atributos e fatores condicionantes: hidrográficos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, climáticos, fitogeográficos e antrópicos.

Utilizando-se da Cartografia Geoambiental Higashi (2004), apresentou uma caracterização de unidades Geoambientais de São Francisco de Sul, com a finalidade de prever o comportamento destas unidades de solos presentes na área, utilizando o Sistema de Informação Geográfica, como uma ferramenta de auxílio ao diagnóstico de impactos causados ao meio ambiente.

Menezes & Zuquette (2004), em avaliações metodológicas de zoneamentos geoambientais em bacias hidrográficas, trabalharam com a avaliação das informações do meio físico para os mapeamentos geoambientais, tomando como base a bacia hidrográfica do Rio Pardo, na região sudoeste do Brasil, analisando os atributos referentes ao substrato rochoso, material superficial (inconsolidado), relevo, clima, água superficial e subterrânea e os processos atuais do meio físico.

Souza et al. (2005), utilizou-se da Cartografia Geoambiental como base para a elaboração do *Plano Diretor Ambiental e Urbanístico de Mariana/MG*. No trabalho, os autores abordam o estudo do meio físico do município, avaliando qualitativamente as características gerais dos terrenos, os conflitos de usos e os principais impactos ambientais existentes tendo como objetivo fornecer subsídios para a proposição do ordenamento territorial, o trabalho foi desenvolvido utilizando uma escala de informações de 1:50.000.

Outro trabalho utilizando a metodologia geoambiental foi o de Melo e Lima Filho (2005), onde realizaram um estudo no município de Paulista, no estado de Pernambuco, e constataram a partir da análise geoambiental que algumas áreas apresentam situação críticas e que podem ser revertidas com programas sócio-ambientais, já outras áreas necessitam de preservação para o bem estar social e ambiental do município.

Schirmer (2012) que desenvolveu um zoneamento geoambiental em municípios da Quarta Colônia de imigração italiana, localizada na região Central do RS, comenta que os estudos geoambientais vem sendo empregados como forma de apresentar as potencialidades e as restrições ambientais, utilizando a cartografia para a representação, interpretação e correlação dos parâmetros que compõem a área de estudo de determinado local.

Santos et al. (2007), desenvolveram o mapeamento da vulnerabilidade geoambiental para todo o estado do Paraná na escala 1:600.000, levando em consideração atributos geológicos, geomorfológicos e

pedológicos. Definiram três classes de vulnerabilidade: baixa, moderada e alta. O trabalho determinou a ocorrência de processos geoambientais como: erosão, movimentos de massa, queda de blocos, subsidência, recalques e colapsos de solo, inundações periódicas e contaminação de águas subterrâneas.

Rego Neto e Silva Filho (2010) estabeleceram uma metodologia para definição de *Zonas Especiais de Interesse Social (ZEIS)* para habitação através da caracterização geoambiental utilizando condicionantes morfológicos, geológicos e o tipo de vegetação no “Maciço da Costeira do Pirajubaé”, Florianópolis/SC, onde definiram 13 áreas sendo seis delas favoráveis e com algumas restrições e sete áreas com restrições e inadequadas à habitação.

Lorandi et al. (2010) também estabeleceram uma metodologia para zoneamento geoambiental com aplicação de SIG e análise de atributos como a litologia, o tipo de solo e a forma de relevo, confrontando com o tipo de uso do solo da região. O resultado foi a carta de zoneamento geoambiental do município, com a caracterização das suas zonas (domínios), visando auxiliar os tomadores de decisões.

De Nardin e Robaina (2010) estabeleceram o zoneamento geoambiental em bacias hidrográficas no sudoeste do Rio Grande do Sul, através de mapeamentos temáticos com o auxílio de SIGs (Sistemas de Informação Geográfica), trabalhos de campo e laboratório. Como resultados definiram sistemas e unidades geoambientais indicando zonas de fragilidade com ocorrência de areais e voçorocas, áreas de plantio de espécies arbóreas exóticas e a ocorrência de espécies endêmicas do Bioma Pampa.

Conforme apresentado, os mapeamentos geoambientais oferecem uma grande disponibilidade de procedimentos que são desenvolvidos e aplicados a fim de se atender objetivos específicos de análise e caracterização ambientais, sendo utilizados para solucionar problemas, definir áreas de risco, ou mesmo utilizados para a compartimentação de unidades de relevo com fins preventivos.

A partir do exposto apresentado é possível definir alguns parâmetros relacionados aos materiais e o método que são indispensáveis para a realização de mapeamentos e zoneamentos geoambientais, também é possível ter acesso

a alguns exemplos de aplicabilidade desse tipo de estudo. Com isso fica claro a importância desse tipo de estudo no planejamento e ordenamento do território.

Mais uma vez cabe ressaltar que as geotecnologias se mostram como uma ferramenta indispensável na elaboração de estudos relacionados à temática em questão, pois permite através de técnicas computacionais realizar a espacialização dos atributos e características do espaço geográfico, além de facilitar a análise dos materiais adquiridos, através de cruzamentos e interpolação de informações.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta etapa visa demonstrar os procedimentos e técnicas que foram utilizados para realização do trabalho. Será aqui apresentado o detalhamento da análise dos elementos físicos que compõe a área de estudo, compartimentações realizadas na bacia hidrográfica, além da identificação dos usos e ocupações do solo e pôr fim o zoneamento geoambiental da BHRIA.

A concepção teórica metodológica, que guiou a execução desta pesquisa, esteve ligada ao emprego do método de investigação da abordagem sistêmica, tendo como base os postulados de Christofolletti, (1980); Bertalanfy (1950).

Para a elaboração dos mapeamentos, utilizando-se dados quantitativos com representação cartográfica, buscou-se as orientações propostas por Ab' Saber (1969) e Ross (1990; 1992) quanto a análise empírica da compartimentação da topografia, análise das formas de relevo e na estrutura superficial da área de estudo.

A confecção e análise dos mapas temáticos, em estudos geográficos, representa uma importante etapa para o entendimento da evolução dos ambientes naturais, relacionados às formas, gênese e processos. Os procedimentos técnicos e operacionais utilizados durante a pesquisa foram adaptados de Trentin (2011), os quais encontram-se resumidos no esquema da figura 02, buscou-se desenvolver uma interpretação da área de estudo de forma sistêmica. Os métodos utilizados no decorrer da pesquisa tem como propósito, servir de subsídio para alcançar os objetivos e fortalecer a aplicação do método.

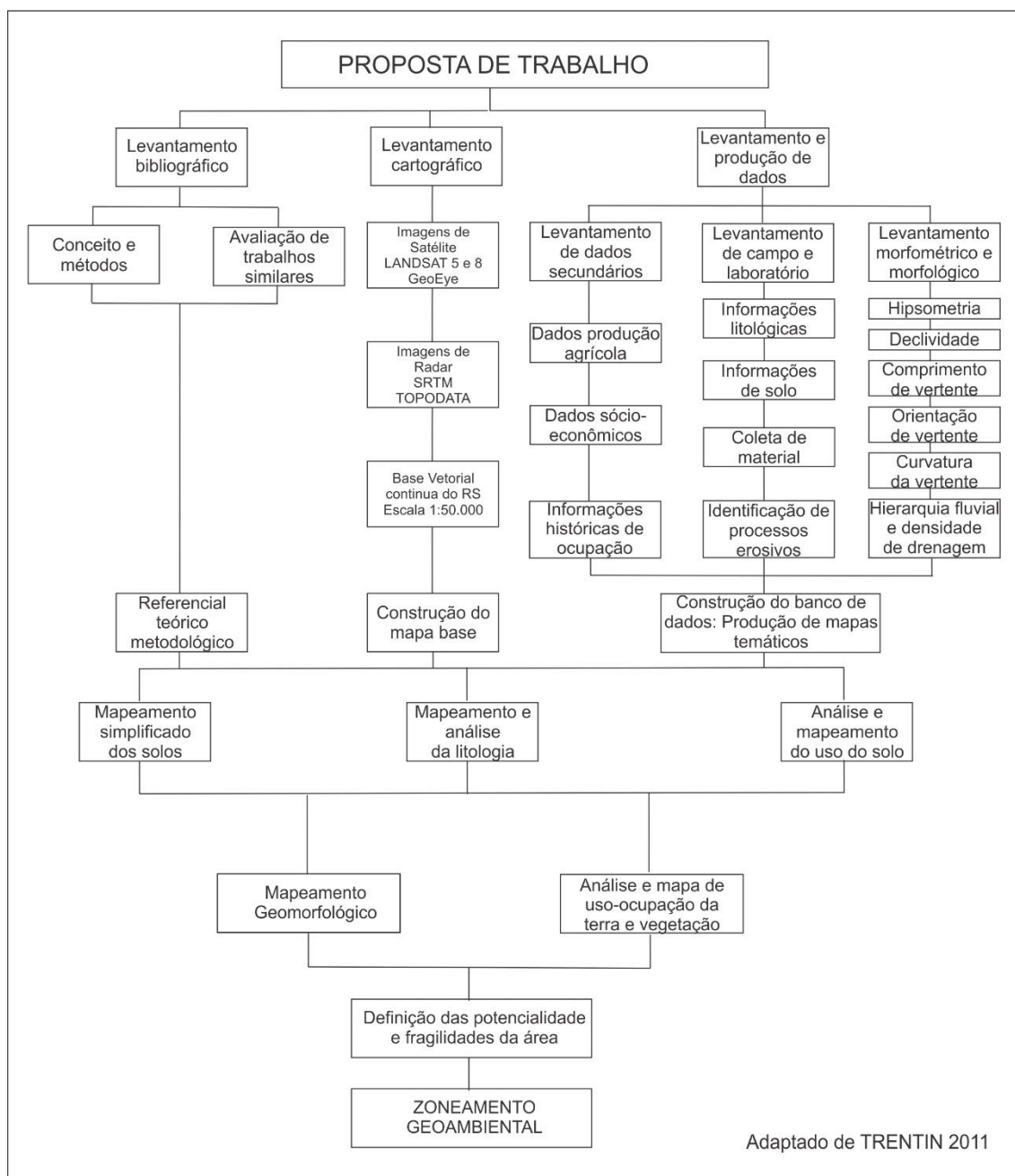


Figura 02: Fluxograma dos procedimentos metodológicos adotados no decorrer da pesquisa.

3.1 Levantamento e processamento de dados

A pesquisa teve seu início relacionado aos levantamentos de dados, pesquisas bibliográficas e informações sobre o material cartográfico disponível para a área em análise. Ao ser efetuada a seleção e compilação das informações coletadas, foi necessário ter o conhecimento teórico-conceitual para

não desperdiçar informações que ocasionalmente pudessem inviabilizar a pesquisa e serem significativas para o cumprimento dos objetivos propostos.

Os dados foram obtidos através fontes primárias (trabalhos de campo e análises em laboratório); e também em fontes secundárias (web sites e publicações literárias).

3.1.1 Levantamento bibliográfico e cartográfico

O levantamento bibliográfico é uma importante tarefa na execução de uma pesquisa, pois nesta etapa são definidos os limites da pesquisas e delimitados os conceitos que serão abordados. O contato com o referencial bibliográfico ocorreu durante todo o desenvolvimento da pesquisa (até o presente momento).

O levantamento de material cartográfico serviu de apoio para a construção dos mapas e análise de algumas condições da área de estudo (BHRIA). As informações cartográficas como: rede de drenagem, curvas de nível e pontos cotados, utilizados no desenvolvimento da pesquisa foram extraídos da Base Vetorial Contínua do estado do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000, organizada por Hazenack e Weber no ano de 2010.

Para utilização dessa base, foram efetuados alguns procedimentos na intenção de conferir a acurácia das informações, esse processo foi realizado utilizando cartas topográficas (DSG/IBGE,1977) e imagens de satélite (LANDSAT 5 e GEOEYE) que englobam a área de estudo, além de trabalhos de campo, salvo algumas correções que foram necessárias na hidrografia, a base pode ser considerada excelente para a proposta da pesquisa.

A confecção dos mapas de uso da terra e as análises, ocorreram utilizando imagens do satélite LANDSAT 5 TM, com resolução espacial de 30 metros e orbitas ponto 223/81 e 223/82, compreendendo as imagens, 23 de julho de 1994, 14 de abril de 2004. Com o lançamento do LANDSAT 8 OLI, o uso e ocupação do ano de 2014 foi executado utilizando o produto deste sensor, com imagens datadas de 19 de janeiro de 2014., além de imagens de radar do SRTM/TOPODATA.

Também foram utilizados alguns trabalhos específicos de mapeamento que abrangem a área de estudo como: o Projeto RADAMBRASIL, IBGE (1973,

2003 e 2006) que apresentam algumas informações sobre classificação de relevo, solos e vegetação; GEOBank CPRM (2006) com um mapeamento geológico do Rio Grande do Sul na escala 1:750.000. Além de estudos mais específicos desenvolvidos por Suertegaray *et al* (2001), De Nardin (2009) e Trentin (2011).

3.1.2 Produção de Dados

Para o levantamento e a produção dos dados primários e secundários, realizaram-se procedimentos distintos. Para o levantamento morfométrico/morfológico do relevo e da rede drenagem, foram utilizados procedimentos técnicos com o auxílio de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

O primeiro levantamento oportunizou identificar e caracterizar a bacia hidrográfica e suas sub-bacias quanto a hierarquia fluvial, densidade de drenagem, comprimento de canais. Posteriormente com o auxílio de ferramentas do ArcGis 10, foi definida a hipsometria, declividade, amplitude, comprimento, orientação e curvatura das vertentes.

Nos levantamentos de campo, foram observadas e analisadas as características do meio físico como relevo, litologia, solos e processos erosivos acentuados, também as condições de uso e ocupação como principais culturas agrícolas e estrutura fundiária, os trabalhos de campo são realizados através de estradas, caminhos e trilhas. A orientação em campo é feita através de um mapa base, contendo informações, na escala 1:50.000, referentes a hidrografia, topografia e sistema viário. Além de pontos de GPS, também são coletados em campo amostras rochosas e sedimentos para serem analisados em laboratório.

Nos levantamentos de dados secundários, foram obtidas informações a respeito dos dados socioeconômicos, históricos da ocupação agrícola e pecuária, também algumas informações climáticas, entre outros elementos relevantes a pesquisa.

Para o processamento e análise dos dados, foi organizado um banco de dados georreferenciado, manipulado no *software* ArcGis, contendo todas as informações dos levantamentos realizados até o presente momento, essa forma

de organização de elementos, permite uma maior inter-relação e sistematização entre os constituintes da área de estudo.

3.1.2.1 Estudo morfométrico e morfológico

O estudo morfométrico aplicado a análises em bacias hidrográficas, apresenta-se como uma importante etapa e ferramenta, pois são conhecidas as principais características da rede de drenagem e da morfologia do relevo, baseados em levantamentos relacionados ao comprimento, altura, largura, altimetria, declividade, densidade, etc.

Análise dos atributos da drenagem

Os mapas e as análises acerca da rede de drenagem, foram executados a partir da base contínua do RS e de imagens de satélite de média (30 m) e alta (1 m) resolução espacial. No ambiente georreferenciado do ArcGis foram definidas as ordens dos canais, e alguns atributos morfométricos relacionados a padrão, densidade, forma, magnitude e comprimentos dos canais. As análises referentes a rede de drenagem foram baseadas em CHRISTOFOLETTI 1980, que é largamente utilizado por pesquisadores das Geociências.

Hierarquia fluvial: a classificação utilizada, foi a estabelecida por Strahler (1952, apud CHRISTOFOLETTI, 1980), onde os menores canais, sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo-se da nascente até a confluência com outro canal, o encontro de dois canais de primeira ordem origina um de segunda ordem, que quando unido a um de mesmo ordem origina um de terceira ordem e assim sucessivamente.

Comprimento total da rede de drenagem: são variáveis dimensionais, expressas em quilômetros (km) ou em metros (m), que permitem uma avaliação primária das alterações em termos de perda ou ganho na extensão de caminhos para o escoamento linear das águas da bacia hidrográfica.

Forma da bacia: o índice de circularidade (kf) foi definido através da relação entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento axial. Mede-se o comprimento axial da bacia, quando se segue o curso de água mais longo

desde a foz até a cabeceira mais distante. A largura média (L) é obtida dividindo-se a área da bacia pelo seu comprimento axial:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Densidade de drenagem: a densidade de drenagem (Dd), é um parâmetro que relaciona o comprimento total dos canais de drenagem, com a área total da bacia, essa relação pode ser obtida através da seguinte equação:

$$Dd = \frac{Lt}{A}$$

Onde: Dd = densidade de drenagem; Lt = comprimento total dos canais; e A = área total da bacia.

Padrões de drenagem: é o arranjo espacial dos cursos fluviais e indicam uma série de características referentes à resistência do substrato litológico e às diferenças de declividade, os padrões que podem vir a ser encontrados na pesquisa são: retangular, dendrítico, treliça, retangular, paralelo, anular e radial.

As variáveis morfométricas relacionadas a hidrografia, foram definidas a partir de técnicas computacionais, onde, através do uso da ferramenta do Arcgis10 “x tools”, obteve-se as variáveis numéricas para os cálculos propostos na metodologia. Com dados numéricos em mãos, partiu-se para a obtenção dos resultados usando como interpolador de informações o Microsoft Excel.

Análise das características do relevo

Os constituintes fisiográficos do relevo foram discriminados através de estudos analíticos e através de tratamento estatístico, com base no espaçamento de 20 metros das curvas de nível. Também foram realizados trabalhos de campo com intensão de observar e classificar *in loco* as unidades morfológicas. Os trabalhos de campo foram executados em estradas

Os mapas do relevo (hipsometria, declividade e 3D) são produtos gerados a partir de Modelos Numéricos do Terreno (MNT), que permitem representar uma grandeza que varia continuamente no espaço. Esse modelo criado no Software ArcGis, através de informações vetoriais que contém valores numéricos para X, Y e Z.

O mapa hipsométrico foi criado utilizando a ferramenta do *ArcToolbox* “*topo to raster*”, onde são interpoladas informações contidas em curvas de nível, pontos cotados e rede de drenagem. As classes foram definidas através de quebras no relevo e arredondadas por meio de procedimentos matemáticos. São elas: <100 m; 100-140m; 140-180m; 180-220m; e >220m.

O mapa de *declividade* foi elaborado utilizando como base as classes propostas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT), sendo: <2%; 2 – 5%; 5 – 15%; e >15%: onde, o limite de 2% marca áreas planas em geral associadas às drenagens e sujeitas a ocorrências de inundações e os principais processos estão ligados a deposição de sedimentos; 5% representa áreas com baixa declividade, porém alguns processos erosivos se tornam significativos; 15% marca a faixa que define o limite máximo para o emprego da mecanização da agricultura, e também delimita áreas propícias à ocorrência de processos de movimento de massa e escorregamento.

A *orientação das vertentes* corresponde a direção na qual a vertente apresenta sua face de exposição. Os parâmetros de orientação das vertentes foram definidos através do *ArcGis* usando a ferramenta “*aspect*”, com isso foi possível obter o mapa de orientação das vertentes com as seguintes classes: Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Noroeste.

Para a definição das unidades de relevo foram utilizadas 6 (seis) unidades que melhor representam a superfície encontrada na BHRIA, são elas: *Morros Isolados*: elevações com amplitude altimétrica superior a 100 metros e declividade de encostas superior a 15%; *Morrotes Isolados*: elevações com amplitude altimétrica inferior 100 metros com declividade de encostas superior a 15%; *Colinas Fortemente Onduladas*: áreas que apresentam declividade entre 5 e 15% e amplitude altimétrica inferior a 100 metros; *Colinas Suavemente Onduladas*: áreas com declividade entre 2 e 5% e amplitude inferior a 100 metros; *Associação de Colinas, Morros e Morrotes*: são áreas onde é possível observar colinas com declividades que variam entre 2 e 15% com amplitude altimétrica inferior a 100 metros associadas a morros e morrotes; por fim as *Áreas Planas* com declividade menores que 2%. A base para a definição das unidades de relevo (Tabela 01) foi a metodologia do Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT (1981).

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	DECLIVIDADE	UNIDADE DE RELEVO
<100 metros	<2%	Áreas Planas
	2 - 5%	Colinas Suaves
	5 - 15%	Colinas
>100 metros	<15%	Morrotes
	>15%	Morros

Tabela 01: Classificação dos tipos de relevo. Adaptado de IPT(1981).

A elaboração do mapa de unidades de relevo, integra a avaliação da hipsometria, amplitude, declividade e da rede de drenagem, além da utilização de imagens de satélite dos trabalhos de campo, fundamental etapa.

A forma das encostas foi definida a partir do plano e perfil de curvatura. Os parâmetros de curvatura foram gerados no ArcGis, utilizando a ferramenta “*curvature*”, a qual permite definir, a partir de um modelo digital de elevação. O *mapa de perfil de curvatura* apresenta as curvaturas côncava, retilínea e convexa, já o *mapa de plano de curvatura* com as curvaturas divergentes, planares e convergentes. Através de um processo de cruzamento no ArcGis, foi possível obter as curvaturas: Côncavo – Convergente (Cc.Ct), Retilíneo – Convergente (Rt. Ct), Convexo – Convergente (Cx. Ct), Côncavo – Planar (Cc. Pn), Retilíneo – Planar (Rt. Pn), Convexo – Planar (Cx. Pn), Côncavo – Divergente (Cc. Dt), Retilíneo – Divergente (Rt. Dt.) e Convexo – Divergente (Cx. Dt.) (Figura 03).

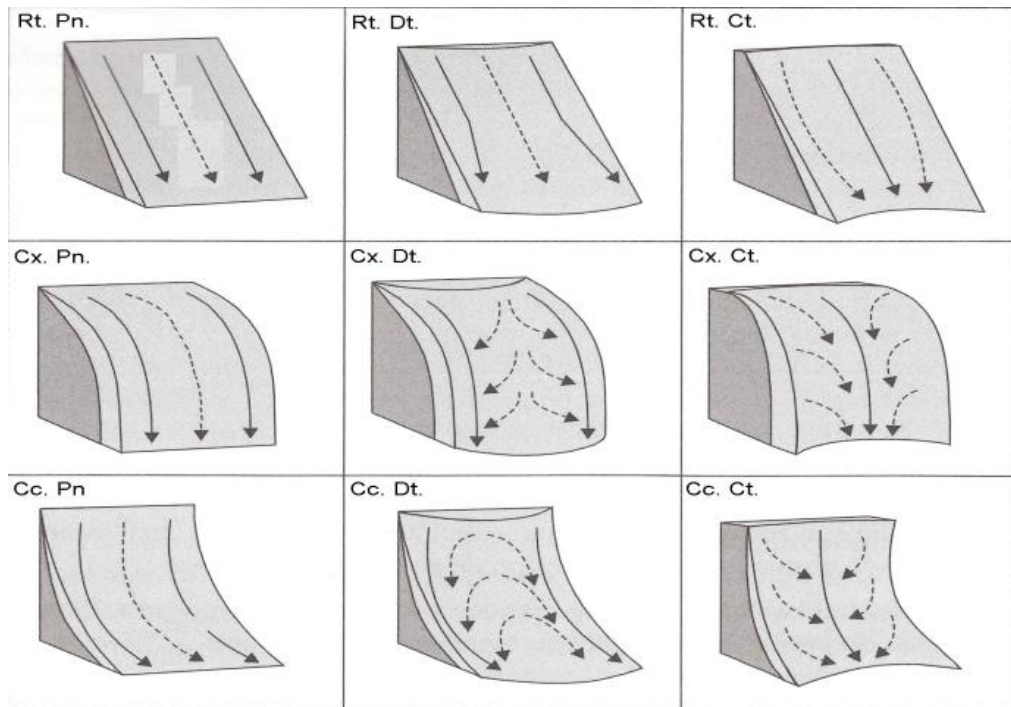


Figura 03: Modelos de curvatura das encostas. (Fonte: Summerfield 1997).

O relevo também foi analisado seguindo uma proposta de mapeamento geomorfométrico, descrito por Silveira (2013) e Robaina e Trentin (2014), baseado em cruzamento de índices topográficos gerados através do ambiente georreferenciado de um SIG e hierarquizados através de uma árvore de decisão (Figura 04) com valores pré-definidos, com base em conhecimento da área de quatro variáveis morfométricas que são: altimetria, declividade, perfil de curvatura e plano de curvatura.

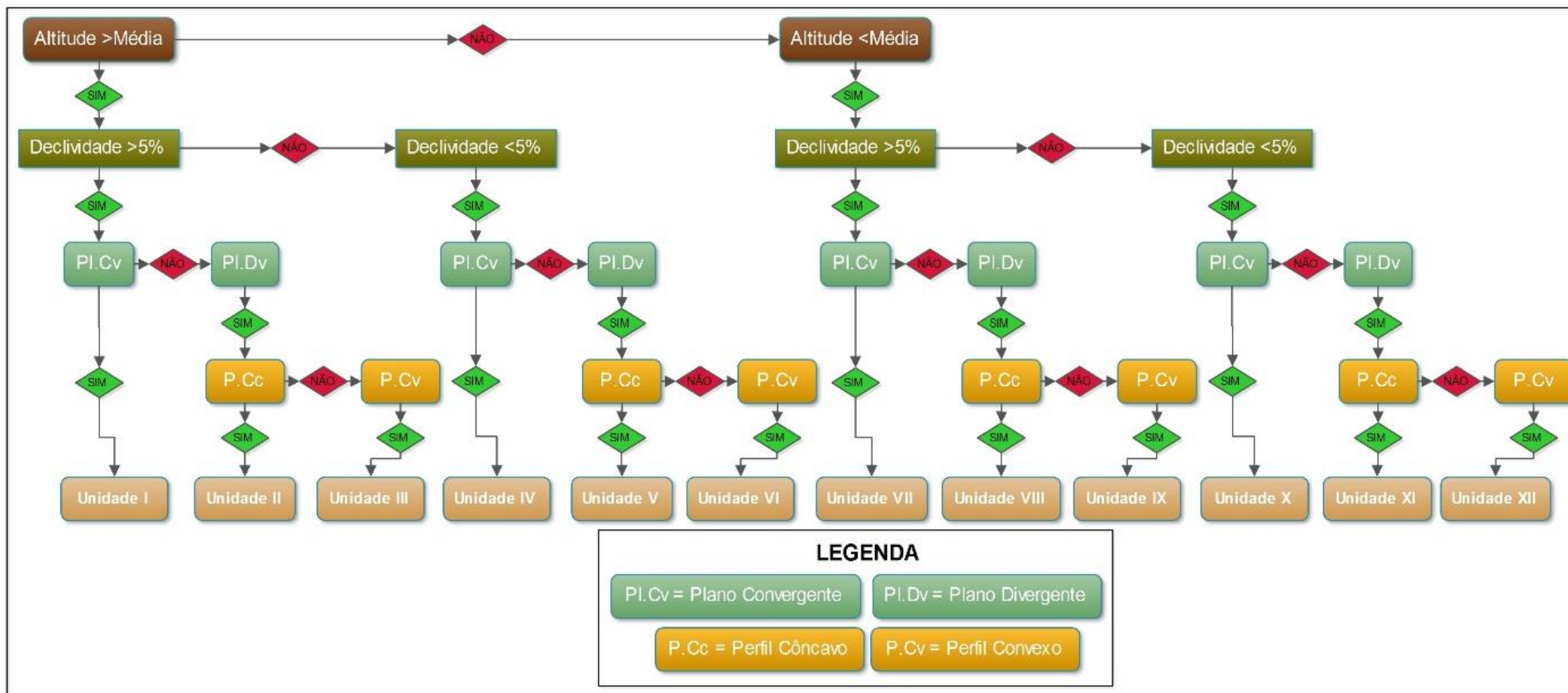


Figura 04: Fluxograma apresentando a árvore de decisão utilizada para definição das unidades. Fonte: Robaina e Trentin (2014).

Análise da geologia e Solos

A análise da geologia e solos se deu primeiramente através de dados secundários onde a litologia teve como base inicial em um mapeamento desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil na escala 1:750.000 (CPRM 2006), as unidades geológicas obtidas, foram aperfeiçoadas e detalhadas a partir de resultados do trabalho de campo. Procedimento semelhante se dará com o mapeamento simplificado de solos, que terá como base o “Mapa de Solos do RS”, disponível em Streck *et al*(2008) na escala 1:250.000, que passará por detalhamento a partir dos trabalhos de campo e análises granulométricas feitas em laboratório.

3.1.2.2 Levantamento de dados secundários

Dados sócio-econômicos e históricos da ocupação

As informações de cunho socioeconômico e histórico, obtidas em órgãos oficiais como IBGE, FEE e INCRA dos municípios, possibilitaram caracterizar e compreender o processo de evolução dos setores econômicos e de ocupação. Os trabalhos de campo, serviram para um entendimento dos processos, pois existem informações que não estão contidas em números.

3.1.3 Correlação das informações

O próximo passo na pesquisa, refere-se às correlações estabelecidas entre as informações levantadas e produzidas. Foram feitas as referidas correlações entre os elementos do meio físico e antrópico identificados, no decorrer do trabalho. 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 geomorfológica e zoneamento geoambiental.

O cruzamento das informações obtidas na elaboração do diagnóstico se deu no ambiente georreferenciado de um SIG (ArcGis 10) e ocorreu de duas formas: a primeira e mais utilizada foi a sobreposição de *layers* e posterior vetorização; a outra forma foi utilizando ferramentas automáticas com o *Union* e o *Combine*.

Entre as associações que originam o mapa geomorfológico, ganha ênfase às análises feitas entre as formas homogêneas de relevo, estrutura e gênese do substrato litológico com os respectivos processos dinâmicos de origem natural ou antrópicos atuantes.

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

3.1.3.1 Compartimentação geomorfológica

A compartimentação geomorfológica utilizada, tem como base a proposta metodológica trabalhada por Ross (1990, 1992), onde classifica em classes taxonômicas as unidades do espaço, esse autor por sua vez se baseia em postulados elaborados por Ab'Saber (1969) e Tricart (1977), que também utilizam níveis taxonômicos em seus estudos de relevo.

Foram definidos seis níveis taxonômicos (Figura 05), sendo utilizadas diferentes escalas de análise. Os dois primeiros níveis (Morfoestrutura e Morfoescultura), foram definidos utilizando uma escala de 1:250.000 e no terceiro nível (Unidades Geomorfológicas) uma escala de 1:100.000, esses níveis tiveram como base de análise, o Mapeamento Geomorfológico do Rio Ibicuí, desenvolvido por Robaina et al (2010).

A definição do quarto e quinto nível (Formas de Relevo e Vertentes), foram utilizadas informações topográficas na escala 1:50.000, essas informações passaram por complexos procedimentos computacionais, onde um dos resultados obtidos, foram cruzamentos de informações quanto a altitude, declividade e Plano e Perfil Curvatura das vertentes. Com essas informações em mãos tornou-se viável a delimitação e descrição das formas de relevo e das vertentes da BHRIA.

As informações contidas no último nível (Feições Superficiais), foram obtidas através de imagens de satélites com alta resolução, as quais possibilitam a visualização de algumas feições. Nos trabalhos de campo também foram observadas e descritas algumas feições. A partir do quarto nível, os trabalhos de campo formaram uma base de informações indispensáveis na definição das feições geomorfológicas.



Figura 05: Níveis geomorfológicos utilizados na classificação realizada para a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor)

A compartimentação geomorfológica da BHRIA, foi elaborada sob a base cartográfica de escala 1:50.000, visitas de campo, análises dos elementos físicos da área de estudo, dados altimétricos e de declividade. Foram discriminados os principais tipos de segmentos de relevo que ocorrem na área, através de uma interpretação geomorfológica adotando a delimitação de padrões e formas semelhantes, baseados na cartografia de síntese.

3.1.3.2 Uso e ocupação da terra e vegetação atual

A identificação dos diferentes usos, define a situação atual da área e as transformações ocorridas nas últimas décadas. Para isso, foi elaborado uma série histórica, entre o momento atual da pesquisa, e um período anterior a algumas transformações significativas no sistema agrícola do sudoeste gaúcho. Os anos escolhidos para a análise temporal foram: 1994, 2004 e 2014. As áreas definidas como lavouras incluem também solo exposto, pois são períodos entressafra, dessa forma, os períodos do ano diferentes não influenciam na classificação.

A classificação 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 (Serviço Geológico dos Estados Unidos), disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>.

A classificação das imagens foi realizada utilizando 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. O coeficiente de *Kappa* (Tabela 02) foi utilizado para expressar a taxa de concordância entre o observador e a amostragem, com isso foi possível averiguar o grau de acurácia da classificação.

Coeficiente de Kappa	Classificação
<0,00	Quase inexistente
0,00 - 0,20	Pequena
0,21 – 0,40	Insatisfatória
0,41 – 0,60	Satisfatória
0,61 – 0,80	Substancial
0,81 – 1,00	Quase perfeita

Tabela 02: coeficiente de Kappa utilizado para a averiguação da acurácia da classificação de imagens orbitais. Fonte: Landis e Koch (1977).

3.2 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 da área em questão.

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.

Já a vulnerabilidade, também retrata as características intrínsecas de um determinado espaço ou sistema, porém apresenta as restrições ou aptidões negativas para a execução de determinada atividade. Estas restrições podem ser relacionadas às características de elementos naturais, como solos, litologias pouco cimentadas, entre outras, também se discute o desenvolvimento de atividades do uso e ocupação que intensificam ou são desencadeadores de processos erosivos ou de perda de biodiversidade.

Cabe ressaltar que, a definição da vulnerabilidade (podendo ser considerada sinônimo de fragilidade) ocorre em cada unidade ou sistema identificado no zoneamento Geoambiental, definido através da análise das características geomorfológicas, dos processos de dinâmica superficial e do uso e ocupação, não apresentando mapa de fragilidade, como é proposto nos postulados de Ross (1994) e Crepani et al (1996).

3.3 Caracterização Geoambiental

Na etapa final ou no último nível de análise, será 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 especializado através do mapa Geoambiental.

A caracterização geoambiental, consiste na compartimentação do espaço em unidades homogêneas, obtidas através da análise das potencialidades e suscetibilidades das paisagens. 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 meio ambiente, minimizando as suscetibilidades e limitações.

Contudo, a presente pesquisa tem como enfoque uma análise integrada dos componentes da relação sociedade-natureza, isso é possível através de uma caracterização dos elementos básicos que formam estes componentes. Com o auxílio da cartografia analítica e através da interpretação analítica-

integrativa se chega aos documentos finais, que por sua vez caracterizam e concretizam 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.

Todas as informações levantadas, processadas e correlacionadas e mapeadas na escala 1:50.000 serviram de base para a caracterização geoambiental. As categorias de informação analisadas e levantadas são documentos considerados *Básicos*, *Derivados*, *Interpretativos* e *Finais*, em termos cartográficos isso representa a cartografia analítica e de síntese.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Caracterização dos elementos físicos

Este item aborda os resultados obtidos no decorrer da pesquisa, em um primeiro momento será apresentada uma caracterização dos elementos físicos da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada. Serão caracterizados os atributos da rede de drenagem, morfologia do relevo, litologia e solos.

Estas informações tem como função subsidiar as próximas etapas da pesquisas, em especial o mapeamento geomorfológico, pois permitem à compreensão e caracterização dos processos superficiais que ocorrem na Bacia Hidrográfica, como também avaliar as potencialidades e limitações do uso e ocupação.

4.1.1 Análise da drenagem

A BHRIA, ocupa uma área de aproximadamente 5.979km², estabelecida entre os municípios gaúchos de Rosário do Sul, Dom Pedrito e Santana do Livramento. E um tributário direto da margem esquerda do rio Santa Maria, que por sua vez é um importante afluente do rio Ibicuí, um importante contribuinte da região hidrográfica do rio Uruguai. Os drenos são controlados por falhas ou diferentes resistências litológicas, onde os canais se alojam em porções menos resistentes do terreno.

Seu canal principal estende-se por 327 Km, com uma orientação Sul-Norte, transportando água e sedimentos desde o limite do estado do Rio Grande do Sul com a República Oriental do Uruguai, até as proximidades da área urbana de Rosário do Sul, onde deságua no rio Santa Maria.

A bacia hidrográfica conta com 4.180 segmentos de canais, que juntos contabilizam 8.372,17 km de extensão, com isso, se tem uma densidade de drenagem de 1,40km/km², considerada segundo Christofolletti (1980) como sendo de baixa capacidade de drenagem,

A densidade de drenagem está ligada diretamente ao regime pluvial e ao substrato litológico, o baixo potencial de drenagem apresentado pela bacia pode estar relacionado a presença de vastas áreas composta por rochas areníticas, com alto potencial de infiltração (essa característica pode também ser observada em trabalho de campo).

Para uma melhor compreensão do sistema hidrográfico da BHRIA, a área foi dividida 7 (sete) sub-bacias hidrográficas com ordens de drenagens superiores a 4^a, além do canal principal (denominado "*Ibicuí da Armada*") com as demais drenagens de ordem inferior conforme a classificação proposta por *Strahler* (1952), esse sistema de classificação pode ser observado na figura 6.

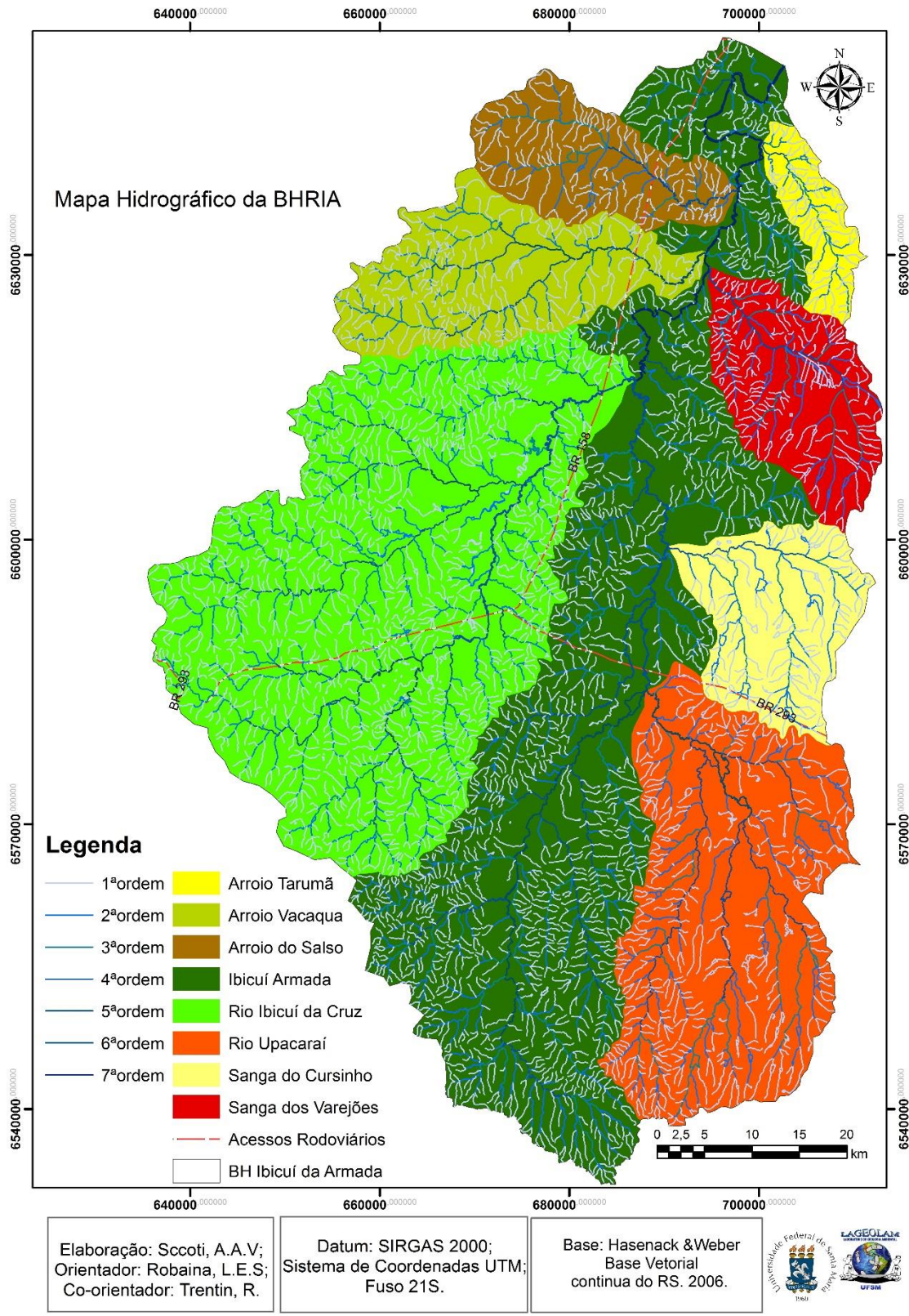


Figura 6: Mapa hidrográfico da BHRIA, podem ser observadas sete sub-bacias com ordem superior a 4ª, além do canal principal com as drenagens inferiores a ordem estabelecida. (Fonte: autor).

Os resultados referentes a morfometria da das sub-bacias hidrográficas pode ser observado na tabela 03. As sub-bacias foram organizadas de forma que as primeiras a apresentarem os resultados encontram-se no alto curso da bacia e à medida que vai avançando, também aumenta a proximidade com a foz ou o baixo curso da BHRIA.

BH	Hierarquia	Comprimento total	Perímetro	Área da BH	Índice de circularidade	Segmentos de canais	Densidade de drenagem
Upacaraí	5ª ordem	78,86 km	151,92 km	889,41 km ²	0,43	446 canais	1,20 km/km ²
Sanga do Cursinho	4ª ordem	40,47 km	86,58 km	312,83 km ²	0,45	140 canais	1,15 km/km ²
Ibicuí da Cruz	6ª ordem	154,51 km	210,66 km	1.749,80 km ²	0,5	1.368 canais	1,41 km/km ²
Sanga dos Varejões	4ª ordem	59,93 km	82,43 km	291,38 km ²	0,29	236 canais	2,08 km/km ²
Vacáqua	5ª ordem	66,17 km	115,23 km	428 km ²	0,27	295 canais	1,57 km/km ²
Sanga do Salso	4ª ordem	65,94 km	78,84 km	273,34 km ²	0,33	155 canais	1,39 km/km ²
Tarumã	4ª ordem	27,05 km	57,96 km	108,30 km ²	0,24	97 canais	2,91 km/km ²
Ibicuí da Armada	7ª ordem	327,67 km	417,49 km	1.925 km ²	0,13	1.449 canais	1,54 km/km ²

Tabela 03: Variáveis morfométricas das sub-bacias que compõem a BHRIA. (Fonte: autor)

As áreas das sub-bacias variam de 291,38 km² até 1.925 km², a maioria apresenta grandeza de canal de 4ª ordem. A densidade de drenagem varia de 1,20 km/km² até 2,91 km/km², sendo assim possível observar sub-bacias com baixo, médio e alto potencial de drenagem. Essas variações estão associadas as características de permeabilidade do substrato.

Quanto aos padrões de drenagem (Figura 07), podemos observar dendrítico e retangulares predominantes e secundariamente um padrão paralelo. As nascentes associadas ao curso principal do rio Ibicuí da Armada apresentam predominância de padrões dendríticos, enquanto que os afluentes da margem esquerda apresentam um padrão retangular, o padrão paralelo está associado aos afluentes da margem direita, tendo destaque para a sub-bacia do rio

Upacaraí. Os padrões de drenagem, são a resposta da topografia e das estruturas geológicas e litológicas frente aos caminhos preferências tomados pelos segmentos de drenagem.

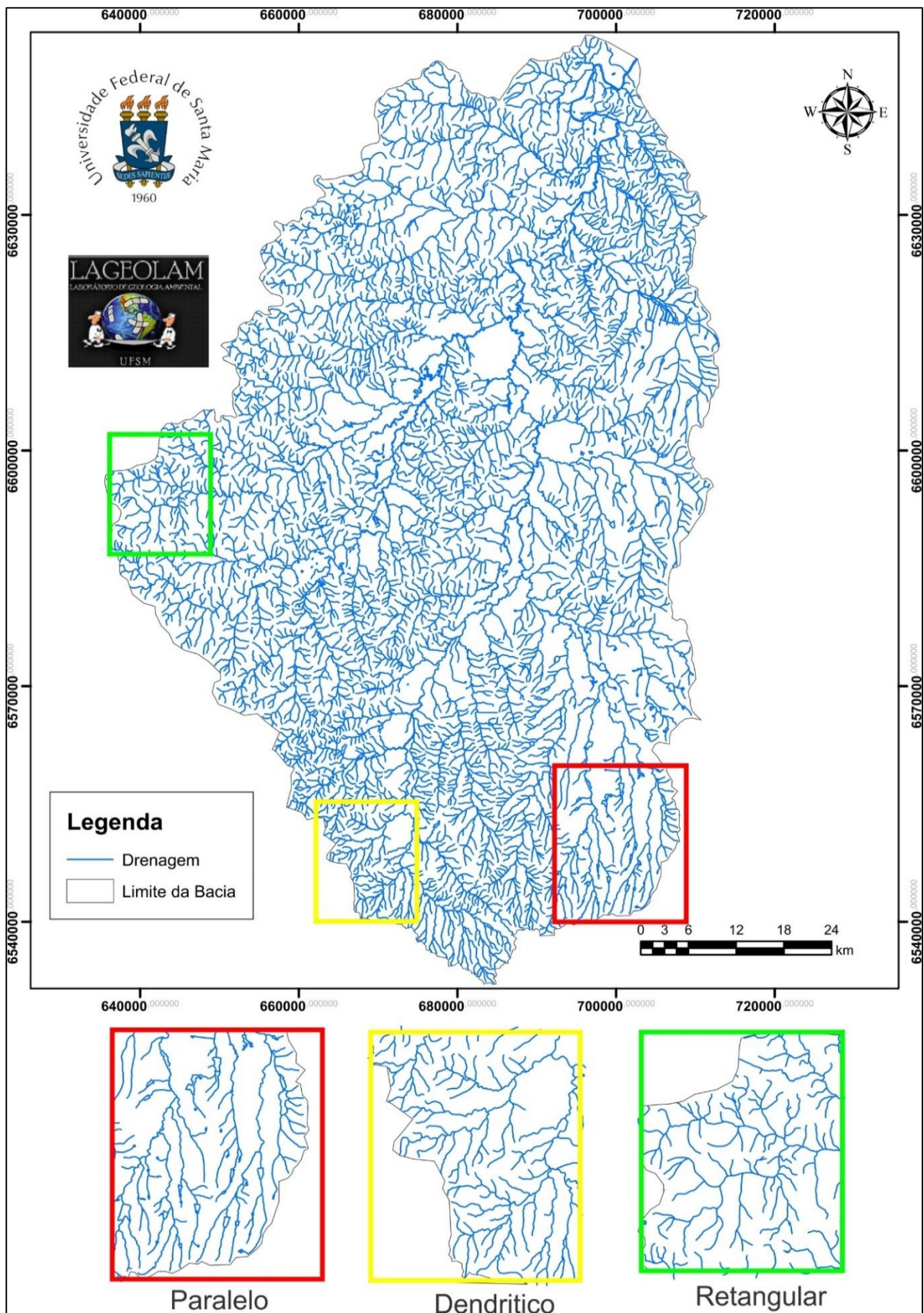


Figura 7: Mapa indicando alguns dos padrões de drenagem encontrados na BHRIA. (Fonte: autor)

4.1.2 Morfometria de relevo

A BHRIA, apresenta uma grande variação nas formas de relevo, suas características são comuns as observadas em toda a fronteira oeste do RS, sendo que há o predomínio de colinas e algumas formas ruiformes. A avaliação do relevo se dará analisando variáveis como hipsometria, declividade, orientação de vertentes, comprimento de vertentes e formas e vertentes.

4.1.2.1 Hipsometria

O estudo do relevo inicia com sua representação tridimensional, fruto de informações topográficas contidas em duas dimensões. O primeiro produto cartográfico obtido após a interpolação dos dados referentes a forma do terreno é a hipsometria, onde fica espacializadas as diferentes altitudes, em relação ao nível médio dos oceanos, que a área apresenta.

Quanto a hipsometria, a BHRIA (Figura 8) apresenta uma amplitude altimétrica de 300 metros, uma considerável diferença de altitude, sendo que a menor cota de 80 metros, localiza-se nas proximidades da foz com o rio Santa Maria (porção norte da bacia hidrográfica) e a maior cota é de 383 metros na porção oeste, junto a linha de cumeada que limita a BHRIA da Bacia Hidrográfica do Ibirapuitã.

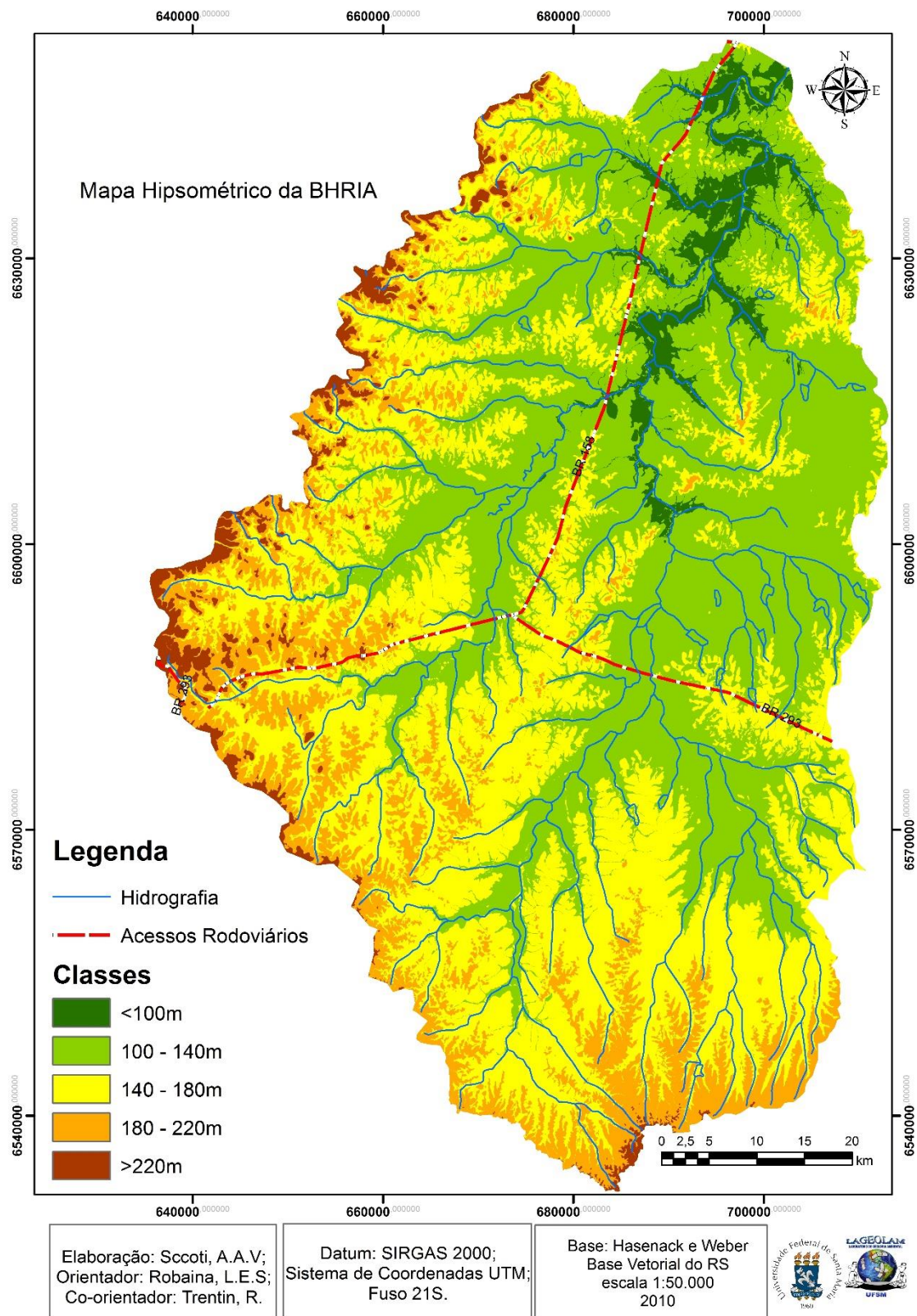


Figura 8: Mapa mostrando as diferentes altitudes encontradas na BHRIA. (Fonte: autor)

As classes hipsométricas (Quadro 01), foram classificadas seguindo quebras no relevo que são identificadas pelo *software* ArcGis, foram utilizadas 6 classes que passaram por processos matemáticos de arredondamento.

HIPSOMETRIA		
Classes (m)	Área em km²	Porcentagem (%)
<100	218,44	5
100-140	2.455,20	39,92
140-180	2.340,29	37,97
180-220	837,29	13,95
>220	154,85	2,5

Quadro 01: Neste quadro podem ser observados os resultados referentes a área de cada classe hipsometria, bem como sua porcentagem. (Fonte: autor)

De forma geral podemos notar que a classe predominante na BHRIA, encontra-se no intervalo de 100-140m, representando 39,92% da área em estudo. As áreas com altitude superior a 220m, representam 2,5% da área da bacia e se localizam em uma faixa, formando as cabeceiras de drenagem, no extremo oeste, nas sub-bacias do rio Ibicuí da Cruz e Arroio Vacaqua.

4.1.2.2 Declividade

A avaliação da declividade, tem como principal função conhecer a inclinação das encostas, isso permite que se entenda como muitos processos ligados a dinâmica de matéria e energia acontecem na área de interesse.

A análise da declividade da BHRIA apresentadas na figura 9 e no quadro 02, mostra que o relevo é pouco movimentado, com predomínio de áreas planas com 45,57% (declividades < que 2%) a levemente onduladas (declividades de 2 a 5%) com 25,44% de área na BHRIA. Essas declividade (Figura 09A e B) são comumente encontradas próximas as drenagens, como também são observadas nos topos de morros e morrotes (formas residuais que indicam o desgaste de antigas porções elevadas terreno).

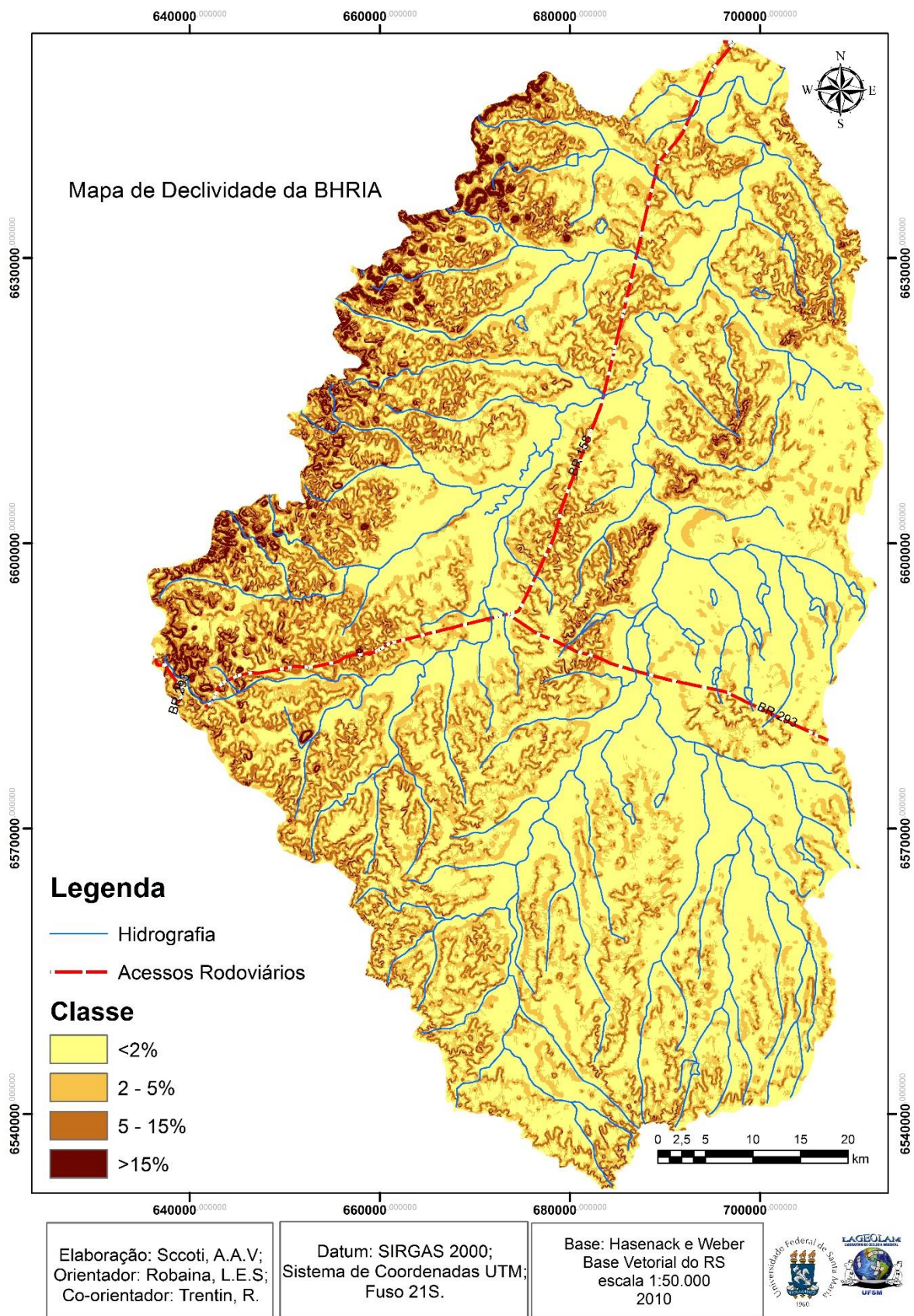


Figura 9: Mapa apresentando as declividades das encostas da BHRIA. (Fonte: autor)

DECLIVIDADE		
Classes	Área em km ²	Porcentagem (%)
<2%	2.724,75	45,57
2-5%	1.521,25	25,44
5-15%	1.308,16	21,87
>15%	424,84	7,1

Quadro 02: Resultados referentes as áreas com diferentes declividades. (Fonte: autor)

As porções com declividade entre 5 e 15% (Figura 09C), ocupando uma área de 21,87% na BHRIA e estão distribuídas por toda a bacia.

Por fim temos as declividades superiores a 15%, onde a mecanização da agricultura é dificultada, que ocorrem predominantemente nas bacias da margem esquerda do rio Ibicuí da Armada, em termos de área é a menos expressiva com 7,1%.

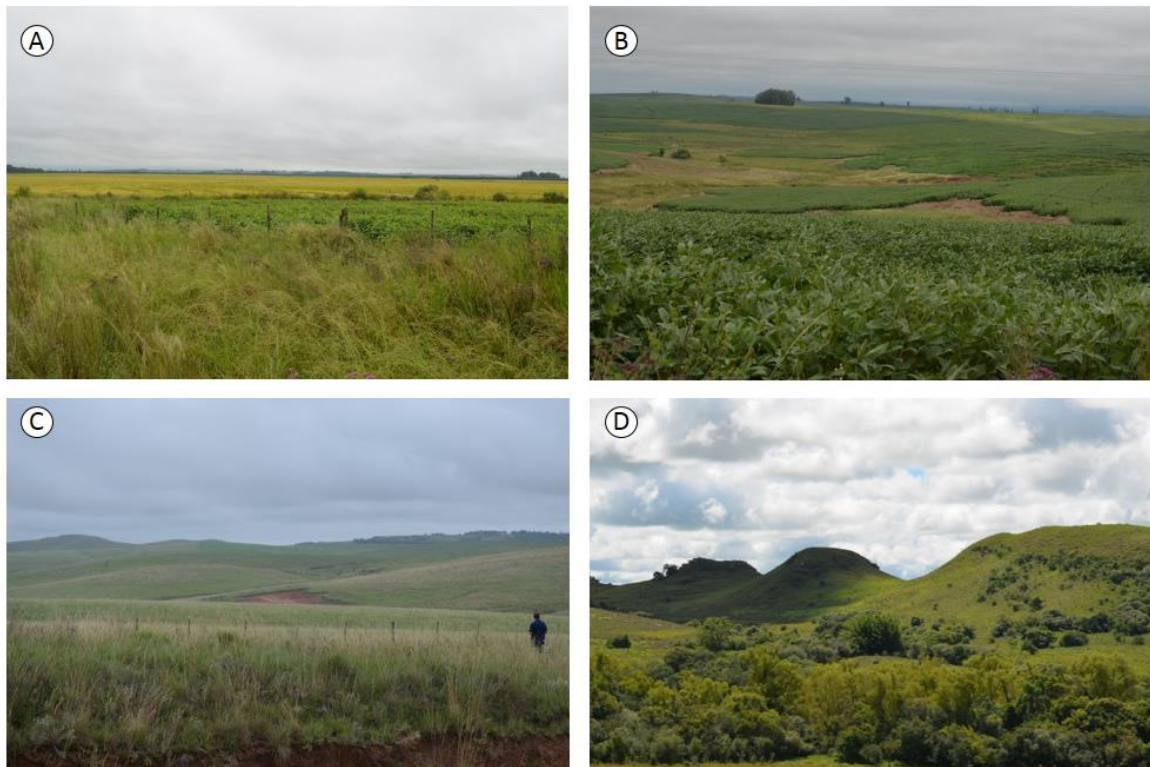


Figura 10: fotografia mostrando área próxima a confluência do rio Ibicuí da Armada com o Santa Maria, é possível observar uma declividade baixa, inferior a <2%; “B” imagem com declividades entre 2 e 5%; “C” área com declividade entre 5 e 15%, é possível observar interflúvios mais curtos; “D” encosta com declividade superior a 15%.(Fonte: Autor, fevereiro de 2014)

4.1.2.3 Orientação das vertentes

A orientação de vertentes (Figura 11) é definida como o ângulo Azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente e é expresso primeiramente em graus, posteriormente esses ângulos são segmentados e atribuídos classes utilizando as orientações expressas por pontos Cardeais e Colaterais.

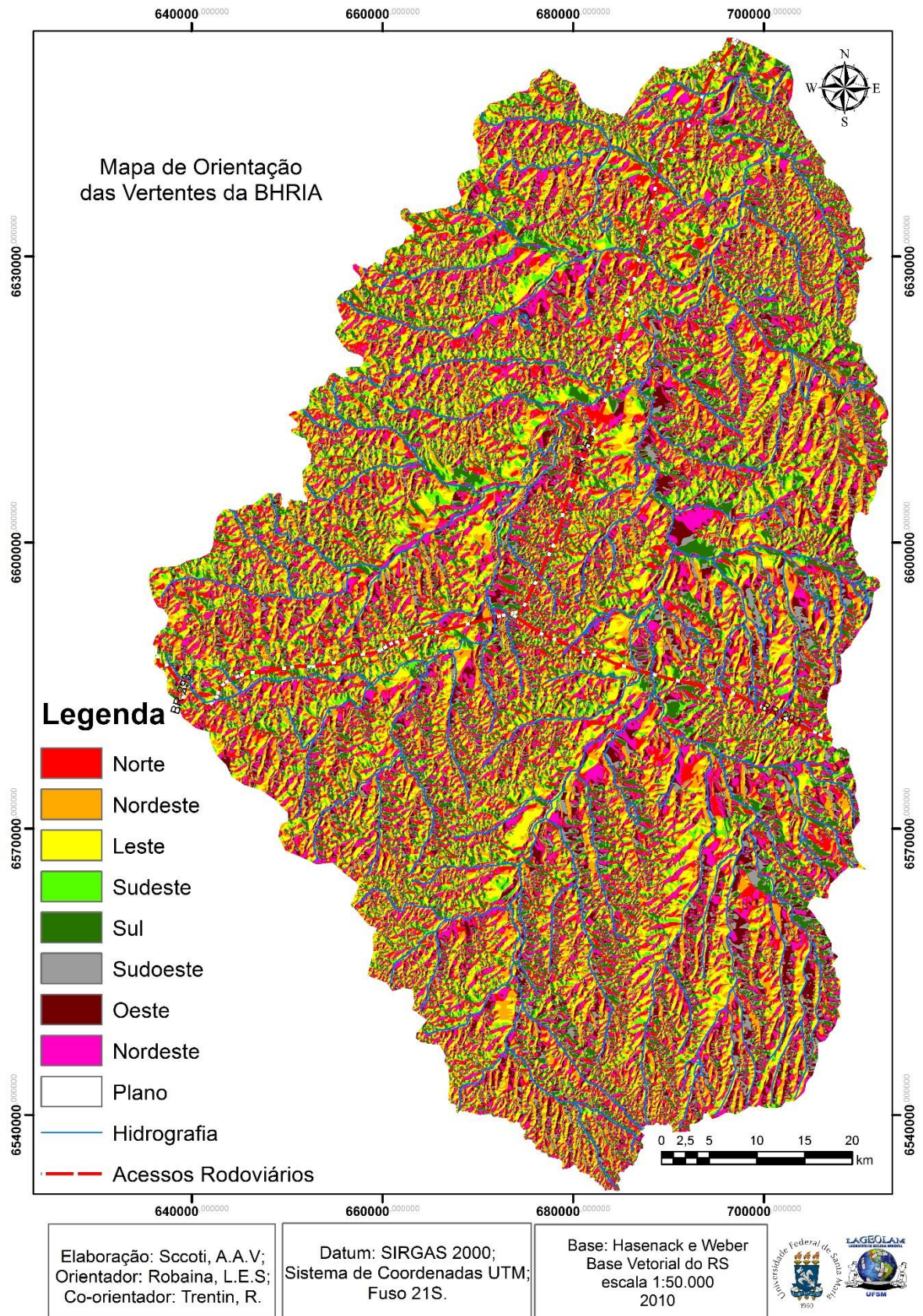


Figura 11: Mapa de orientação de vertentes da BHRIA. (Fonte autor)

Na BHRIA, as orientações de vertentes, ocorrem de forma proporcional, sendo que há o predomínio da orientação leste (14,44%) e a menor são as vertentes voltadas para o Sul (9,59%), como pode ser visto no quadro 03.

ORIENTAÇÃO DE VERTENTE		
Classe	Área em km²	Porcentagem (%)
<i>Norte</i>	742,25	12,41
<i>Nordeste</i>	805,4	13,47
<i>Leste</i>	863,87	14,44
<i>Sudeste</i>	728,23	12,17
<i>Sul</i>	573,74	9,59
<i>Sudoeste</i>	659,14	11,02
<i>oeste</i>	808,83	13,52
<i>Noroeste</i>	824,56	13,79

Quadro 03: Tabela apresentando dados quantitativos referentes as orientações das vertentes da BHRIA. (Fonte: autor)

A orientação que as vertentes apresentam, indicam o percentual de radiação solar incidente na superfície, no caso da BHRIA que localiza-se no hemisfério sul, as vertentes orientadas para Norte são as que recebem maior incidência solar no decorrer do ano, esse fator é importante em várias questões, entre uma delas podemos frisar o desenvolvimento da vegetação, que necessita de umidade para seu desenvolvimento, locais com maior incidência de energia solar tendem a reter menos umidade, com isso o desenvolvimento de vegetação arbórea de grande porte fica prejudicado.

4.1.2.4 Formas das Encostas

As encostas podem ser definidas de forma simplificada, segundo Velosos 2002, como sendo um elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal, que apresenta um gradiente e uma orientação no espaço. Dessa forma podem ser classificadas de acordo com a sua declividade e curvatura no Plano e no Perfil.

O plano de curvatura da vertente corresponde a variação do gradiente de arqueamento na direção ortogonal da vertente (curvatura da superfície perpendicular à direção da inclinação) e refere-se ao caráter divergente/convergente do terreno, enquanto, o perfil de curvatura é a taxa de variação do gradiente de arqueamento na direção de sua orientação (a curvatura da superfície no sentido do declive) e está relacionada ao caráter convexo/côncavo do terreno sendo decisiva na aceleração ou desaceleração fluxo da água sobre o mesmo.

No mapa da figura 12, podemos observar como se distribui as diferentes formas das vertentes que compõe a área de estudo.

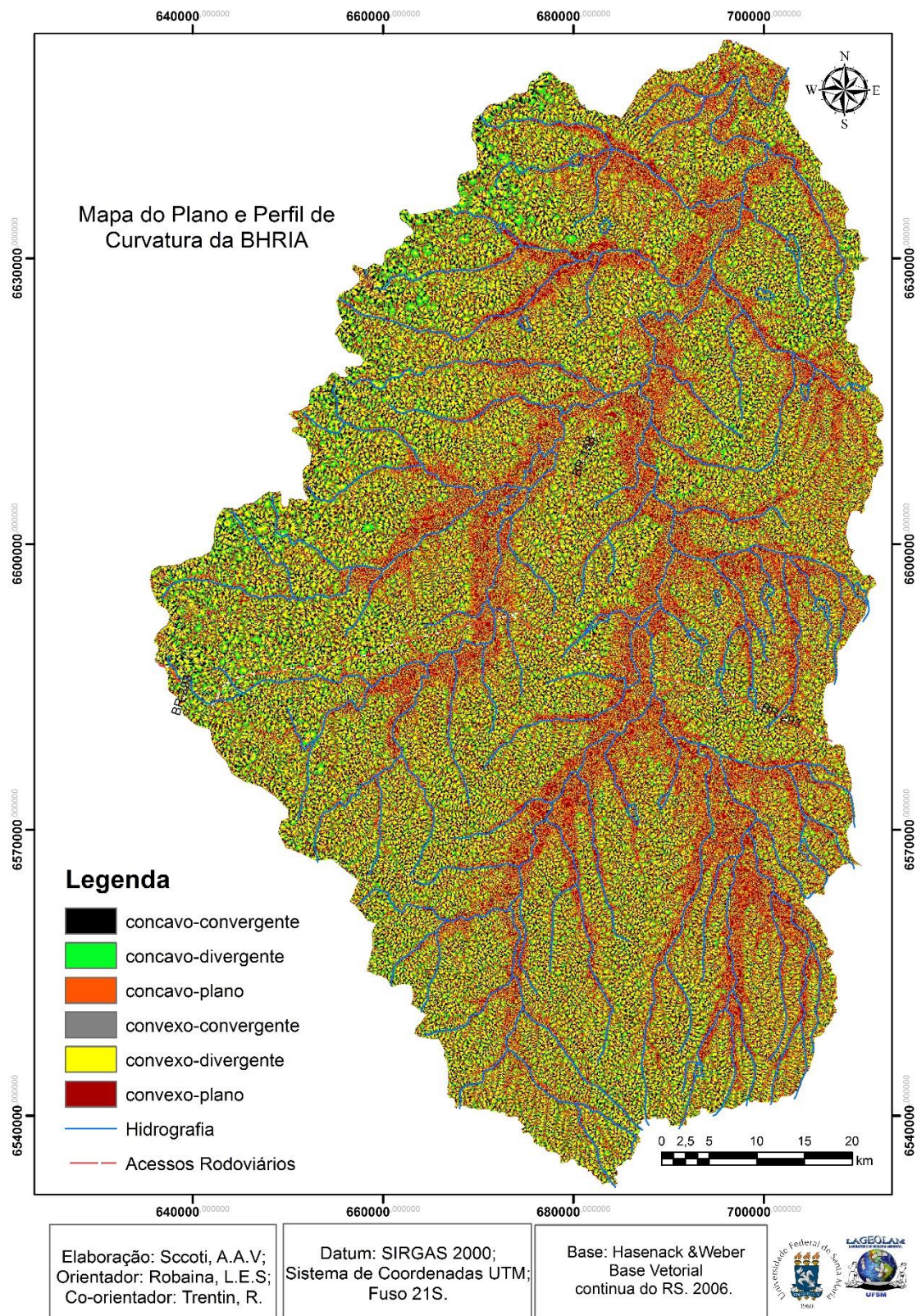


Figura 12: Mapa indicando o Perfil e Plano das vertentes que compõe a BHRIA. (Fonte: autor)

O quadro 04 apresenta as classes de encosta, com a área correspondente e o percentual dentro da bacia. As encostas côncavo-plano e

convexo-plano, as encostas convexo-divergentes são as predominantes e ocorrem junto ao topo e a meia encosta e as encostas côncavo-divergentes e côncavo-convergentes ocorrem na base e na meia encosta.

PERFIL E PLANO DE CURVATURA		
Classe	km²	%
<i>côncavo-convergente</i>	783,54	13,2
<i>côncavo-divergente</i>	887,37	14,95
<i>côncavo-plano</i>	1.265,32	21,32
<i>convexo-convergente</i>	218,89	3,68
<i>convexo-divergente</i>	1.733,22	29,21
<i>convexo-plano</i>	1.044,46	17,6

Quadro 04: Quantificação das classes de perfil e plano de curvatura das vertentes. (Fonte: autor)

Na área em análise podemos observar o predomínio de encostas convexo-divergentes, essas são observadas principalmente nos topos de morros e morrotes, nos interflúvios e porções mais elevadas topograficamente das colinas. A principal características dessa unidade, é apresentar um fluxo hídrico difuso, predominando erosão laminar ao em “lençol”.

4.1.2.5 Unidades de Relevo

Através da análise dos parâmetros morfométricos do relevo, definiu-se as unidades morfológicas ou padrões de relevo e suas áreas com formas homogêneas na BHRIA, como pode ser observado no mapa da figura 13.

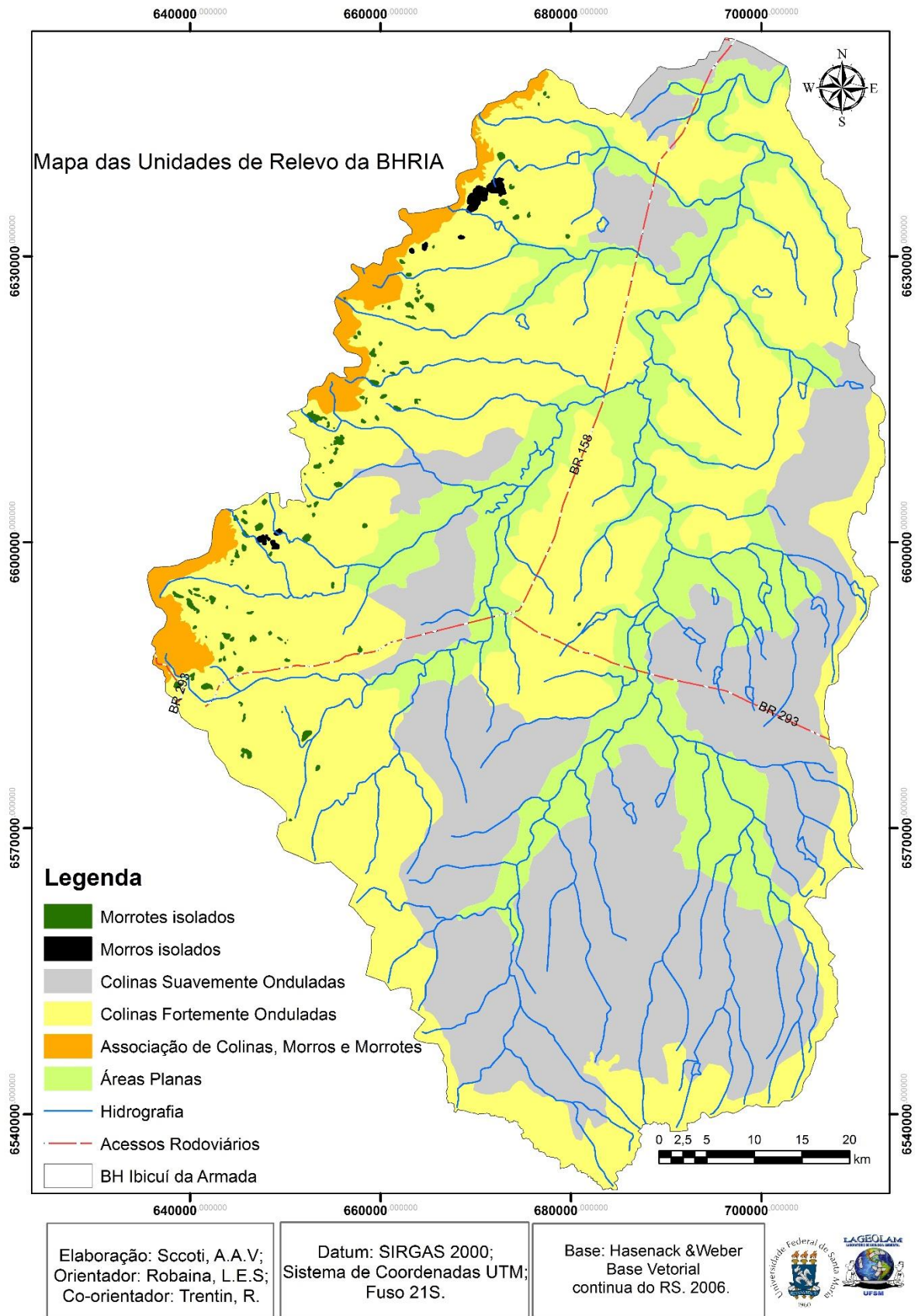


Figura 13: Mapa indicando as unidades morfológicas classificadas na BHRIA. (Fonte: autor)

A BHRIA, apresenta uma boa diversidade de formas de relevo, pois é possível encontrar desde áreas planas junto a drenagens como morros e morrotes nas linhas de cumeada que limitam as nascentes da Bacia Hidrográfica. Foram encontradas e classificadas seis (06) unidades de relevo, sendo elas: Morrotes Isolados; Morros Isolados; Colinas Suavemente Onduladas; Colinas Fortemente Onduladas; Associação de Colinas, Morros e Morrotes; e Áreas Planas.

Morrotes Isolados: São formas relevo com declividade de encostas superior a 15% e amplitude altimétrica inferior a 100 metros (Figura 13), marcam a evolução dos processos erosivos sobre as áreas elevadas topograficamente. Essas porções se mantêm elevadas em relação ao seu entorno, por apresentarem uma maior resistência aos processos degradacionais.

Em alguns casos os morrotes podem apresentar diferenças, relacionadas ao tipo de litologias, pois morrotes com topo plano em geral são compostos de arenitos, enquanto que topos arredondados podem indicar rochas vulcânicas.



Figura 14: Morrote isolado, localizado na porção noroeste da BHRIA, é possível observar seu topo arredondado que pode caracterizar uma camada de rocha vulcânica. Com relação a forma, pode ser classificado com um topo “convexo-divergente” e sua base “côncavo convergente” e alguns casos “côncavo-divergente”. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Nos morrotes isolados encontrados na BHRIA, a resistência se dá pelo tipo de cimento que agrega os grânulos em rochas sedimentares, que no caso é

composto por Sílica e Óxido de Ferro. Também existem alguns morrotes que são preservados por serem compostos ou ter o topo coberto com rochas vulcânicas.

Morros Isolados: Essas formas se diferenciam dos morrotes isolados em poucos fatores, um deles é a amplitude altimétrica que para morros isolados é deve ser superior a 100 metros (IPT 1981), os fatores que mantêm essas elevações.

Colinas Suavemente Onduladas: são áreas que apresentam em sua maioria, declividades entre 2 e 5% amplitudes altimétricas em torno de 40 metros, perfis convexos com amplos interflúvios (Figura 15).



Figura 15: Fotografia mostrando colinas suavemente onduladas, na BHRIA elas são ocupadas em sua maioria lavouras e pastagens. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Essas formas de relevo são responsáveis por marcar o limite em que os processos deposicionais são superados pelos degradacionais, ou seja, ocorre o surgimento de incisões lineares (Ravinas e Voçorocas) e pequenos “*piping*”.

Colinas Fortemente Onduladas: as declividades ficam em sua maioria no intervalo de 5 a 15%, apresentam interflúvios mais curtos e comprimento de vertentes menores (figura 16). Algumas dessas colinas apresentam degraus rochosos (rochas mais resistentes que as do seu entorno), que somente são identificados em campo.



Figura 16: “A” colinas fortemente onduladas, é possível observar interflúvios mais curtos e declividades entre 5-15%; “B” pequenas cornijas compostas de rochas mais resistentes que as de seu entorno e associadas ao topo de algumas colinas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Essas colinas limitam o uso e ocupação com mecanização terrestre de agricultura. As Colinas Fortemente onduladas são as unidades de relevo que predominam na BHRIA, ocupando 40,94%.

Associação de Colinas, Morros e Morrotes: essa unidade é composta de formas de relevo que podem variar de colinas com declividades em torno de 5%, até morros com amplitudes altimétricas superiores a 100 metros e declividade superior a 15% (Figura 17). Essa formas são observadas no extremo oeste e noroeste da BHRIA.



Figura 17: Fotografias mostrando as unidades morfológicas de relevo classificadas como associação de colinas, morros e morrotes. É possível observar encostas vegetadas e entre as grandes elevações é possível observar colinas. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As encostas íngremes são ocupadas por vegetação arbórea de porte médio e grande, enquanto que as colinas que se encontram na base dessas elevações são cobertas com gramíneas e ocupadas para a criação extensivas de gado.

Áreas Planas: são unidades, onde a declividade não ultrapassa os 2% figura 18, sendo que mais comumente, está associada as planícies de inundação e áreas próximas aos principais rios da BHRIA. Quando analisadas com maior detalhe, é possível encontra-las nos topos de morros e base de encostas e colinas.



Figura 18: Áreas planas próximas a foz do rio Ibicuí da Armada, na BHRIA a grande maioria dessas unidades está associada a drenagem. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Em relação a quantificação das classes (Quadro 05), observamos que as unidades que predominam são as colinas e as áreas planas, sendo que estão distribuídas em quase toda a área de estudo. Os Morros Isolados são os que detêm a menor área dentro da BHRIA.

UNIDADES DE RELEVO		
Unidades	Área km ²	Porcentagem (%)
<i>Morros Isolados</i>	9,43	0,15
<i>Morrotos Isolados</i>	21,61	0,36
<i>Colinas Fortemente Onduladas</i>	2.448,32	40,94
<i>Colinas Suavemente Onduladas</i>	2250,55	37,64
<i>Associação de colinas, Morros e Morrotos</i>	143,37	2,39
<i>Áreas Planas</i>	1138,92	19,04

Quadro 05: Quantificação das unidades morfológicas de relevo. (Fonte: autor, Fevereiro de 2014)

4.1.3 Distribuição das Litologias

A BHRIA, apresenta uma grande variedade de substratos litológicos (Figura 19) distribuídos em sua extensão, sendo possível observar rochas de origem sedimentar (formadas em ambientes fluviais, eólicos e marinhos) e vulcânicas.

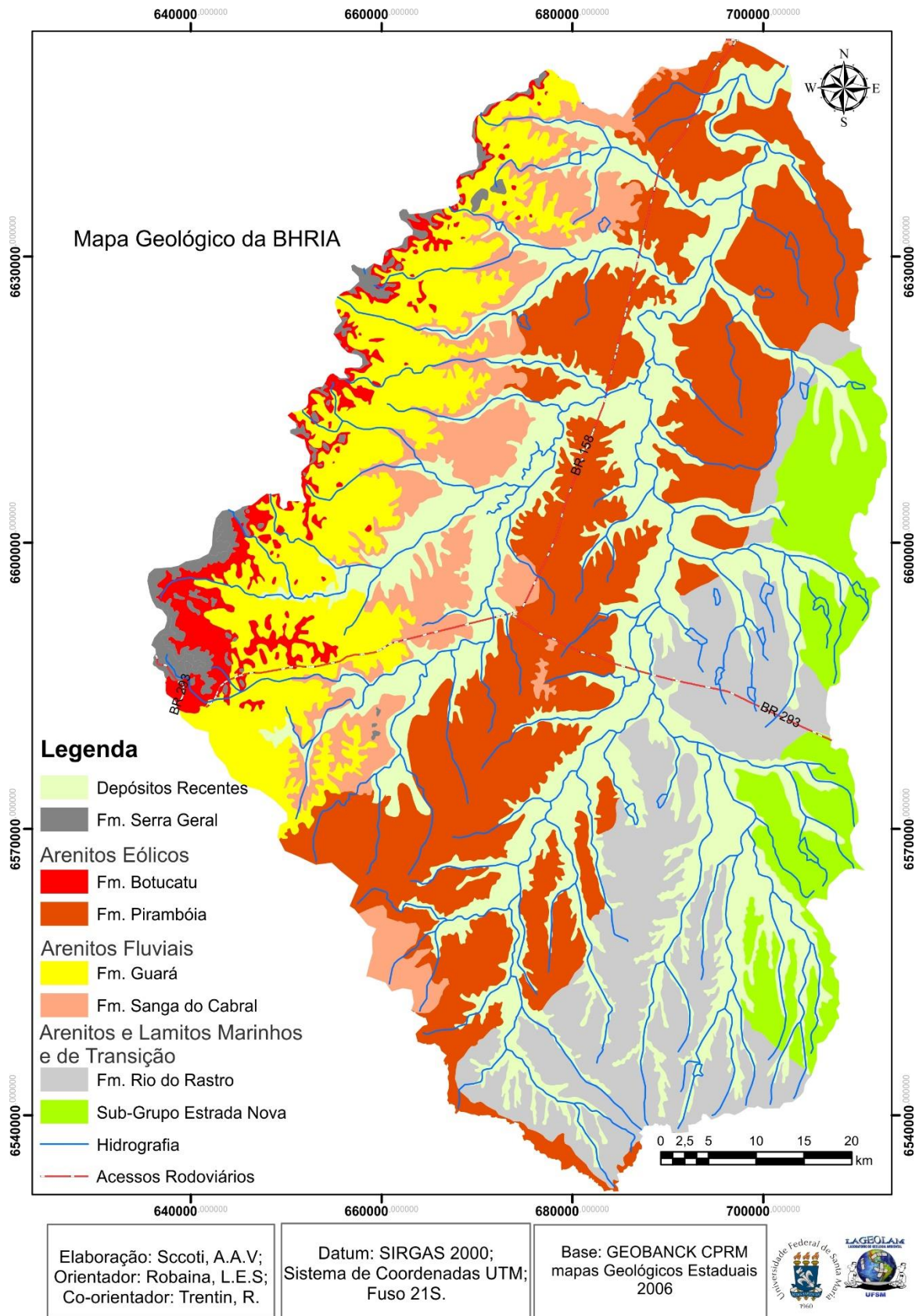


Figura 19: mapa geológico da BHRIA, nesta figura é possível observar a distribuição espacial dos tipos de rocha. (Fonte: autor)

Essas litologias se comportam de maneira diferenciada frente aos processos intempéricos e erosivos, no caso das litologias de origem sedimentar, essas peculiaridades dão-se pelo grau de coesão e dimensão dos constituintes e nas de vulcânicas pela sua composição química e densidade de fraturas.

As litologias são avaliadas seguindo algumas características, como textura, cor, ambiente de formação, comportamento frente a processos intempéricos e erosivos (desagregação) e aspectos gerais dos afloramentos. As litologias em sua maioria são vulcânicas e sedimentares da Bacia do Paraná, além de depósitos aluvionares e coluvionares provenientes do sistema hidrográfico e das encostas.

Na figura 20, pode-se observar parte da coluna estratigráfica proposta pela CPRM (2006), onde é possível notar o provável período de formação dos diferentes litotipos que compõe a BHRIA.

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	ANOS 10 ⁵
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	NEOGENO	HOLOCENO	Depósitos colúvio-aluvionares
				0,01
	MESOZÓICO	CRETÁCEO		GRUPO SÃO BENTO Fm. Serra Geral
				135
		JURÁSSICO		Fm. Botucatu Fm. Guará
				199
	TRIÁSSICO	INFERIOR	GRUPO ROSÁRIO DO SUL Fm. Sanga do Cabral	
			251	
	PALEOZÓICO	PERMIANO		GRUPO PASSA DOIS Fm. Pirambóia Fm. Rio do Rasto Sub. Grupo Estrada Nova
				299

Figura 20: Escala parcial do tempo geológicos evidenciando as principais formações e grupos que compõem a BHRIA. (Fonte: autor)

4.1.3.1 Depósitos recentes

Os depósitos recentes, são compostos de materiais intemperizados e erodidos das porções mais altas topograficamente. Os principais depósitos encontram-se junto as margens do canal principal do Rio Ibicuí da Armada, o fato da BHRIA estar instalada quase em sua totalidade sobre rochas de origem sedimentar composta de arenitos e folhelhos, isso reflete nos tipos de depósitos, sendo compostos especialmente por bancos de areia, variando de areia fina a grossa, intercaladas com camadas silto-argilisas, esses depósitos são conhecidos como “*Barra de Ponta*” (Figura 21) e predominam nas margens convexas dos canais fluviais.



Figura 21: Nesta imagem podemos observar como se organizam os principais depósitos fluviais do Rio Ibicuí da Armada, cabe ressaltar que a maioria dos depósitos são formados em períodos de elevação de caudal, quando o rio ocupa sua planície de inundação. (Fonte: autor, setembro de 2014)

Ainda associado a hidrografia existem depósitos com materiais mais grosseiros (seixos e matacões), são menos expressivos na BHRIA, ocorrendo nos locais com maior energia de relevo, localizados no extremo oeste da Bacia Hidrográfica, no rebordo do planalto da campanha, onde encontram-se litologias mais resistentes. Também são comuns depósitos nas encostas, compostos de materiais heterogêneos, que vão desde granulometrias finas até blocos de rocha, conhecidos como depósitos de talús e colúvios, provenientes de deslizamentos e desmoronamentos de encostas.

Os depósitos recentes são expressivos na BHRIA, ocupando 1.645,43 km², distribuídos especialmente ao longo das principais drenagens.

4.1.3.2 Rochas vulcânicas

As rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, providas do vulcanismo fissural que capeou a Bacia Sedimentar do Paraná no período Cretáceo, caracterizam-se por apresentar composições ácidas e básicas com textura afanítica, classificadas pela CPRM (2006) como sendo das unidades Gramado e Alegrete. Com essas características é possível destacar diferenças quanto ao intemperismo e desagregação dessas rochas.

Essas rochas encontram-se arrançadas, seguindo um padrão decrescente de idades, quando direciona-se ao topo. Os derrames apresentam peculiaridades quanto a estrutura no topo (Figura 22 A), no centro (Figura 22 B) e na base (Figura 22 C; D). Nas porções centrais, em que o resfriamento da lava foi mais lento, a rocha caracteriza-se por apresentar maior resistência e textura granular pois foi possível uma melhor organização química dos minerais constituintes, ainda é comum no centro de derrames, diaclases verticais, diferente da base e topo que além de conter estruturas vesiculares e amigdaloides, preenchidas com zeolita, sílica e por vezes carbonatos, apresentam diaclases horizontais, características de um resfriamento quase instantâneo da lava.



Figura 22: Diferentes estruturas observadas em derrames vulcânicos. “A” podemos observar topo de derrame com um grande volume de vesículas e amígdalas ; “B” bloco de rocha vulcânica sofrendo alteração química; “C” e “D” base de derrame com afloramentos em lajes plano paralelos. (Fonte: autor, setembro de 2014)

A infiltração da água, principal agente intempérico químico, ocorre de forma distinta nas diferentes porções dos derrames, sendo que a base e no topo por apresentarem estruturas plano paralelo que dificultam a infiltração de água no interior da rocha, gerando a ocorrência de surgências hídricas e alocação de vegetação com porte desenvolvido. Nas porções centrais onde as diaclases são verticais a uma maior percolação hídrica.

A desagregação mecânica também é distinta, sendo que na base e topo é comum o desprendimentos de lajes planas e horizontalizadas e no centro, blocos com diaclases verticais, tombam sobre forças exercidas pela gravidade e agentes bióticos.

É comum entre os contatos de derrames a presença de brechas (Figura 23A), alguma delas entremeadas com arenito eólico, outras apenas com amígdalas e vesículas, nessas estruturas é possível observar-se como movimentava e solidificava-se o fluxo de lava sobre a superfície.

Uma feição encontrada nos topos e bases de derrames são faixas de arenitos altamente silicificados (Figura 23 B), esses arenitos ocupam espaços formados durante o resfriamento da rocha vulcânica. Quando ocorrem no topo dos derrames a entrada da areia nas diaclases ocorre através da ação da gravidade. Nas porções de base a areia é sugada através de diferenças de pressão, sendo que forma vácuo nas diaclases a medida que a lava se resfia.

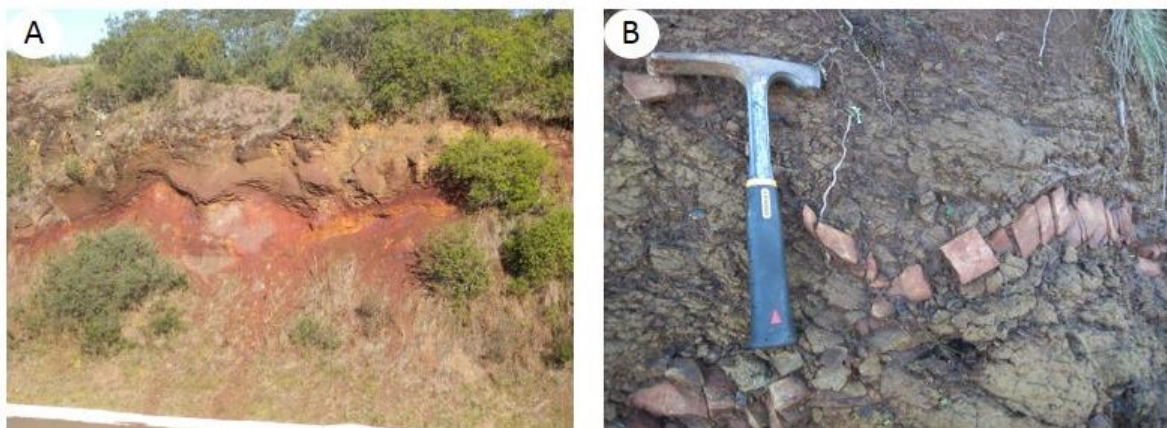


Figura 23: Feições observadas em rochas vulcânicas. “A” brecha vulcânica, é possível notar ondulações deixadas pela movimentação da lava; “B” linhas de arenitos entremeadas e m meio a rocha vulcânica. (Fonte: autor, setembro de 2014)

As rochas vulcânicas são pouco expressivas na BHRIA, ocupando aproximadamente 90 km², distribuídos no extremo oeste da bacia hidrográfica, além de alguns topos de morros e morrotes.

4.1.3.3 Arenitos eólicos

As sequencias de arenitos eólicos, são identificadas a partir de algumas características peculiares, como sets de deposição longos e com estrutura cruzada, podendo atingir ângulos de 32°. Os arenitos apresentam coloração amarelo avermelhada, com grânulos arredondados, predominantemente na fração areia fina e média.

Os arenitos eólicos encontrados na BHRIA, pertencem a sendo as Formações Botucatu e Pirambóia (CPRM 2006), formados em ambientes eólicos, antigas dunas, são arenitos finos a grossos com grãos bem arredondados e alta esferecidade, dispostos em sets de estratificação cruzada de grande porte.

Os arenitos da Fm. Botucatu (Figura 24C e D) são mais jovens quando comparados aos da Fm. Pirambóia, localizam-se preferencialmente na porção oeste da BHRIA, com uma área aproximada de 167,20km², em contato com rochas vulcânicas. São cimentados com sílica e raras vezes com óxido de ferro. Comumente são encontrados entremeados a derrames vulcânicos, também conhecidos como arenitos “intertrápicos”, esses são altamente silicificados.

Os arenitos eólicos da Fm. Pirambóia, ocupam uma área maior dentro da BHRIA (1.612,20km²) estendendo-se no sentido SW-NE, ocupando a porção central da Bacia hidrográfica, por onde escoava boa parte do canal principal. Os arenitos eólicos da Fm. Pirambóia são em geral pouco cimentados, sendo raras as porções com cimento silicoso, quando existentes essas mantêm porções elevadas com afloramento rochoso no topo de colinas, essas áreas estão associadas a divisores de água, nos rios e arroios tributários do Rio Ibicuí da Armada.

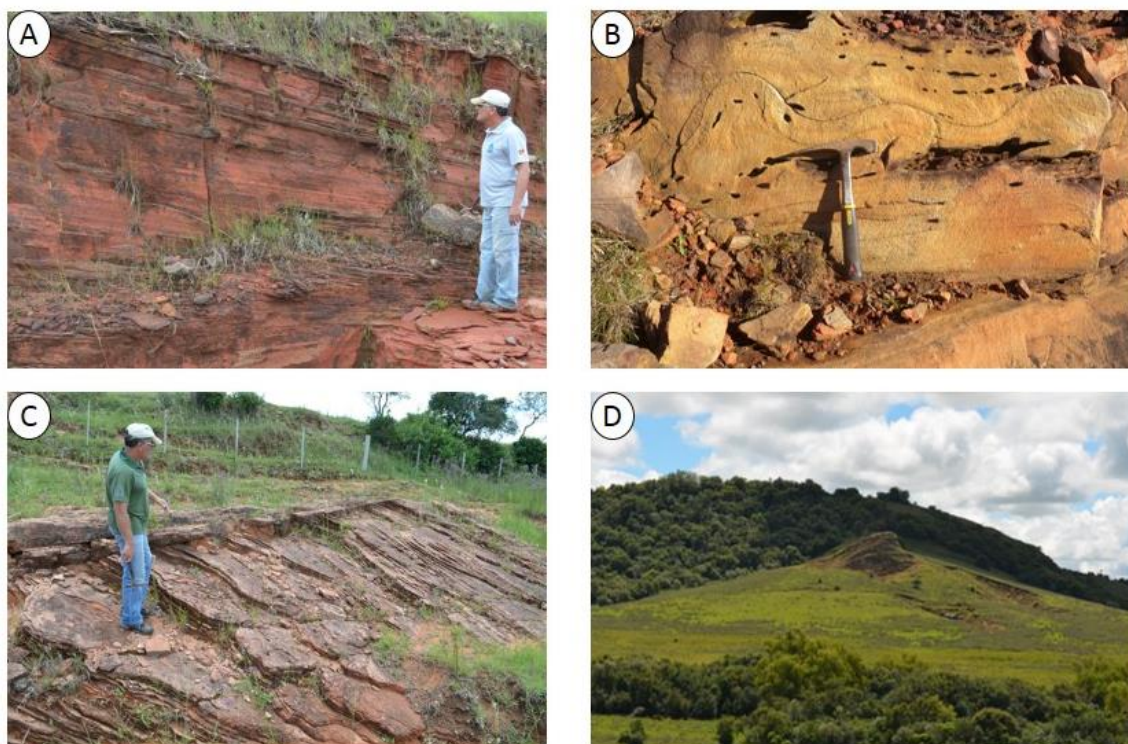


Figura 24: Afloramentos de rochas sedimentares formadas em ambientes desérticos. “A” e “C” estruturas cruzadas de deposição, com ângulo das camadas podendo atingir 32º; “B” porção resistente em um afloramento de Arenitos da Fm. Pirambóia, é possível observar observar uma dobra gerada pela ação do peso das camadas; “D” parte de uma paleo duna, que manteve-se frente aos processos intempéricos e erosivos.(Fonte: autor, fevereiro de 2014)

4.1.3.4 Arenitos Fluviais

Os arenitos provindos de ambientes fluviais, apresentam características peculiares, como: estruturas de deposição plano-paralelas e cruzadas acanaladas de baixo ângulo, constituintes mal selecionados, sendo possível encontrar frações finas (silte e argila) até frações grosseiras constituídas de cascalhos (Figura 25).

Os arenitos de origem fluvial encontrados na BHRIA, são das Formações Guará e Sanga do Cabral, sendo o arenito Guará mais jovem quando comparado ao Sanga do Cabral.

Os arenitos fluviais da Fm. Guará caracterizam-se por constituintes que variam de areia fina a porções conglomeráticas, predominam cores esbranquiçadas e amareladas, ocupam uma área de 749,2km². É comum encontrar clastos de sílica com cerca de 1cm, em meio a frações areia. Os grânulos por vezes são cimentados por sílica, o que agrega uma maior

resistência a rocha frente a processos intempéricos e erosivos; também existem porções pouco cimentadas ou cimentadas com óxido de ferro, essas são friáveis, formando pacotes espessos de rocha alterada, com isso alguns locais apresentam alto potencial a processos erosivos acelerados, como ravinas e voçorocas.

Os arenitos da Fm. Sanga do Cabral ocupam uma área de 487,11km², são constituídos de areia na fração fina a média e coloração avermelhada, umas das principais características desse arenito é vasta presença de fragmentos de mica, em alguns afloramentos foi possível observar muscovitas de quase 1mm, mas em geral se mantêm bem menores a esse diâmetro.

É comum em meio as frações areia, encontrar porções de até 1m de espessura, silto-argilas conhecidas como conglomerados intraformacionais. Esses arenitos são cimentados com carbonato de cálcio, o qual forma concreções alongadas (em forma de lajes com mais ou menos 1metro) que acompanham as camadas de deposição, por vezes essas concreções formam estruturais esferoidais com diâmetro variando entre 2 e 8 cm. Os pacotes de alteração são pouco espessos, com isso não é comum processos erosivos expressivos. Encrustado a esse arenito é possível encontrar fósseis de origem vegetal (Figura 25 D).

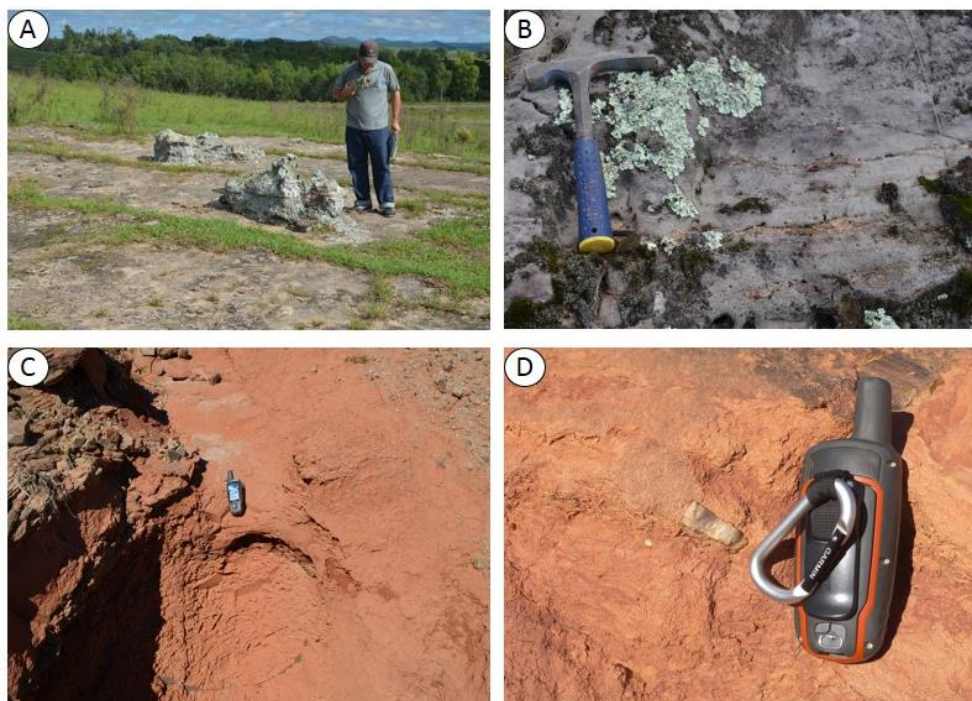


Figura 25: Arenitos de origem fluvial encontrados na BHRJA. “A” afloramento de arenitos da Fm. Guará, é possível observar porções mais cimentadas que resistem aos processos degradacionais;

“B” pequenas camadas argilosas em meio a pacotes arenosos; “C” afloramento de arenitos da Fm. Sanga do Cabral; “D” fósil vegetal encrustado em meio a arenitos da Fm. Sanga do Cabral. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

4.1.4 Análise e distribuição dos solos

A grande variação das formas de relevo e distribuição de diferentes litologias acarreta a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada uma considerável variação quanto aos tipos de solos. Os tipos de solos encontrados na BHRIA, estão espacializados no mapa simplificado de solos apresentado na figura 26 e no quadro 06 onde pode-se observar a área ocupada pelos diferentes tipos.

Tipo de Solo	Área em km²	Porcentagem%
Solos Bem Desenvolvidos (Argissolos)	2.988,84	49,98
Solos Argilosos com Horizonte Orgânico (Chernossolos e Planossolos)	1.475,79	24,68
Solos Pouco Desenvolvidos (Neossolos e Cambissolos)	375,45	6,27
Solos Hidromórficos (Gleyssolos e Planossolos)	1.138,92	19,04

Quadro 06: Quantificação dos diferentes tipos de solo encontrados na BHRIA. (Fonte: autor)

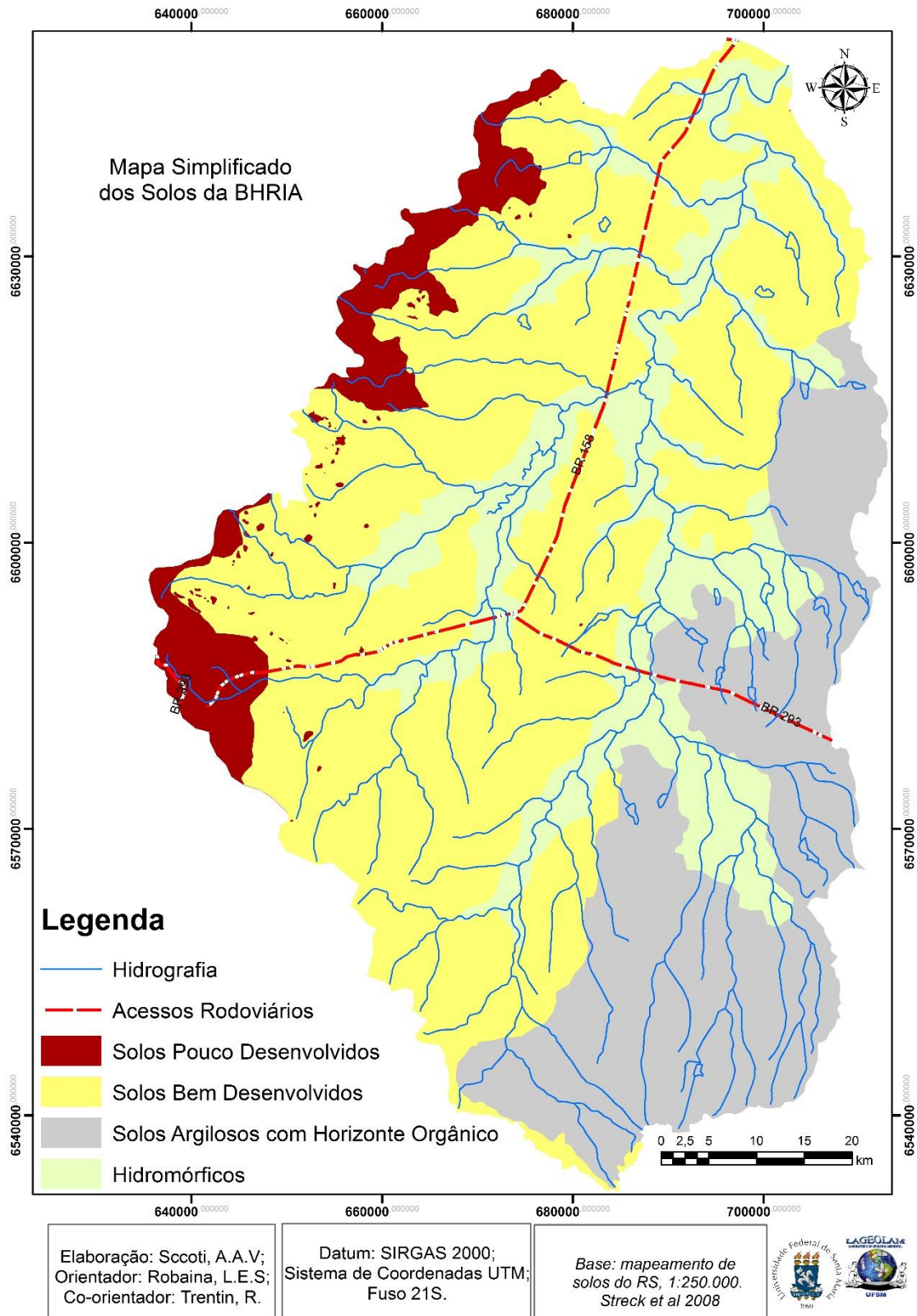


Figura 26: Mapa indicando a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos observados na BHRIA, os solos foram classificados de forma simplificada. (Fonte: autor)

Como base para esse mapeamento simplificado dos diferentes tipos de solos, usou-se Streck (2008), além de trabalhos de campo que permitiram delimitar parâmetros morfológicos como cor, textura, estrutura e feições pedológicas, com isso melhorar o detalhamento de algumas informações espacializadas. Com isso foi possível distinguir os diferentes tipos de solos correlacionando aos diferentes tipos de relevo e substrato geológico.

Os diferentes tipos de solos foram classificados como: *Bem Desenvolvidos*, *Pouco Desenvolvidos* e *Afloramentos de Rocha*, *Solos Argilosos com Horizonte Orgânico* e *Hidromórficos*.

4.1.4.1 Solos Bem Desenvolvidos

Os solos profundos estão associados a colinas com substrato litológico composto de arenitos pouco cimentados (Figura 27), o que permite o desenvolvimentos de perfis espessos. Essa unidade predomina na BHRIA, ocupando 49,98% da área total. São solos amarelados e avermelhados, sendo classificados como argissolos (STRECK, 2008).

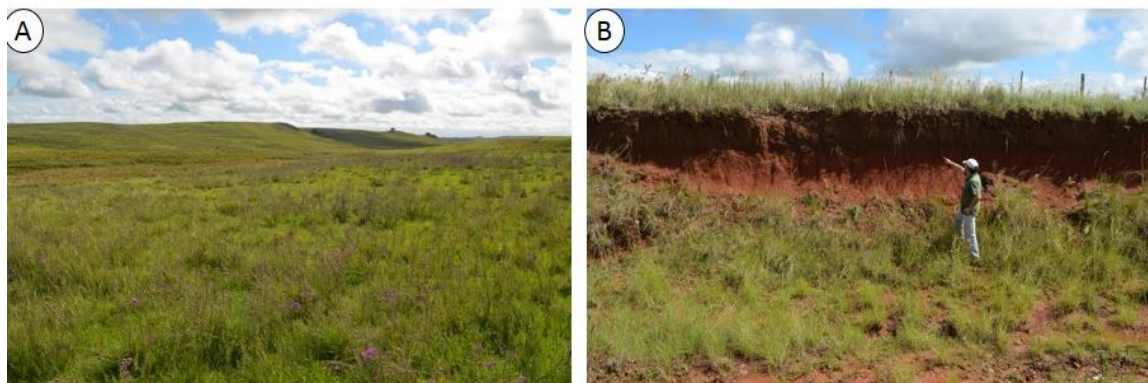


Figura 27: Solos bem desenvolvidos, na imagem “A” podemos observar o relevo em que estão distribuídos esses solos; na imagem “B” podemos observar um corte de estrada mostrando um perfil de solo bem desenvolvido. (Fonte: autor: fevereiro de 2014)

Os solos encontrados sobre colinas areníticas são caracterizados pela presença de uma grande quantidade de quartzo, sendo que os grânulos são ligados por argila, as quais aderem ao solo uma resistência frente a processos erosivos, isso pode ser observado em campo, pois pacotes espessos de solo não apresentam incisões lineares ou outras feições erosivas significantes.

Solos Pouco Desenvolvidos e Afloramentos de Rocha

São porções onde os solos apresentam horizonte mineral incipiente ou inexistente (contendo somente um horizonte orgânico), ainda são locais em que é comum a ocorrência de afloramentos de rocha (Figura 28). Os solos são pouco desenvolvidos nessas porções, em resposta a resistência da rocha, visto que estão associados a arenitos altamente silicificados e a rochas vulcânicas.

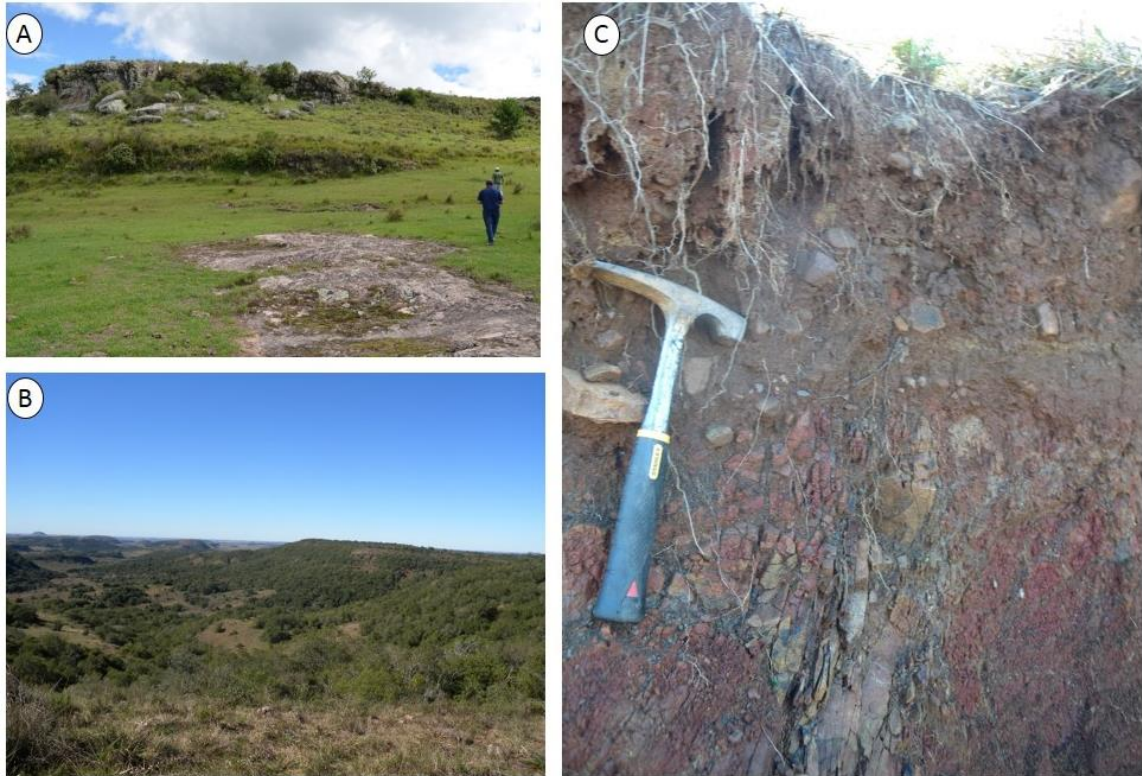


Figura 28: Imagens mostrando locais com ocorrência solos rasos e afloramentos de rocha. Na imagem “A” podemos observar um morrote com rocha aflorando (arenito silicificado) no topo e próximo a base; “B” locais em que predominam solos rasos e afloramentos de rocha; por fim na imagem “C” é possível um solo raso com fragmentos de rocha (solo formado sobre rochas vulcânicas) e horizontes incipientes. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Os tipos de solos encontrados nessas porções estão associados a Neossolos Litólicos e Cambissolos. (Streck 2008). Esses solos estão distribuídos nas porções mais elevadas e inclinadas da BHRIA e também nos topos de morros e morrotes, esta é a unidade menos expressiva na BHRIA, ocupando apenas 6,27% total. Os Neossolos caracterizam-se pela presença de um horizonte pouco desenvolvido (10 a 20 cm) sobre uma rocha resistente, os Cambissolos apresentam-se mais desenvolvidos com perfil com cerca de 20 a 40 cm, com fragmentos de rocha em meio ao solo.

Solos Argilosos com Horizonte Orgânico

Estes solos estão distribuídos na porção centro-leste da BHRIA, caracterizam-se por alguns fatores peculiares, como rocha matriz composta de sedimentos de origem marinha e transição, com isso o solos é altamente argiloso dificultando a infiltração, que ocorre de forma lenta (Figura 29). Em períodos com elevadas taxas pluviométricas, as estradas e caminhos capeadas com esse material, viram atoleiros e nas porções rebaixadas topograficamente há um grande acúmulo de água, consequência da baixa infiltração. Nos períodos com déficit hídrico, a argila 2:1, contrai-se formando Gretas de contração, outra característica é a elevada resistência que o solo apresenta sob essas condições, as quais dificultam seu manejo com implementos agrícolas.



Figura 29: Molos com matriz argilosa, na imagem “A” podemos observar a cor que varia em tons de cinza. Na imagem “B” observamos como são as formas de relevo sobre esse tipo de solo, há o predomínio de colinas suaves e os canais hidrográficos não são muito profundos. (Fonte: autor, setembro de 2014)

Segundo Streck (2008), os solos encontrados nessas porções são compostos de Chernossolos e Planossolos, que são caracterizados pelas elevadas taxas de argila além de eventuais acumulações de carbonato de cálcio. São solos com espessura ao redor de 1 m. Estão distribuídos em um relevo composto de colinas suavemente onduladas. Ocupa uma área de 24,68% do total. Os locais observados próximos a rede de drenagem são usados para lavoura enquanto que porções mais altas são utilizadas para pecuária.

Solos Hidromórficos

Os solos hidromórficos, apresentam-se espacialmente próximos as drenagens. Predomina a coloração escura, que é aderida pela presença de matéria orgânica. Como característica geral estes solos são mal ou imperfeitamente drenados.

São representantes destes solos os Gleyssolos e Planossolos. Os Planossolos se apresentam em duas unidades, sendo que podem ser encontrados nas porções próximas a drenagem, com isso optou-se pela divisão. Na BHRIA são usados de forma intensiva na produção de arroz irrigado.

A posição topográfica em que localizam-se, determinam condições de saturação temporária pela oscilação do nível freático, com isso o Ferro encontrado nas argilas é lixiviado, sendo a coloração predominante do solo feita pela matéria orgânica.

4.1.5 Avaliação Automatizada das encostas e do Relevo por Parâmetros Geomorfométricos

Através do método geomorfométricos, as encostas foram divididas em 12 diferentes unidades, estas baseadas na altitude média (na BHRIA foi utilizada como altitude média 170 metros), da declividade de 5% e no perfil e plano de curvaturas das vertentes da BHRIA.

As seis primeiras unidades encontradas (Figura 30) (Unidades I, II, III, IV, V e VI) correspondem ao alto curso da Bacia Hidrográfica (altitude superior à média) e as últimas seis (Figura 31) (Unidades VII, VIII, IX, X, XI e XII) correspondentes ao médio e baixo curso da BHRIA (altitude inferior à média). Na localização dos recortes no mapa Geomorfométrico, utilizados para enfatizar as unidades, buscou-se escolher áreas onde ocorriam todas as unidades.

As unidades I, II e III correspondem a porções com declividades superiores a 5% em que há predominância de processos morfogenéticos ligados a erosão e movimentos de massa.

Na unidade I o fluxo hídrico é convergente, há o início da canalização da rede hidrográficas (nascentes), as declividades são superiores a 5%, plano de curvatura convergente, já o perfil pode ser tanto côncavo como convexo. Esta unidade compreende 10,73% do total da BHRIA.

Na unidade II as vertentes estão próximas as nascentes (alto curso), as declividades são acentuadas, ocorrem processos morfogenéticos bastante expressivos nesses locais, as encostas são vegetadas e os fluxos de matéria e energia são divergentes (Figura 32).

A unidade III representa vertentes das áreas de alto curso, ocupando apenas 3,30%, com velocidade de fluxo aumentando em direção a base da vertente, as declividades são superiores a 5%, e fluxo divergente que pode induzir a formação de um maior número de canais na base da vertente.

A unidade IV se caracteriza pela ocorrências de áreas planas a montante da unidade III, porém com fluxo convergente o que reflete em áreas alagadiças próximas as nascentes, a declividade é inferior a 5%. O perfil pode ser tanto côncavo como convexo, e esta unidade abrange 13,88%.

Na unidade V as declividades mantem-se inferiores a 5%, formando áreas planas no alto curso da bacia (declividade inferior a 5% e altitude superior à média). Devido à baixa declividade os processos morfogenéticos, são reduzidos, nessas áreas os fluxos são divergentes. A unidade distribui-se em 5,36% da BHRIA.

A unidade VI representa os topos das vertentes, o relevo é plano e as altitudes elevadas (alto curso), os fluxos são divergentes e o perfil de curvatura é convexo podendo ser mais acentuado em topos que ocorrem sobre rochas de origem vulcânica. Essa unidade distribui-se em 5,84% da área, esta é a última unidade geomorfométrica localizada no alto curso da BHRIA.

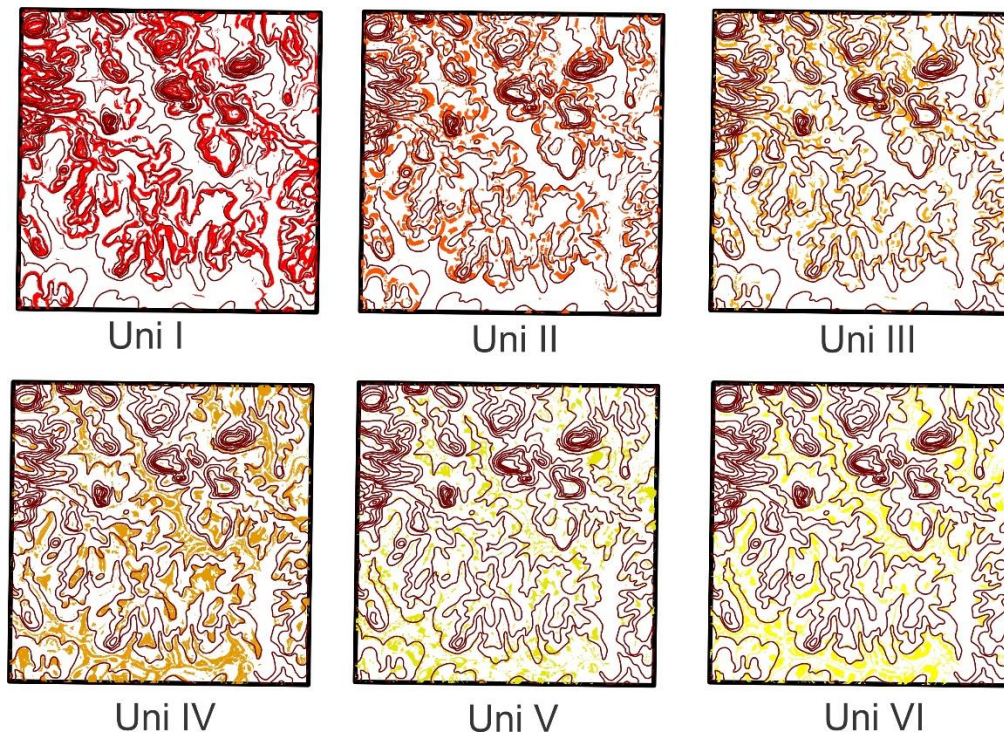


Figura 30: Fragmento evidenciando unidades geomorfológicas, visualmente podemos notar a maior ocorrência da Unidade I. (Fonte: autor)

Na unidade VII as altitudes são inferiores à média da bacia (menores que 170 metros), as declividades são elevadas, mantendo-se superiores a 5%, o que favorece a ocorrência de processos morfogenéticos, além do mais, os fluxos são convergentes acarretando a concentração do fluxo em um canal, essa unidade ocupa 4,26% da BHRJA.

A unidade VIII encontra-se espacialmente nas porções de média vertente e por vezes próximas as drenagens, as declividades mostram-se acentuadas (>5%), o plano de curvatura é divergente e o perfil côncavo, quanto a sua área de abrangência, não se mostra expressiva, sendo que distribui-se em apenas 3,46% da área em estudo.

Na unidade IX, também localizada no médio e baixo curso das vertentes, tem uma velocidade de fluxo que aumenta em direção a base da vertente, este aumento se dá pela declividade acentuada. Apresenta perfil de curvatura convexo com plano divergente, o que pode gerar uma serie de canais erosivos na base da vertente, nas porções que localizam-se próximas a planície de inundação, são pouco expressivas espacialmente, ocupando apenas 2,85% na BHRJA.

A unidade X encontra-se espacialmente localizadas junto as áreas planas que tangenciam alguns canais hidrográficos, podem apresentar pequenas elevações. Esta unidade é a mais expressiva, ocupando 21,04% da área total, isso deve-se ao fato do predomínio de áreas planas na BHRIA, nessa unidade predominam eventos geomorfológicos ligados a deposição de sedimentos.

A unidade XI, ocupa 11,20% da área da bacia. Está caracterizada por áreas planas (declividades inferiores a 5%), onde os processos variam do topo para a base dessa porção da vertente pela diminuição da energia do fluxo divergente (perfil côncavo e plano divergente). Ocorrem, principalmente, na meia encosta em direção ao topo, ocupando o terço superior da vertente.

A unidade XII, cobre aproximadamente 13,85% da área da bacia hidrográfica. Ocorre no médio e baixo curso da bacia hidrográfica, com predomínio no baixo curso, compondo as principais áreas planas da bacia nas porções de divisores internos das sub-bacia.

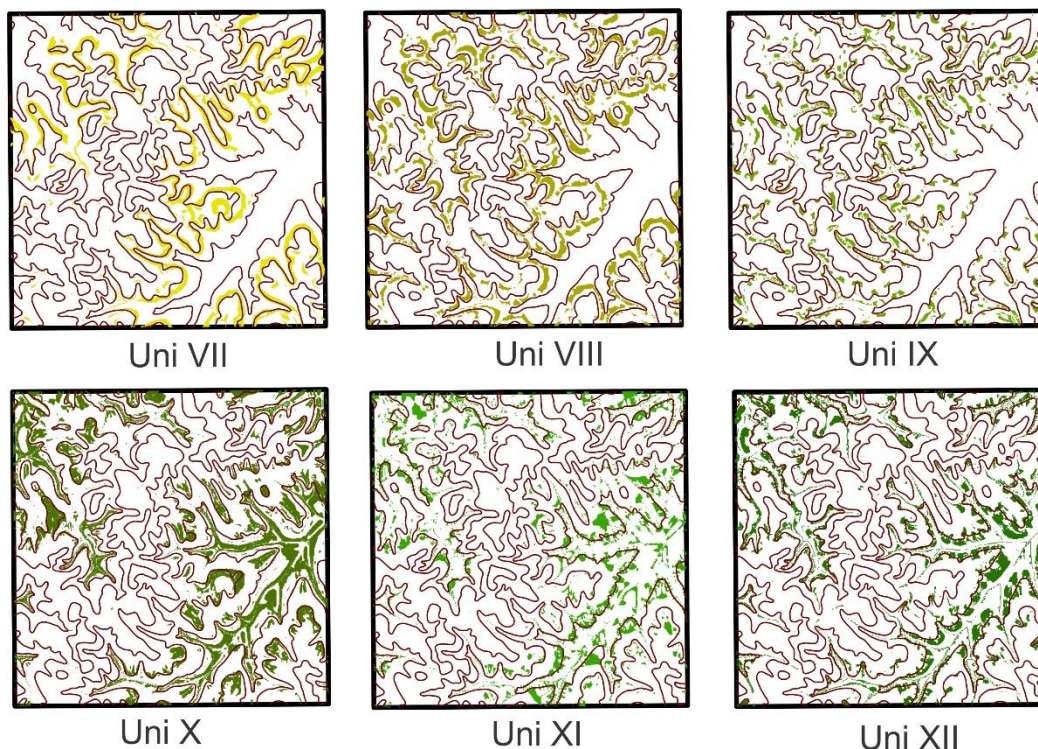


Figura 31: Recorte apresentando unidades geomorfométricas, localizadas a altitudes inferiores a 170 metros. (Fonte: autor)

No quadro 07, podemos observar a área ocupada por cada unidade descrita na BHRIA, além da porcentagem, podemos notar um grande predomínio da unidade X, que ocupa 21,04% da BHRIA, isso deve se ao de ocorrer vastas

áreas com declividade baixa que acompanham a tangente dos principais canais fluviais.

UNIDADE	Área em km²	%
<i>Unidade I</i>	644,07	10,73
<i>Unidade II</i>	255,63	4,26
<i>Unidade III</i>	198,24	3,3
<i>Unidade IV</i>	833,15	13,88
<i>Unidade V</i>	321,71	5,36
<i>Unidade VI</i>	350,66	5,84
<i>Unidade VII</i>	255,77	4,26
<i>Unidade VIII</i>	207,99	3,46
<i>Unidade IX</i>	171,28	2,85
<i>Unidade X</i>	1262,94	21,04
<i>Unidade XI</i>	672,25	11,2
<i>Unidade XII</i>	831,12	13,85

Quadro 07: Área ocupada pelas diferentes unidades que foram utilizadas para a classificação geomorfométrica da BHRIA. (Fonte: autor)

No mapa Geomorfométrico (Figura 32), fica evidente a distribuição das diferentes unidades, dentro da BHRIA, sendo possível através dessas informações ter-se noção de como funcionam alguns eventos ligados a erosão e a deposição de sedimentos, quanto a erosão é possível observar escarpas erosivas com vertentes íngremes e áreas planas com predomínio de deposição de sedimentos através do transporte hídrico.

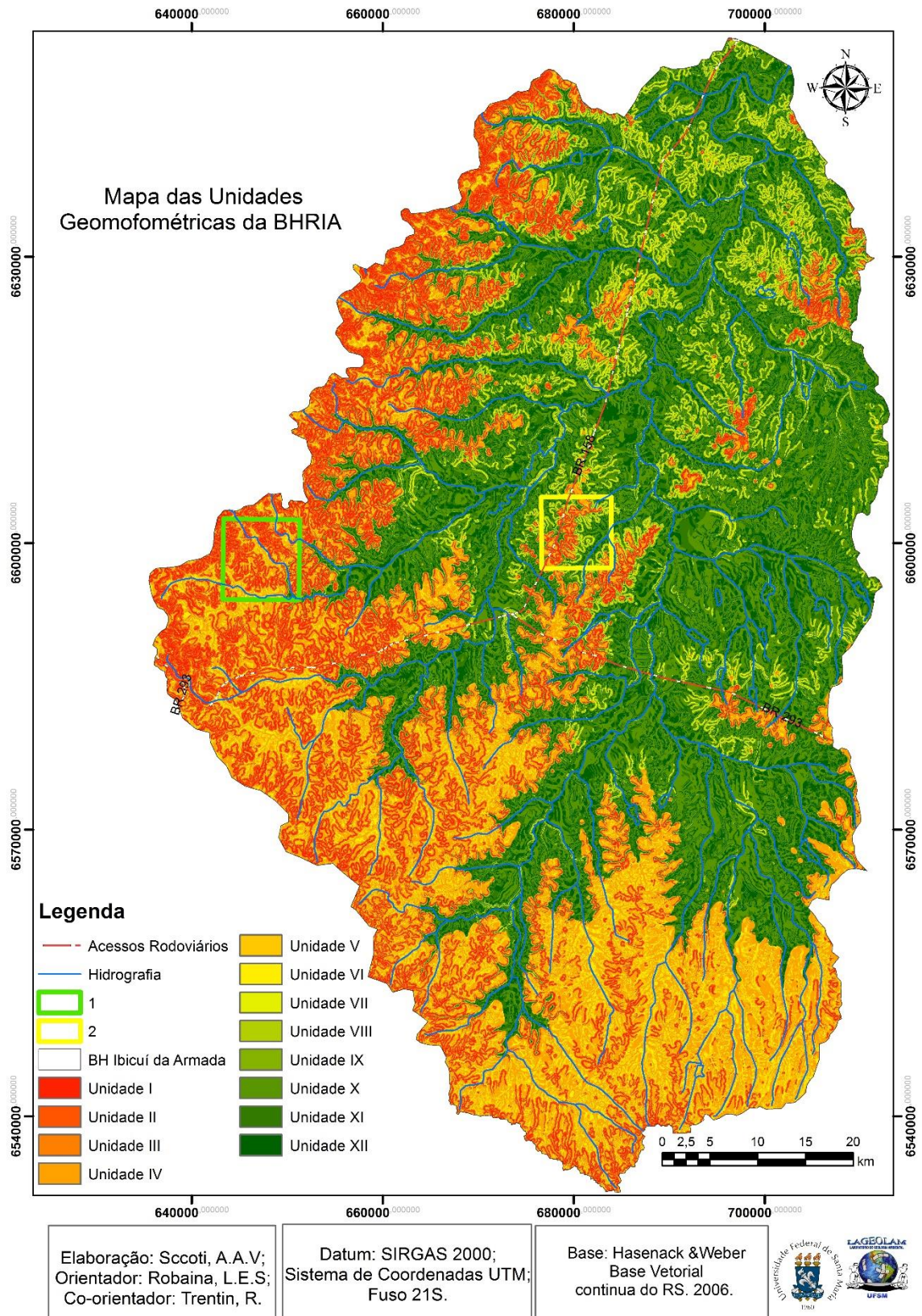


Figura 32: Mapa indicando a disposição das unidades Geomorfométricas na BHRIA. (Fonte: autor)

5 GEOMORFOLOGIA

A interpolação dos resultados obtidos até o presente momento da pesquisa, possibilitaram a compartimentação taxonômica do relevo em diferentes níveis na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada (BHRIA).

A classificação geomorfológica da BHRIA, leva em consideração processos morfogenéticos e morfodinâmicos, através da avaliação de parâmetros morfológicos e morfométricos. Para isso são definidas as correlações entre os elementos do meio físico, afim de estabelecer os limites e características das formas de relevo e unidades geomorfológicas.

No Quadro 08, estão é possível observar a distribuição dos diferentes níveis de compartimentação geomorfológica utilizados na BHRIA, sendo estes definidos através de bases em escalas diferenciadas.

1º Nível Domínios Morfoestruturais	2º Nível Províncias Morfoesculturais	3º Nível Unidades geomorfológicas	4º Nível Formas de Relevo	5º Nível Vertentes	6º Nível Feições Superficiais
Depressão Periférica do Rio Grande do Sul	Depressão do Ibicuí	Patamares Residuais em Arenito	Colinas de Arenito	Uni I, IV e X	Erosão Linear
			Morros e Morrotes Isolados	Uni I e II	
			Cornijas de Arenito	Uni I e II	
		Modelados de Relevo sobre Sedimentos Marinhos e de transição	Colinas Sobre Sedimentos Marinhos e de transição	Uni IV, X e XII	Concessões Carbonáticas
Modelados de Áreas Planas Aluvias	Áreas Planas com Depósitos Fluviais Recentes	Uni X, XI e XII	Depósitos Arenosos		
Planalto Meridional Brasileiro	Planalto da Campanha	Modelados do Rebordo do Planalto da Campanha	Colinas, morros e Morrotes sobre intercalações de Rochas Vulcânicas e Sedimentares	Uni I, II e III	Colúvios, Afloramentos de rocha e Processos erosivos lineares
			Relevo Escarpado	Uni I, II e III	Colúvio e Afloramento de rocha

Quadro 08: Compartimentação dos diferentes níveis geomorfológicos da BHRIA. (Fonte: autor)

5.1 Compartimentação no primeiro, segundo e terceiro níveis geomorfológicos

Os três primeiros níveis foram identificados e caracterizados utilizando informações de escala pequena. O mapeamento geomorfológico desenvolvido para o Rio Ibicuí (Robaina et al 2010) foi uma excelente base de informações, além do mais o Rio Ibicuí da Armada é um importante afluente do Rio Ibicuí.

5.1.1 Primeiro Nível

No **1º nível taxonômico**, são apresentados os domínios morfoestruturais (Figura 33), sendo que a BHRIA, está inserida, quase que na sua totalidade, dentro dos domínios da Depressão Periférica do Rio Grande do Sul e uma porção menos expressiva no Planalto Serra Geral.

A *Depressão Periférica do Rio Grande do Sul*, forma uma faixa deprimida topograficamente, no centro do Estado com uma orientação de E-W, formada pelo contato entre os terrenos de rochas sedimentares e as rochas cristalinas mais coesas. É composta por sequências sedimentares da Bacia do Paraná, depositadas no Paleozóico e Mesozóico. Por vezes esses sedimentos mais antigos são cobertos por depósitos do quaternário. Esta unidade

O *Planalto Meridional Brasileiro* tem sua gênese associada ao vulcanismo fissural que capeou parte da Bacia sedimentar do Paraná no final do mesozóico. Ocupa uma pequena porção no oeste da BHRIA.

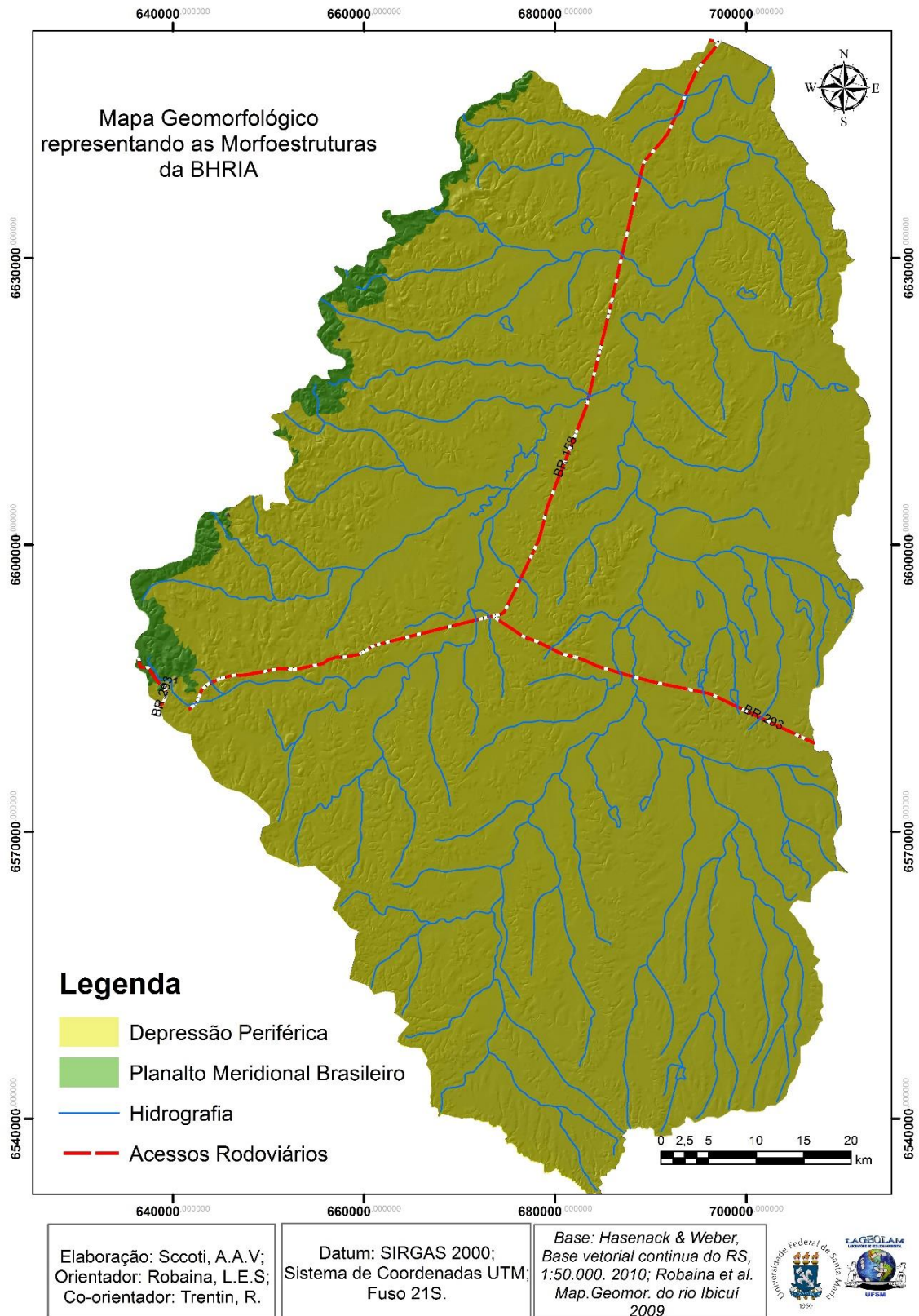


Figura 33: indicação dos níveis Morfoestruturais, sobre os quais está inserida a BHRIA. (Fonte: autor)

5.1.2 Segundo Nível

No **2º nível taxonômico**, são apresentadas as províncias morfoesculturais, sobre as quais está inserida a Bacia hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada, são elas: *Planalto da campanha* e *Depressão do Ibicuí*, essas terminologias, também foram utilizada por Robaina *et al* 2010.

A representação superficial do 2º nível taxonômico, e semelhante a do 1º nível, sendo que o *Planalto da Campanha* é uma porção do Planalto Meridional Brasileiro, enquanto que a *Depressão do Ibicuí* está inserida na *Depressão Periférica*.

Na BHRIA, o planalto da campanha ocupa áreas a oeste, apresentando um relevo ondulado com altitudes variando entre 200 e 380 metros. Nas palavras de Chebataroff (1954), o Planalto da Campanha forma uma porção inclinada para oeste, em direção a foz do Rio Ibicuí com o Rio Uruguáí, com predomínio de rochas vulcânicas e sedimentares da Formação Botucatu. Essa porção também é conhecida como “*Cuesta do Haedo*”, forma um relevo homoclinal com Front voltado para leste. Os Afluentes do Rio Ibicuí da Armada tem suas nascentes no *Front da Cuesta*, formando rios obsequentes, com direção de fluxo de oeste para leste.

A depressão do Ibicuí é formada pela porção oeste da Depressão periférica do Rio Grande do Sul, sendo que, os processos geomorfológicos atuantes, são controlados pelo Rio Ibicuí e seus afluentes, sendo o Ibicuí da Armada um deles. Na BHRIA essa unidade é representada por terrenos compostos por rochas sedimentares formadas em ambientes eólicos, fluviais e marinhos. Nessa unidade predominam colinas, com suas inclinações são controladas pelos substrato litológico.

5.1.3 Terceiro Nível

No **3º Nível Taxonômico** são apresentadas as unidades geomorfológicas que estão sobre os domínios da BHRIA, são elas: *Patamares residuais em arenito*; *Modelados de relevo sobre sedimentos marinhos e de transição*;

modelados áreas planas aluviais; e por fim Modelados de Rebordo do planalto da Campanha.

Os patamares residuais em arenito, são representados por morfologias compostas de colinas, morros e morrotes isolados. As colinas caracterizam-se por declividades média de 8%, interflúvios que variam de curtos (300 a 400 metros) a longos (600 a 800 metros) e amplitude altimétrica entre 40 e 60 metros, os topos são convexos. O substrato litológico é composto de arenitos de origem eólica e fluvial, os solos são profundos e areno-argilosos, o que evita o desenvolvimento de processos erosivos acelerados. Nessa unidade também são identificados morros e morrotes isolado, ambos marcam o recuo do planalto e se mantém devido a diferença de resistências da rocha

Os modelados de relevo sobre sedimentos marinhos e de transição, se caracterizam pela presença de um relevo suave com a declividade das encostas por volta de 5 a 6% em média, os interflúvios são longos 800 a 1000 metros, a amplitude das colinas fica em torno de 20 a 40 metros. O substrato litológico é composto de lamitos marinhos e de sedimentos que marcam transição de ambientes continentais para marinhos, os solos tem uma profundidade média de um metro e são ricos em silte e argila. A baixa declividade e a impermeabilização do solo gerada pela abundância de frações finas, fazem com que ocorra acúmulo de água na superfície, gerando solos mal drenados classificados por Streck (2008) como Planossolos.

Nos modelados de áreas planas, é possível observas extensões de terra com declividade inferior a 2%, que na BHRIA tangenciam as drenagem maior ordem hierárquica de drenagem, também são os locais onde ocorre o predomínio de eventos ligados a sedimentação.

Os modelados do rebordo do planalto da campanha, localizam-se a oeste da BHRIA, e compõem uma porção onde ocorrem colinas associadas a morros e morrotes, outra feição comum a esses locais, são escarpas íngremes e a formação de pequenas cornijas, quanto aos solos, há o predomínio de solos rasos e afloramentos de rochas, as litologias que compõem essa porção são formadas por rochas vulcânicas e delgadas faixas de arenito eólico "*intertrápico*".

5.2 Compartimentação no quarto, quinto e sexto níveis geomorfológicos

O quarto, quinto e sexto níveis taxonômicos, são analisados e caracterizados, considerando-se os atributos contidos no interior da BHRIA. Nessa etapa da caracterização geomorfológica as informações são coletadas em bases cartográficas de maior detalhe, também são feitas discussões com informações já trabalhadas como classificação simplificada de solos, geologia e unidades de relevo.

5.2.1 Quarto Nível

No **quarto nível** são descritos as formas de relevo, sendo que a BHRIA, foi compartimentado em sete diferentes unidades (Figura 34), seguindo características de heterogeneidade mínima. São elas: *Colinas sobre Arenito; Morros e Morrotes isolados; Colinas sobre Sedimentos Marinhos e de Transição; Áreas Planas com Depósitos Fluviais Recentes; Colinas, Morros e Morrotes sobre Intercalações de Rochas Vulcânicas e Sedimentares.*

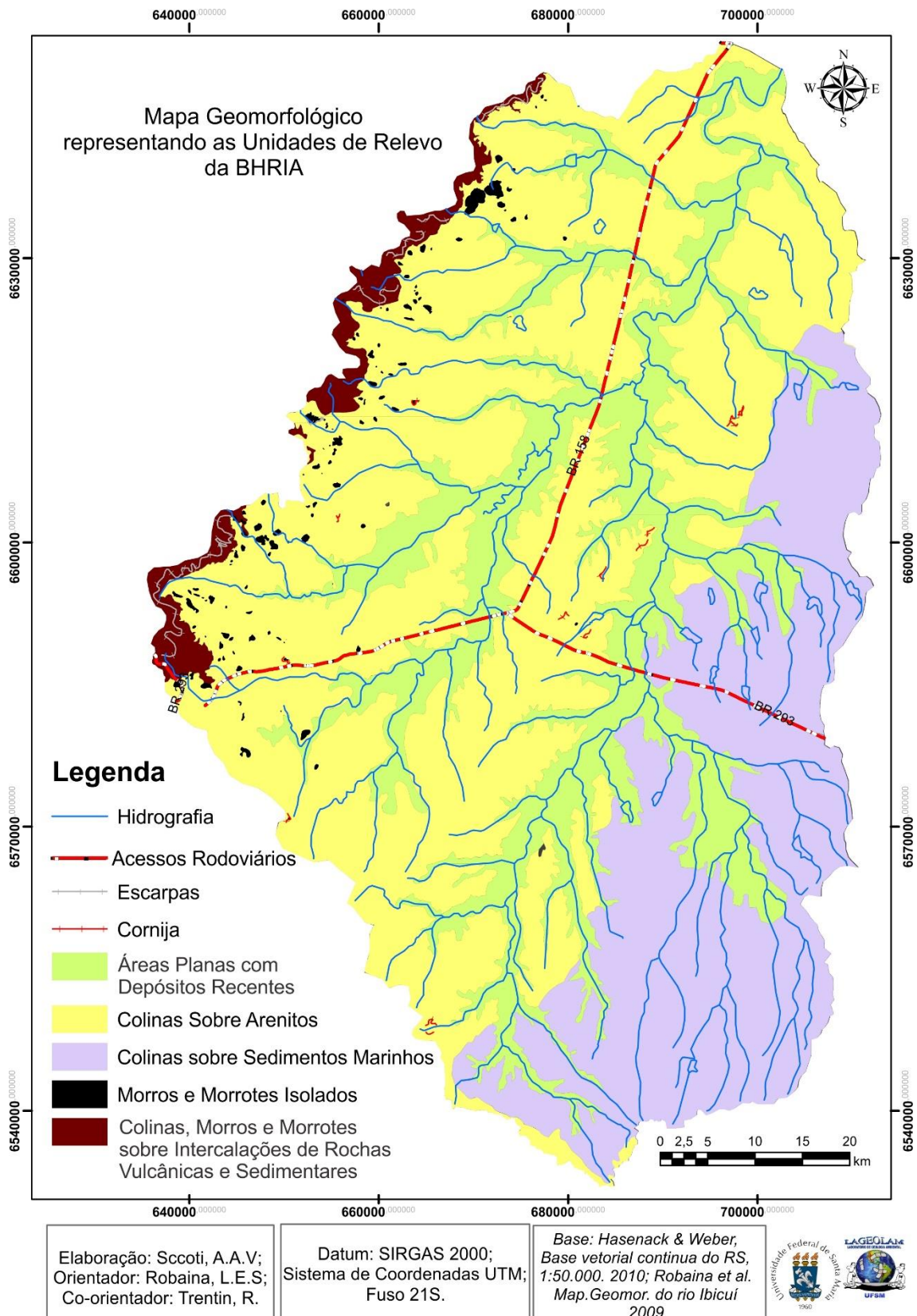


Figura 34: Indicando as feições geomorfológicas observadas no quarto nível de análise. (Fonte: autor)

As *Colinas sobre Arenitos* são as formas de relevo mais abundante na BHRIA, ocupando uma área de 48,66%, caracterizam-se como colinas com

inclinação média entre 8 e 10% sobre arenitos provindos de ambientes eólicos e Fluviais (Figura35). Áreas com essas características são observadas das nascentes a foz do rio Ibicuí da Armada (direção de Sul para Norte), sendo que nas porções de cabeceira de drenagem o arenito mostra-se mais resistente, e nas proximidades com a foz do rio Santa Maria, os poucos afloramentos mostram-se mais friáveis, porém seguem-se as mesmas formações.

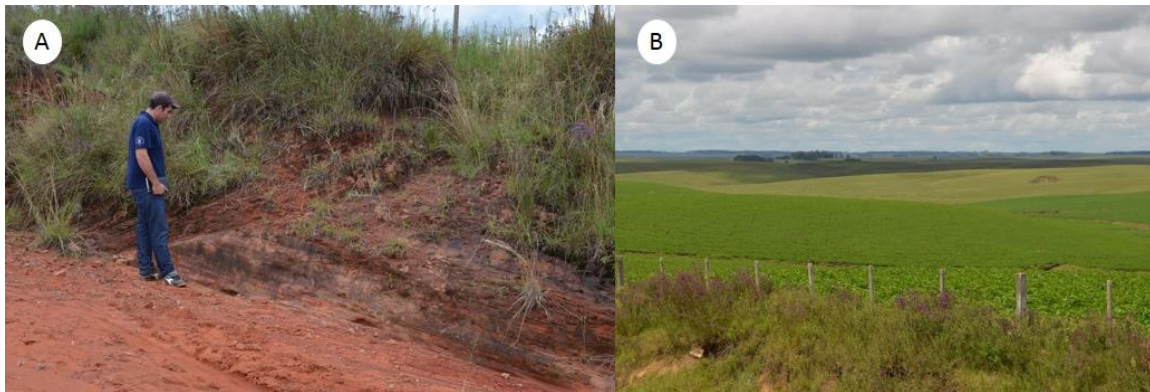


Figura 35: Características das colinas de arenito. Na imagem “A” podemos observar o afloramento de um arenito com estratos cruzados; Na imagem “B” observamos o padrão de relevo comum as colinas de arenito. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Os processos erosivos acelerados não são expressivos nas colinas sobre arenitos, isso deve-se ao fato de que o arenito apresenta quantidades significativas de argila, distribuída nos horizontes do solo, com isso os poucos eventos erosivos observados estão ligados a erosão de margem próximo as nascentes e gerados principalmente por atividades antrópicas ligadas a criação de bovinos.

Os solos sobre essas colinas são descritos por Streck (2008) como Argissolos (Figura 36), nas observações de campo, os perfis mostram-se bem desenvolvidos (1 a 2 metros) e com aporte de argila no Horizonte B, o que acarreta uma baixa ocorrência de processo erosivos.



Figura 36: Perfil de solo Argiloso, os altos teores de argila auxiliam na baixa ocorrência de processos erosivos acelerados como voçorocas, ravinas e areais. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Os *Morros e Morrotes Isolados* são feições que marcam a evolução dos processos erosivos sobre uma porção elevada do terreno (Figura 37), no caso antigos modelados do que é hoje o Planalto da Campanha. A maioria dos morros e morrotes identificados na BHRIA, apresentam topo plano, característica comum quando são compostos por arenitos, o cimento que mantém os grânulos unidos nas porções mais resistentes é composto por sílica ou óxido de ferro.



Figura 37: Morrotes isolados em meio a colinas, eles se mantêm visto há uma camada mantenedoura. (Fonte: autor fevereiro de 2014)

Os solos encontrados sobre essas formas, são mal desenvolvidos, sendo caracterizados como Neossolos. Nas encostas têm-se a ocorrência de depósitos de blocos de rocha tombados das porções mais elevadas ou provindos de afloramentos na meia encosta das elevações (Figura 38).



Figura 38: Morrote isolado, podemos notar a queda de blocos das encostas abruptas, é comum a ocorrência de vegetação arbórea alojada nas fraturas o que auxilia no intemperismo físico. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Ocupam uma área de 0,51%, sendo a classe menos expressiva na BHRIA, porém são representantes importantes das formas de relevo típicas do oeste e sudoeste do estado do RS.

As *cornijas de arenitos* são feições lineares abruptas (Figura 39), encontradas na BHRIA, estão associadas a divisores de água dos afluentes do rio Ibicuí da Armada, localizam-se próximas aos topos de colinas com inclinação superior a 10%. São porções do arenito mais cimentadas, quando a sua orientação é voltada para sul, apresenta vegetação arbórea entremeada as fraturas do arenito.



Figura 39: Cornija de arenito em meio as colinas, é possível notar que uma encosta é abrupta com afloramento de rocha e apresenta o desenvolvimento de vegetação arbórea, e o outro lado mantém-se a forma de colina. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

O que diferencia a cornija de um morrote isolado, é que o morrote é uma elevação com encostas inclinadas. Enquanto que cornija é uma feição na forma de degrau na meia encosta onde afloram rochas.

As *Colinas sobre Sedimentos Marinhos e de Transição*, ocupam 25,21% e localizam-se ao leste da BHRIA marcam uma importante forma de relevo, pois esses sedimentos aderem características peculiares ao comportamento da água superficial, que devido à baixa declividade (Figura 40) e pouca permeabilidade, se mantém mais tempo na superfície do solo, com isso, os solos apresentam uma grande concentração de matéria orgânica, coloração escura e os minerais

como o óxido de ferro, que aderem coloração avermelhada ao solo, são lixiviados e alterados.



Figura 40: Colinas sobre folhelhos marinhos, esse tipo de rocha adere características peculiares ao solo e relevo. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Nos períodos com taxas de precipitação elevadas, as práticas agrícolas são dificultadas pela alta adesão dos argilo-minerais que compõem o solo, esses aderem nas partes mecânicas dificultando o manejo agrícola. Em períodos com taxas de precipitação reduzidas, o solo resseca e endurece, com isso os implementos agrícolas não conseguem penetrar na camada superficial do solo e nem as plantas desenvolverem suas raízes de forma eficiente. Com essas características foi possível observar em campo, que essas colinas são usadas em sua maioria para a criação de gado em campos nativos.

As *Áreas Planas com Depósitos Fluviais Recentes* são observadas tangenciando o canal principal do Rio Ibicuí da Armada e também alguns dos principais afluentes (Figura 41) a área ocupada por essa unidade é 23,05%.



Figura 41: Imagem mostrando canal do Rio Ibicuí da Armada e as vastas áreas planas tangenciando o rio, nessa imagem ainda podemos observar que o nível do caudal está elevado (foto para montante).(Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Na BHRIA é comum depósitos de barra de meandro e formação de diques marginais próximos ao canal. Nas porções mais distantes do canal é comum a formação de áreas úmidas, esses locais só são ocupados pela água do rio em períodos de cheia, nesses locais são depositados materiais com granulometria mais fina, como silte e argila, essas áreas são ideais para o desenvolvimento de orizicultura (Figura 42), sendo relevo com inclinação em torno de 2%, solos fertilizados pelos depósitos do rio e disponibilidade de água.



Figura 42: Imagem mostrando áreas ocupadas com lavouras de arroz, essas áreas se mostram excelente para o cultivo de arroz, pois visto a disponibilidade hídrica, em períodos chuvosos o rio ocupa esses locais depositando nutrientes que auxiliam em um bom desenvolvimento da cultura orizícola. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As Colinas, Morros e Morrotes sobre intercalações de Rochas Vulcânicas e Sedimentares, ocupam 2,53% da BHRIA, representam a área do planalto da campanha, sendo que essa unidade de relevo localiza-se no *Front da Cuesta* que delimita a BHRIA a oeste (Figura 43). E a unidade em que há maior energia de relevo, visto que as declividades são acentuadas (superiores a 15%) nas encostas dos morros e morrotes, com exceção das colinas, que são pouco expressivas nessa unidade e que mantêm declividades em torno de 8%.



Figura 43: Imagem mostrando uma visão geral dessa unidade de geomorfológica, ao fundo podemos observar encostas sendo dissecadas, cobertas com vegetação arbórea, pelos agentes intempéricos e erosivos e ainda observar colinas com campos. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As colinas observadas em meio aos morros e morrotes, mantém de forma geral, solos argilosos e bem desenvolvidos (Figura 44A), a argila é comum mesmo em solos desenvolvidos sobre arenitos, visto a contribuição de rochas vulcânicas. As litologias são caracterizadas como uma mescla de rochas vulcânicas e arenitos eólicos *intertrápicos* (Figura 44B). Nas porções com morros e morrotes é comum a ocorrência de solos rasos e afloramentos de rochas, tanto de vulcânicas como de arenitos silicificados.

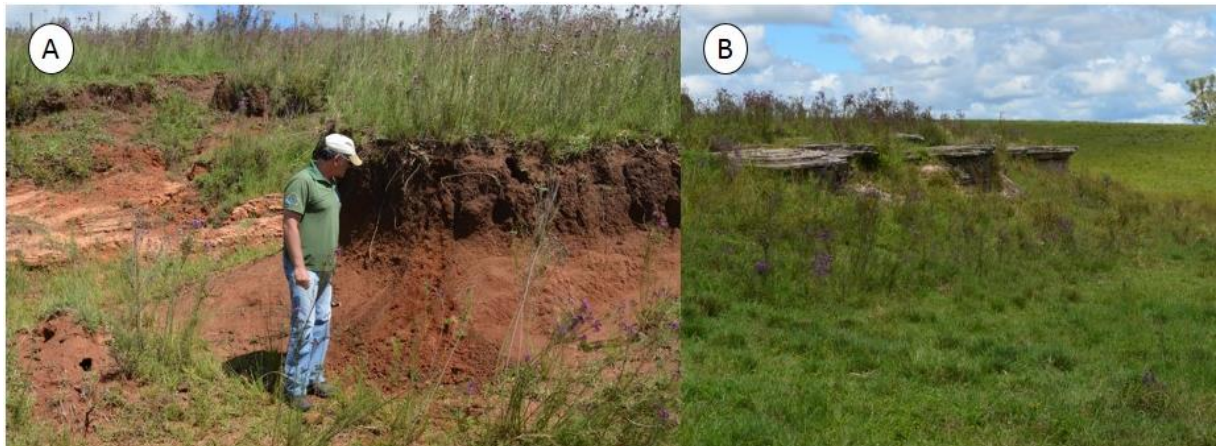


Figura 44: “A” imagem mostrando solos observados nas colinas em meio aos morros e morrotes, mesmo sendo um solo sobre arenitos o aporte de argila ocorre pela proximidade com as rochas vulcânicas que após serem alteradas dão origem a argilo-minerais que se mantem no solo. “B” afloramento de arenito em meio a colinas com substrato litológico vulcânico. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As *Escarpas* são feições comuns ao rebordo do Planalto da Campanha, sendo caracterizadas por superfícies lineares abruptas (inclinação $>15\%$) que apontam a transição de patamares de dissecação (Figura 45). São áreas com afloramentos de rocha e solos mal desenvolvidos, a ocorrência de vegetação arbórea exuberante, a dificuldade do acesso as áreas escarpadas, permite que ações antrópicas depredadoras não se intensifiquem nesses locais.



Figura 45: Imagem mostrando escarpas íngremes e vegetadas do Planalto da Campanha, município de Santana do Livramento. (Fonte: autor, setembro de 2014)

5.2.2 Quinto Nível

No **Quinto Nível** são avaliados os padrões das encostas nas formas de relevo. A análise das formas das encostas será feita utilizando as unidades Geomorfométricas, para isso serão evidenciadas as unidades predominantes em cada unidade de relevo.

Nas *Colinas de Arenito* podemos observar uma predominância das unidades I, IV e X (Gráfico 01). Na unidade I temos uma declividade superior a 5% com plano convergente, podemos observar que se trata de características típicas das nascentes em colinas.

As unidades IV e X diferenciam-se somente pela altitude nas colinas, sendo que a unidade IV está acima de 170 metros e a X abaixo, essas unidades marcam a base das colinas, localizam-se próximas a rede de drenagem, ambas apresentam um plano convergente.

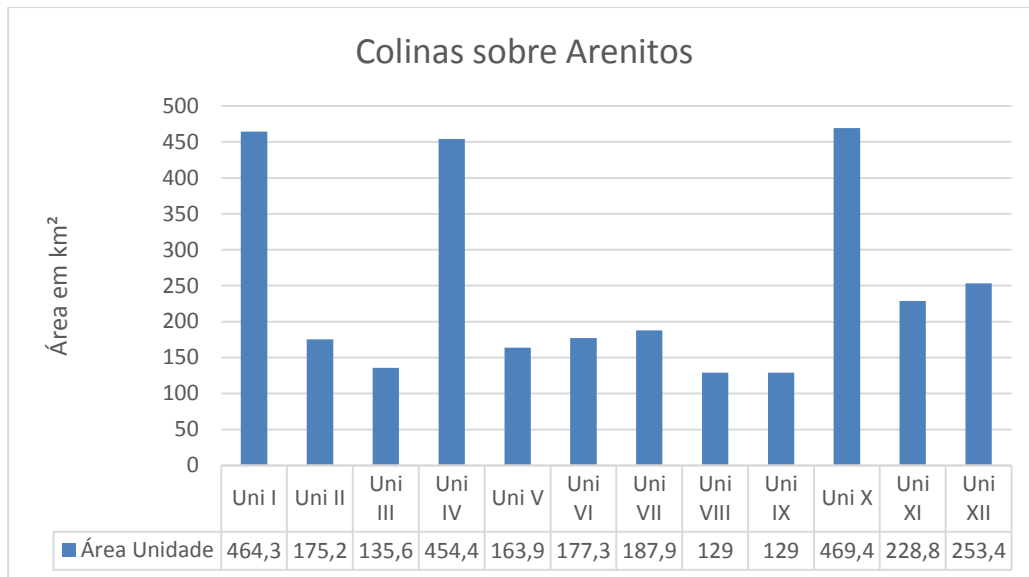


Gráfico 01: Ilustração indicando a área ocupada por cada unidade geomorfométrica sobre as Colinas de Arenito. (Fonte: autor)

Nos *Morros e Morrotes Isolados e nas Cornijas de Arenito* há o predomínio da unidade I e II. No gráfico 02, podemos ver a área ocupada pelas unidade Geomorfométricas sobre os *Morros e Morrotes Isolados, as Cornijas de Arenito* por serem feições lineares, a forma de observar sobre qual unidade geomorfométrica se encontram, é através da observação no SIG, feita a observação podemos notar que se localizam em porções semelhantes as encostas dos morrotes.

A unidade I fica evidente nas encostas dos morros e morrotes, localizada principalmente nas nascentes, em que o plano de curvatura é convergente. A unidade II, também é predominante nas encostas, porém o plano de curvatura é divergente, marcando os pequenos interflúvios que se destacam entre as nascentes nas encostas. Os *Morros e Morrotes Isolados* não apresentam área em altitudes inferiores a 170 metros.

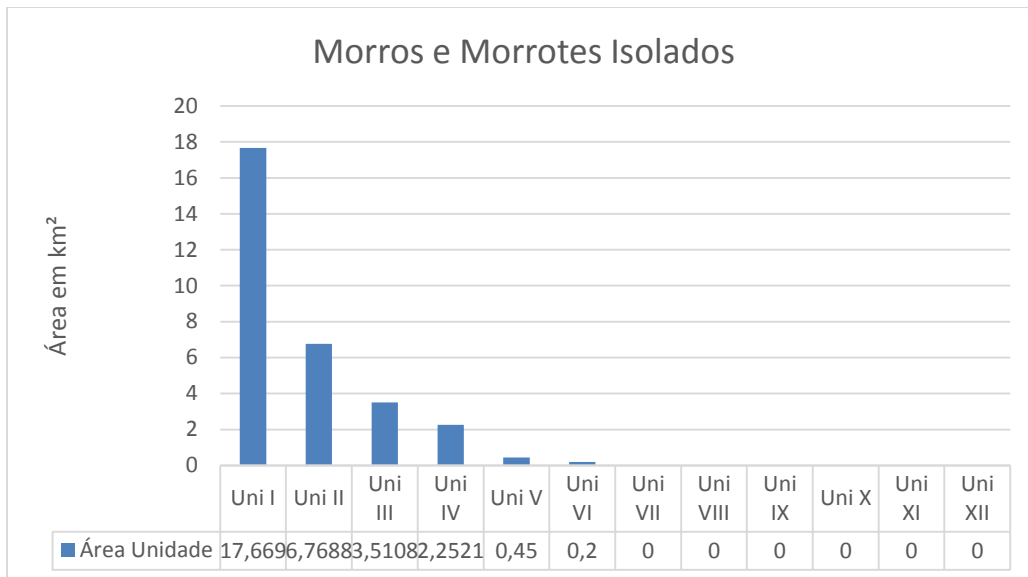


Gráfico 02: Ilustração retratando as áreas das unidades geomorfométricas sobre os morros e morrotes isolados. (Fonte: autor)

Nas *Colinas sobre Sedimentos Marinheiros e de Transição*, podemos notar o predomínio de Unidades Geomorfométricas em que as declividades ficam abaixo de 5% o plano pode ser tanto divergente como convergente e o perfil côncavo ou convexo (Uni IV, X, VI, XII) (Gráfico 03). Essa constatação é confirmada quando se realiza excursões de trabalho de campo para essa porção da BHRIA, de forma geral as vertentes apresentam interflúvios longos. O topo das colinas são convexos e côncavos na base. A unidade IV se diferencia das demais, pelo fato de ocupar áreas com elevações superiores a 170 metros (maior que a média da BHRIA)

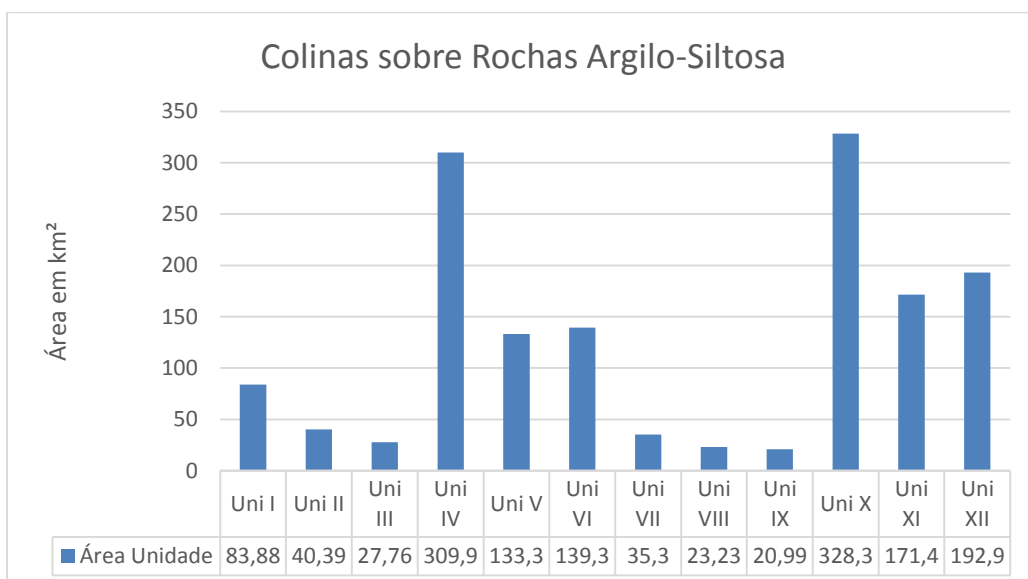


Gráfico 03: Ilustração indicando o predomínio de Unidades Geomorfométricas com declividade inferior a 5% nas Colinas sobre Rochas Argilo-Siltosa. (Fonte: autor)

As *Áreas Planas com Depósitos Fluviais Recentes* fica notório o predomínio das unidades X, XI e XII (Gráfico 04), visto que são as áreas mais baixas topograficamente na BHRIA e sua declividade é inferior a 5%. Nessas áreas o acúmulo de matéria nas vertentes se sobre sai em relação aos processos de dissecação, além de áreas com depósitos fluviais, há vastas áreas alagadiças nessa unidade de relevo, conhecidos como banhados.

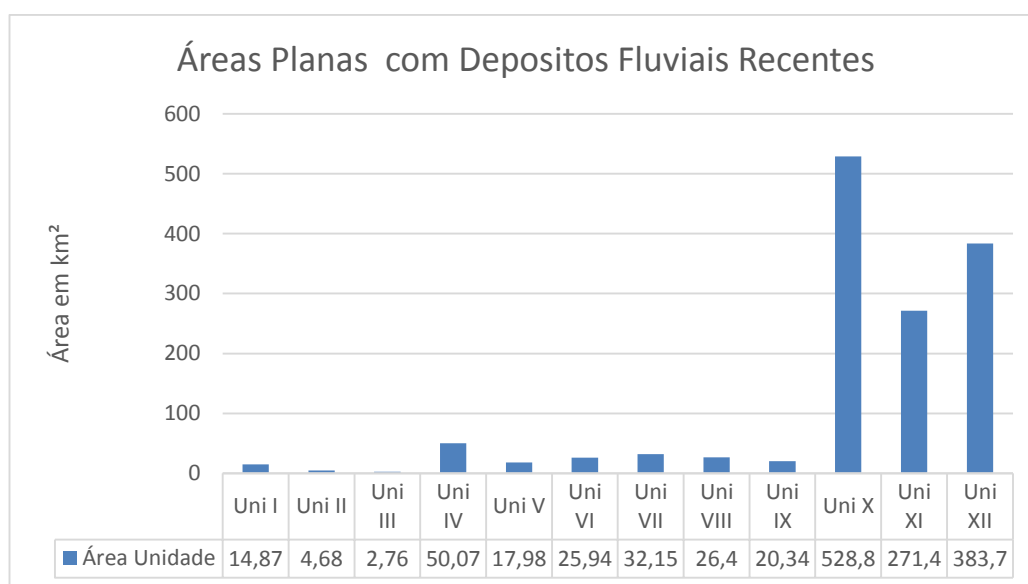


Gráfico 04: Ilustração mostrando o vasto predomínio das unidades X, XI e XII na Unidade de Áreas Planas com Depósitos Fluviais Recentes. (Fonte: autor)

Nas *Colinas, Morros e Morrotes sobre Intercalações de Rochas Vulcânicas e Sedimentares*, pode-se ver que predominam as unidades I, II e III (Gráfico 05), cabe ressaltar que essa é a única área onde a Unidade III ganha evidência, pois vertentes com Plano Divergente e Perfil Convexo são comuns em vertentes com declividades superiores a 10%.

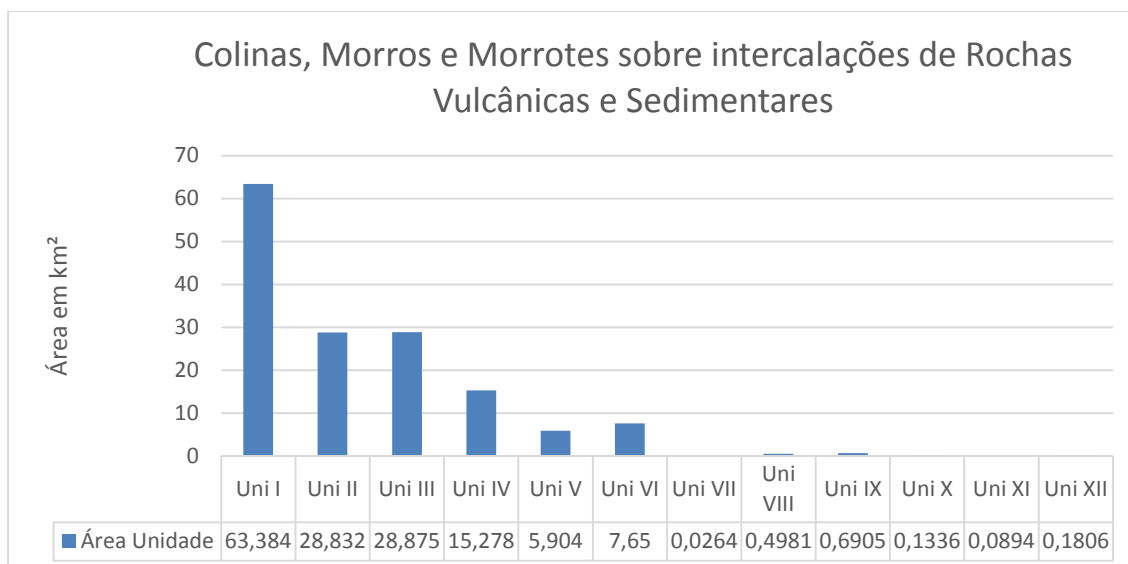


Gráfico 05: Ilustração mostrando a área das unidades geomorfológicas sobre as Colinas, Morros e Morrotes sobre intercalações de Rochas Vulcânicas e Sedimentares. (Fonte: autor)

Cabe destacar a Unidade IV, que caracteriza porções em que as colinas são suaves ou fundos de vale, onde o relevo é pouco ondulado, com declividade inferior a 5%.

As *Escarpas*, assim como as *Cornijas*, são feições lineares, então a análise é feita visualmente, observando as informações no ambiente georreferenciado do ArcGis (Figura 46). Feita as análises, foi possível observar que as *Escarpas* estão associadas a Unidade I, principalmente pelo fato de serem áreas localizadas acima dos 170 m com declividade bem superiores a 5%

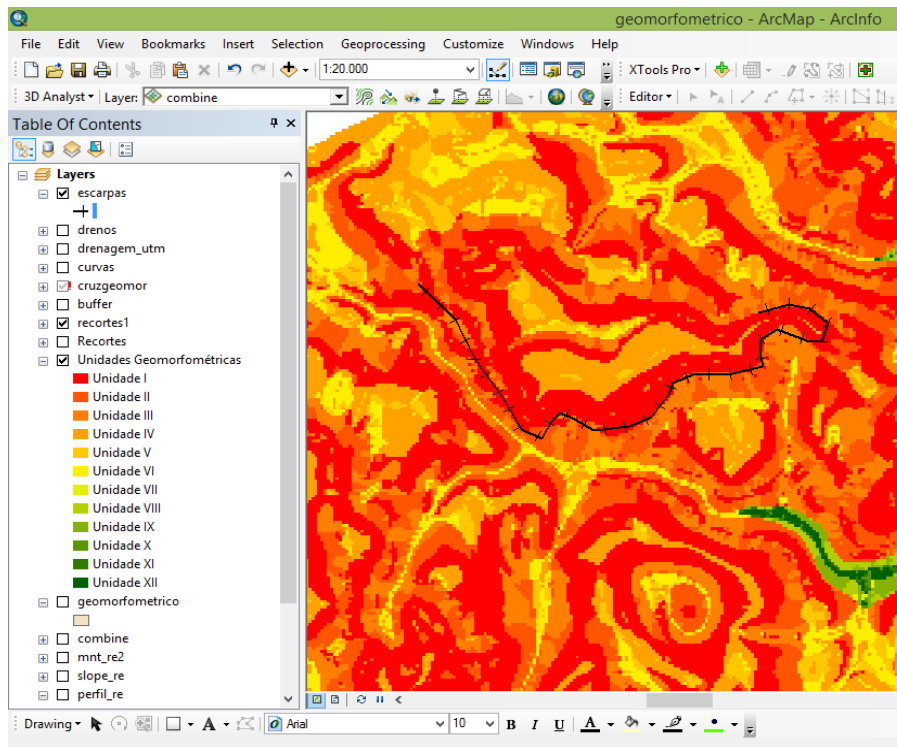


Figura 46: Imagem mostrando a forma com que foi analisado e definidas as Unidades Geomorfométricas em que se localizam as Escarpas. (Fonte: autor)

5.2.3 Sexto Nível

No **sexto nível** geomorfológico são analisadas algumas feições comuns as unidades de relevo encontradas na BHRIA. Cabe ressaltar que algumas dessas feições se repetem nas diferentes unidades de relevo, então para evitar redundâncias, elas serão descritas e discutidas de forma homogênea.

As feições relacionadas a processos erosivos, em especial lineares, como ravinas (de menor porte e geradas por escoamento superficial) e voçorocas (com profundidades superiores a 2 m e geradas por escoamento superficial e sub-superficial) podem ser observadas nas *Colinas de Arenito* e nos *Morros, Morrotes e Colinas sobre Rochas Vulcânicas e Sedimentares*, especialmente na base dos morros em contato com as colinas. Na primeira formam os processos erosivos mais significativos desenvolvendo voçorocas. Na segunda são comuns nas proximidades das nascentes, porém formam, predominantemente, feições menores denominadas ravinas (Figura 47).

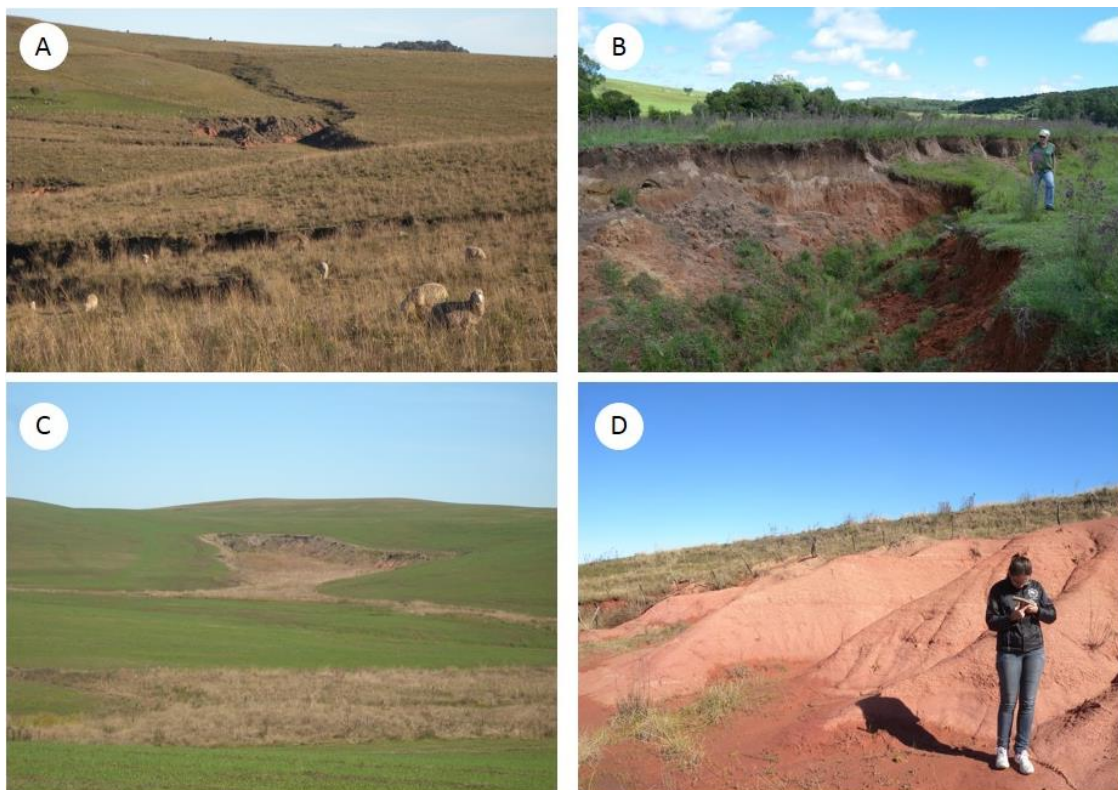


Figura 47: Feições associadas a processos erosivos acelerados, é possível observarmos voçorocas em diferentes graus de evolução (A, B e C) e pequenas ravinas (D). (Fonte: autor, setembro de 2014)

Uma feição muito comum na BHRIA, são os afloramentos de rocha, sendo que podem estar associados tanto a rochas vulcânicas como sedimentares, é possível observar essa feição nas colinas de arenitos onde o arenito mostra-se mais resistente, nas cornijas, nos topos e encostas de morros e morrotes (vulcânicos ou de arenito), ainda é possível encontrar afloramento de concreções carbonáticas nos topos das colinas que localizam-se sobre os sedimentos marinhos (Figura 48).

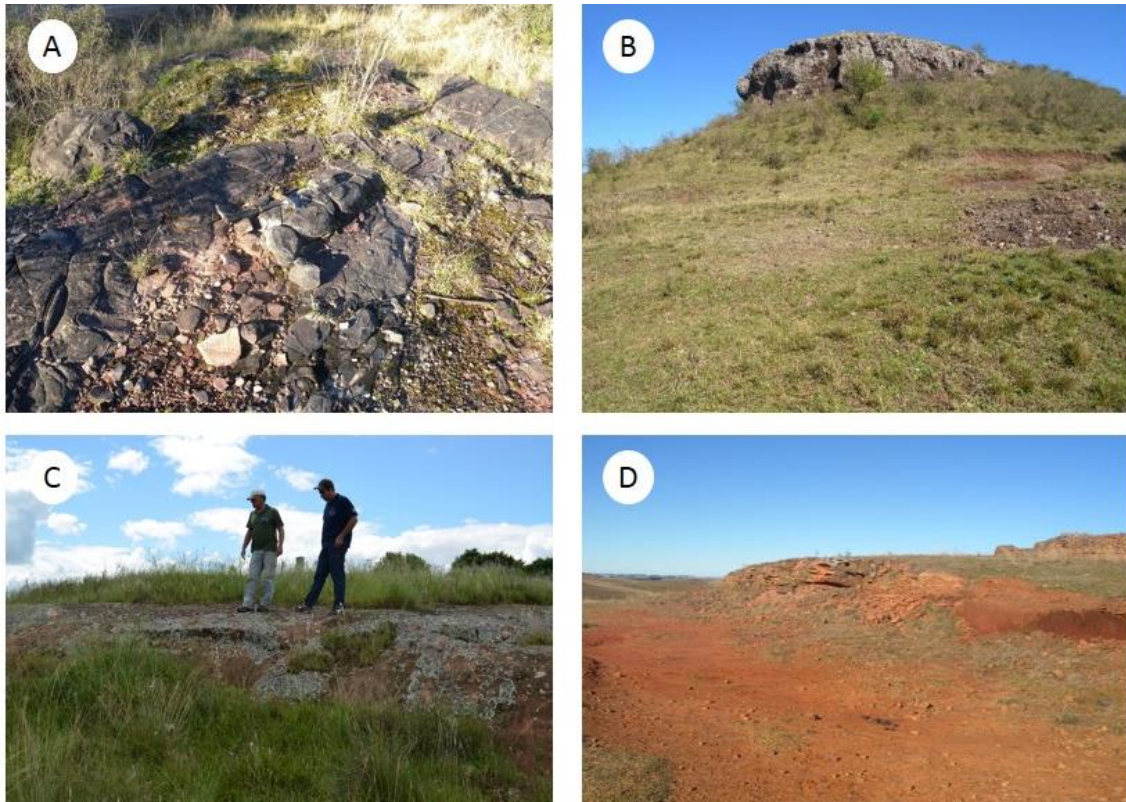


Figura 48: Alguns exemplares de afloramentos de rocha. Na imagem “A” podemos ver um afloramento de carbonato de cálcio comum a folhelhos marinho; “B” afloramento de rocha vulcânica localizado no topo de um morrote; “C” afloramento de arenito; e por fim um afloramento de arenito eólico. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Nas encostas das escarpas e dos morros e morrotes são observados alguns depósitos compostos de materiais heterogêneos (com granulometrias variando de silte e argila até matações), esses depósitos são conhecidos como Colúvio, são formados por deslizamentos e tombamento de massa.

Por fim temos os depósitos fluviais (Figura 49), que na BHRIA são formados por *Barras de Pontal* que tangenciam as principais drenagem. São grandes massas de areia transportas e depositadas pelos rios, que formam “praias”. Em algumas porções da BHRIA esses depósitos são minerados servindo como fonte de renda para a população local.



Figura 49: Depósitos fluviais, nos períodos de elevação de caudal os depósitos são formados pela carga do rio. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O levantamento sobre o uso e ocupação não tem a pretensão de abordar um minucioso resgate histórico e evolutivo de todas as atividades praticadas nos municípios que estão inseridos na BHRIA, mas tem como proposta limitar as análises para as atividades desenvolvidas nas últimas três décadas, período representativo das últimas transformações da área de estudo.

6.1 Breve Histórico da Gênese da Ocupação

A porção do estado do Rio Grande do Sul, onde localiza-se a BHRIA, foi inicialmente ocupada por índios Charruas e Minuanos, que caracterizavam-se por ser nômades ou semi-sedentários, tendo sua sobrevivência baseada na coleta e na caça. Ocupavam a Banda Oriental do Uruguai e os pampas Argentinos e sul-riograndense (Garcia & Milder 2012).

Com a chegada dos povos Ibéricos no continente Americano as etnias indígenas sofreram retalhações e aculturação por parte dos europeus. Algumas etnias aceitaram de forma pacífica o contato com o homem branco e outros como os Charruas e os Minuanos mostraram-se contrários ao domínio impostos, como consequência foram praticamente dizimados, os poucos restantes foram inseridos na cultura europeia ou viviam as margens da sociedade de forma clandestina (Garcia & Milder 2012).

As primeiras Estâncias, forma inicial de ocupação por parte dos povos Europeus, eram porções de terra concedidas a militares que trabalhavam no reconhecimento e proteção deste novo território, sendo assim, os municípios que tem suas áreas dentro da BHRIA, tiveram sua gênese a partir de estâncias e pequenos povoados.

No quadro 09 pode-se observar algumas características dos municípios que tem parte de suas áreas sobre os terrenos drenados pela BHRIA. As informações são referentes ao ano de emancipação, população estimada para 2014, área total e por fim área que ocupa na BHRIA.

Nome	Ano da emancipação	População estimada para 2014	Área Total em km ²	Área na BHRIA em km ²
Santana Livramento	1857	83.324	6.950,34	3.028,02
Rosário do Sul	1876	40.798	4.369,64	1.530,16
Dom Pedrito	1872	39.920	5.192,00	1.431,87

Quadro 09: Características gerais dos municípios que tem parte de suas áreas nos domínios da BHRIA. (Fonte: IBGE)

6.2 Avaliação do Uso e Ocupação do Solo e Cobertura Vegetal

Analisar as fases e as formas de ocupação do território nos permite avaliar a pressão que os modelos de exploração exercem sobre a área de estudo. Para a avaliação do Uso e Ocupação da BHRIA, foram realizadas observações de campo. No quadro 10, podemos observar os principais produtos dos municípios que tem parte de suas áreas na BHRIA.

PRINCIPAIS PRODUTOS AGROPECUÁRIOS				
Município	Arroz/ Toneladas	Soja/Toneladas	Bovinos/Cabeças	Ovinos/Cabeças
Dom Pedrito	278.472	116.850	406.979	150.673
Rosário do Sul	146.661	50.400	349.846	147.996
Santana do Livramento	61.577	32.400	585.906	408.406

Quadro 10: Principais produtos agropecuários dos municípios da BHRIA, para o ano de 2012. (Fonte: FEE)

A estrutura fundiária na BHRIA é composta na maioria dos casos por grandes propriedades, onde as atividades estão ligadas a produção de Arroz, Soja, gado bovino e ovino (Figura 50). Segundo a Embrapa são propriedades que variam de 30 ou mais módulos rurais (no oeste do RS um módulo equivale a 28ha).



Figura 50: Imagem ilustrando os principais produtos agropecuários da BHRIA. Na imagem “A” podemos observar uma “tropa” de gado bovino; na imagem “B” ovinos criados sobre campos nativos; na figura “C” lavoura sendo preparada para o plantio do arroz; e na imagem “D” lavoura de soja. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Quando ligadas a agricultura, a utilização de maquinários agrícolas exige pouca mão-de-obra. Como já se sabe, com uma grande e aprimorada mecanização da agricultura, parte da população rural, que não detém grandes extensões de terra, são obrigados migrar para as cidades, no caso da BHRIA são destinados a Dom Pedrito, Rosário do Sul e Santana do Livramento, em busca de melhores condições financeiras, porém nos centros urbanos acabam ocupando locais impróprios (margens de rio e áreas úmidas) e são vítimas de desastres naturais, como as enchentes que atingem Rosário do Sul e Dom Pedrito.

A criação de gado na BHRIA é realizada de forma intensiva e extensiva (Figura 51). Intensiva quando o gado (bovino e ovino) é criado em pastagens plantadas, o tempo de engorda do gado é menor e os rendimentos são maiores, na maior parte dos casos, essas pastagens são cultivadas no período entressafra, ocupando assim lavouras onde são cultivadas soja e arroz. Na forma de criação extensiva os animais são criados soltos sobre campo nativo, pode-se dizer que essa forma de criação é a desenvolvida a mais tempo nos

domínios da BHRIA, nesse sistema não a gastos financeiros com o cultivo de lavouras de pastagens, em contra partida os rendimentos são menores.

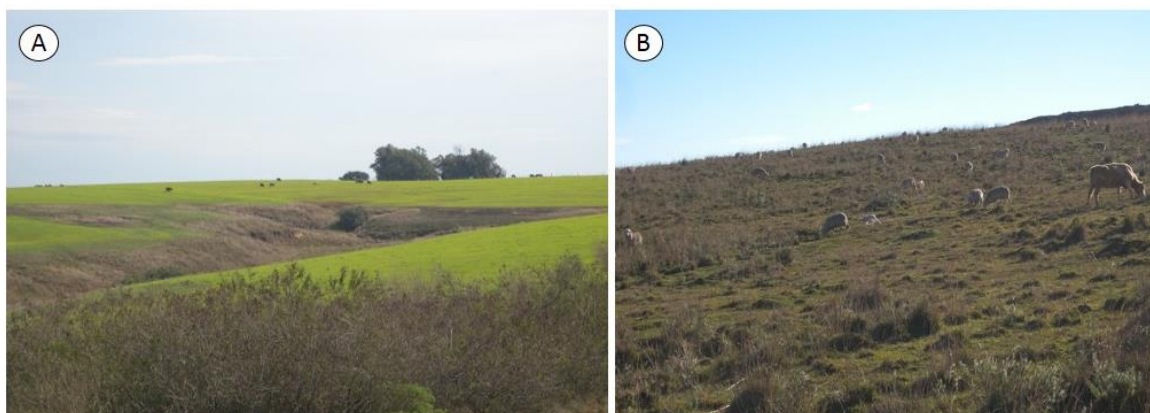


Figura 51: Forma de criação de gado. Na figura “A” podemos observar os animais se alimentando com pastagens cultivadas; na imagens “B” os animais se alimentam com pastagens naturais, a qual não recebe nenhum cuidada ligado a adubação e a irrigação. (Fonte: autor, setembro de 2014)

As pequenas propriedades são pouco expressivas na BHRIA, estando ligadas principalmente a assentamentos da reforma agrária. Segundo dados do INCRA o município que detém o maior número de assentamentos rurais nos domínios da BHRIA é Santana do Livramento. Nesses locais, foi possível observar uma maior diversificação na produção rural, pois as lavouras de subsistência (Figura 52) são compostas de milho, mandioca, feijão e etc. Os animais criados nessas propriedades são utilizados para a alimentação familiar.



Figura 52: Parte de um lote, fruto de reforma agrária, na imagem podemos observar pequenas lavouras de subsistência próximas a residência. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

6.3 Análise Multitemporal do Uso e Ocupação da BHRIA

Através de classificações de imagens orbitais é possível observar como ocorre a distribuição espacial das diversas formas de ocupação do espaço, quando realiza-se uma análise multitemporal é possível descrever as condições de uso e ocupação em diferentes períodos. Com isso é possível avaliar diferentes dinâmicas sociais e econômicas, além de acompanhar as condições de processos superficiais.

Para a bacia do rio Ibicuí da Armada, foram analisados três períodos distintos, com isso foram classificadas imagens dos anos de 1994, 2004 e 2014, tendo assim um período de 20 anos.

6.3.1 Uso do Solo no ano de 1994

O uso da terra na BHRIA é atrelado a atividades agropecuárias, para a avaliação realizada sobre informações obtidas através da classificação da imagem orbital de 1994 (Figura 53), fica evidente o predomínio de campos, que na área de estudo são utilizados para a criação extensiva de gado. Para esse ano a classe *Campo* ocupava 77,61% da BHRIA, isso deve-se ao fato da região ser caracterizada culturalmente pela criação de gado. A ocupação por *Lavouras* representa 15,22% da área e, em geral, tangenciando curso de água, o que indica que na sua maioria eram lavouras.

No ano de 1994 as *Florestas* ocupavam 5,11% da área de estudo. A BHRIA está inserida no bioma Pampa onde naturalmente há o predomínio de vegetação campestre, os representantes arbóreos alojam-se nas margens rios e arroios caracterizando matas galerias ou nas encostas íngremes e pedregosas de morros, morrotes, cornijas e escarpas. Ainda com menor expressividade é possível observar capões de mato em meio a colinas.

A classe *Água* foi classificada em 1,50% da área, essa classe é caracterizada por represas, açudes (utilizados para a irrigação ou para a dessedentação de animais) e por segmentos da rede hidrográfica que apresentam largura igual ou superior a 30 m, devido a resolução espacial da imagem utilizada.

A *Silvicultura* nesse período era pouco expressiva, ocupando apenas 0,96%, a espécie que predomina é o Eucalipto (*Eucalyptus sp*) e sua função principal era servir de “quebra vento” e para o gado se proteger do sol, ainda é usado como “moirão” para a sustentação de cercas, peças para a construção de benfeitorias e como lenha. Com a utilização do eucalipto para essas atividades, as espécies arbóreas endêmicas acabam sendo poupadas.

A classe *Área Urbana* é representada por parte da cidade de Rosário do Sul e pela cidade de Santana do Livramento, são municípios com grandes extensões, porém suas áreas urbanas são pouco expressivas e no ano de 1994 ocupavam 0,30% da BHRIA.

O coeficiente de Kappa obtido para a averiguação da acurácia dessa classificação foi de 0,89 em uma escala que vai de 0 a 1, esse resultado é considerado quase perfeito.

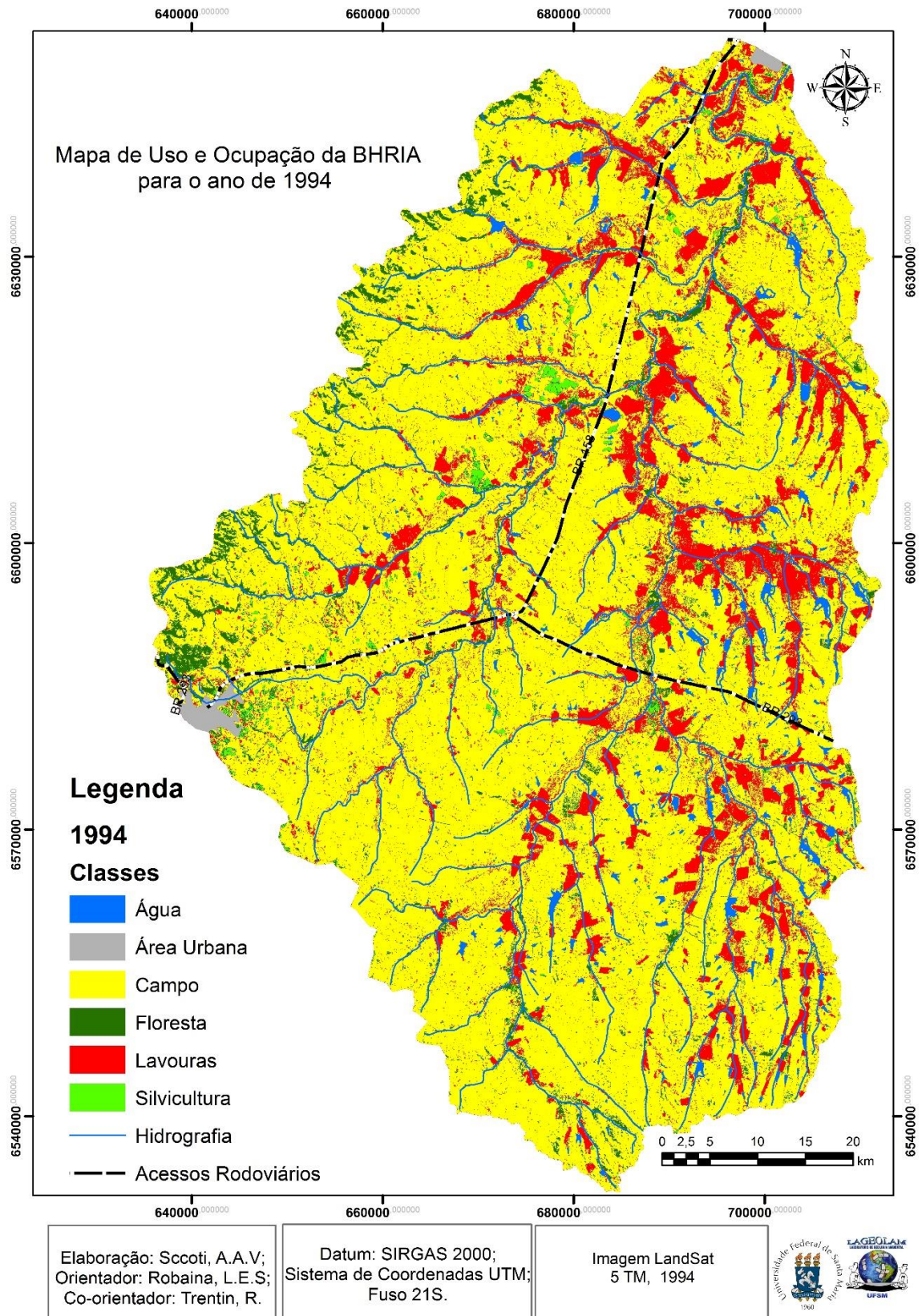


Figura 53: Mapa apresentando uso do solo e cobertura vegetal da Bacia hidrográfica do rio Ibicuí da Armada no ano de 1994. (Fonte: autor)

6.3.2 Uso do Solo no ano de 2004

No ano de 2004 (Figura 54) pode-se observar que a classe *Campo* é a que predomina, ocupando 65,23% da área da bacia, quando comparamos com a classificação anterior podemos observar que houve uma redução na área. Isso é explicado quando analisamos a área ocupada por *Lavouras* que passou de 15,22% em 1994 para 29,38% em 2004. O aumento do preço e das exportações de soja na primeira década do século XXI, pode ter impulsionado a substituição de áreas de campo por lavouras.

A classe *Floresta* no ano de 2004 ocupava 4,14% tendo sofrido um abatimento de aproximadamente 1% quando comparada ao ano de 1994, parte dessa queda na área de floresta pode estar relacionada ao avanço das lavouras.

Uma importante constatação obtida através da análise do uso do solo foi quanto a classe *Silvicultura*, diferente de outras porções do oeste do Rio Grande do Sul, a BHRIA não sofreu expressivos aumentos na área plantada, apenas 1% da área era ocupada. Nesse período começam a surgir algumas poucas áreas com intuito comercial.

A classe *Água* ocupa 1,37% da área da bacia, sendo assim um valor semelhante ao obtido em 1994, com isso pode-se notar que não houve investimentos na construção de açudes e barragens voltados a irrigação, já que houve uma acentuação na área com lavouras.

As Áreas Urbanas que localizam-se no interior da BHRIA, não sofreram aumentos expressivos em suas áreas, o fato de não serem cidades industriais não apresentam dinâmicas populacionais expressivas.

O coeficiente de Kappa obtido para a classificação apresentada é de 0,94, sendo considerada quase perfeita a concordância entre o observador e a amostragem, isso indica uma classificação com poucos erros.

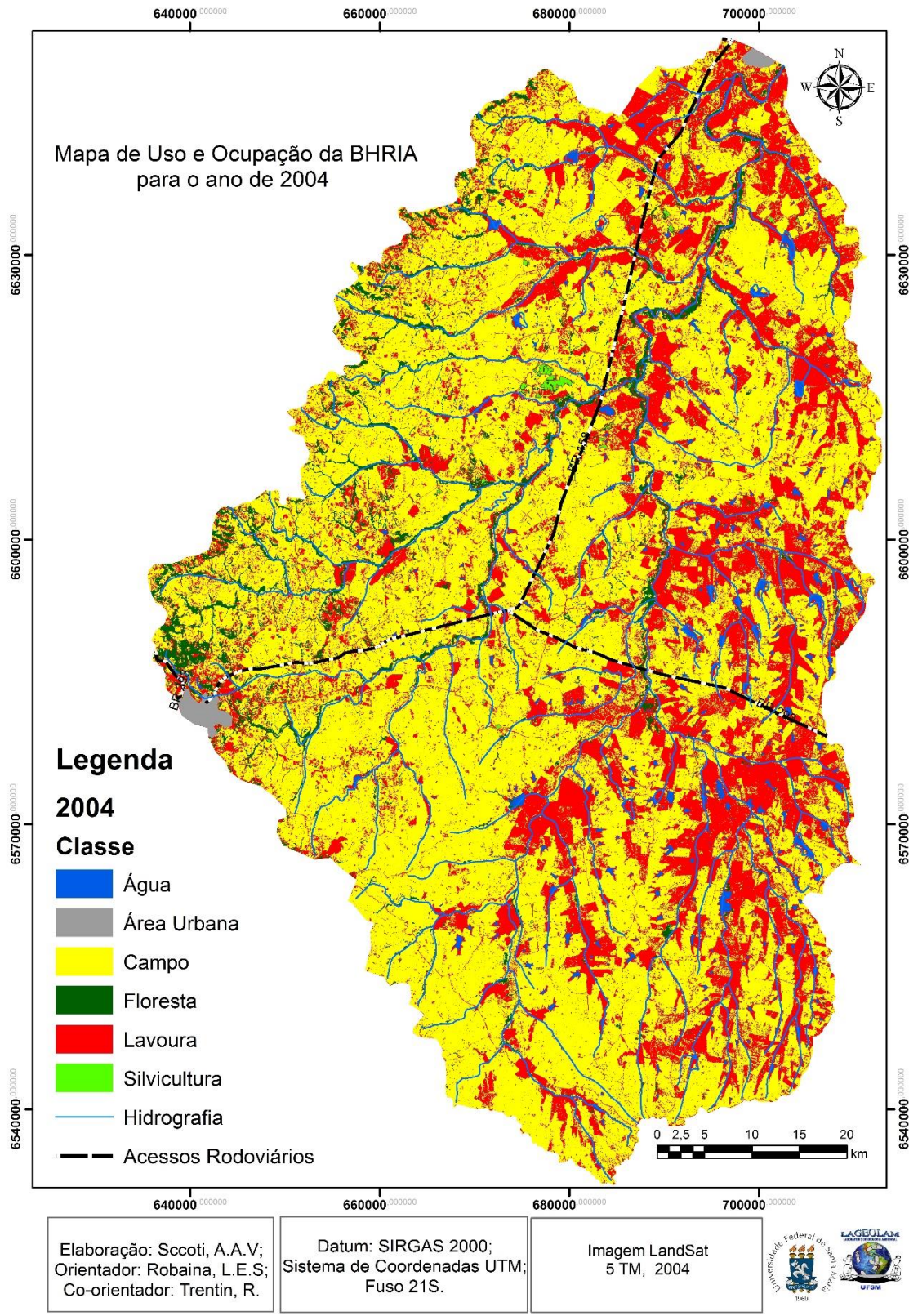


Figura 54: Mapa do uso do solo e cobertura vegetal da BHRIA no ano de 2004. (Fonte: autor)

6.3.3 Uso do Solo no ano de 2014

Através da classificação imagem LandSat 8 de janeiro de 2014 (Figura 60) e os trabalhos de campo realizados na BHRIA, foi possível descrever as condições atuais de uso e ocupação do solo.

A classe que ainda predomina na BHRIA é a de *Campo* (Figura 55) com 54% da área, é um valor bastante expressivo, porém está sendo reduzido, quando comparada as classificações que foram realizadas utilizando imagens de 1994 e 2004, com isso pode-se considerar que a criação de gado está sendo desenvolvida nas pastagens cultivadas ou está sendo substituída por plantações.



Figura 55: Imagem mostrando campo, são áreas onde o gado é criado solto e a densidade de animais é baixa, visto que se alimentam apenas do pasto que se desenvolve naturalmente. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

A classe que se destacou em termos de área no período analisado de 20 anos, foram as *Lavouras* (Figura 56) que em 2014 ocuparam 37,38% da BHRIA mais que o dobro em termos de áreas quando comparada ao ano de 1994 que ocupava apenas 15,22%. Cabe destacar que através de observações realizadas em trabalhos de campo, que vastas colinas que antes eram usadas para a criação de gado hoje figuram extensas lavouras de soja, que no período de

entressafra servem de pastagem, tendo assim substituído o modo tradicional da criação de gado.



Figura 56: Lavoura de soja, as áreas cultivadas com lavouras vem aumentando nos últimos anos na BHRIA. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As *Florestas* estão ocupando 5,32% da BHRIA, como já havíamos visto, os representantes arbóreos nativos da área de estudo, estão localizados junto a drenagem, em encostas íngremes ou ainda em capões de mato em meio a campos e lavouras (Figura 57).



Figura 57: Áreas com florestas nativas na BHRIA, os representantes arbóreos arbustivos localizam-se preferencialmente nas margens dos rios sendo caracterizadas como matas de galerias (A) ou nas áreas com declividades acentuadas (B). (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

A *Silvicultura* ainda apresenta baixa expressividade nos domínios da BHRIA, ocupando 1,22% do total. Porém através da avaliação temporal do uso e

ocupação do solo foi possível observar que houve o aumento de área plantada, com isso, áreas que antes eram campo, hoje ocupadas com florestas de espécie arbóreas exóticas (Figura 58). Com as observações realizadas em trabalhos de campo foi possível notar que essas novas áreas apresentam características comerciais e não são utilizadas para o uso nas propriedades.



Figura 58: Áreas ocupadas com Silvicultura, é possível observar na imagem que essas áreas são cultivadas para uso comercial. (Fonte: autor, setembro de 2014)

A classe Água, que está representada por reservatórios e pela hidrografia da BHRJA (Figura 59), ocupa 1,45% da área de estudo. Atualmente a maioria dos reservatórios (barragens e açudes) são utilizados para a irrigação das lavouras, essa característica pode ser observada na figura 59, onde é possível notar a associação das lavouras e dos corpos hídricos.



Figura 59: Corpos de água na BHRJA. Na imagem “A” podemos observar um reservatório construído; na imagem “B” é possível ver um segmento do canal do rio Ibicuí da Armada. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

As áreas urbanas localizadas no interior da BHRJA, apresentam uma área pouco significativa, ocupam apenas 0,33%, apresentando um baixo crescimento

quando comparado aos anos de 1994 e 2004. As áreas urbanas são representadas pelas cidades de Santana do Livramento e Rosário do Sul.

A análise da confiabilidade das interpretações das imagens foi realizado através do coeficiente Kappa. O valor obtido foi de 0,93, expressando uma confiabilidade quase perfeita entre a amostragem e o observador, esse valor indica poucos erros na classificação.

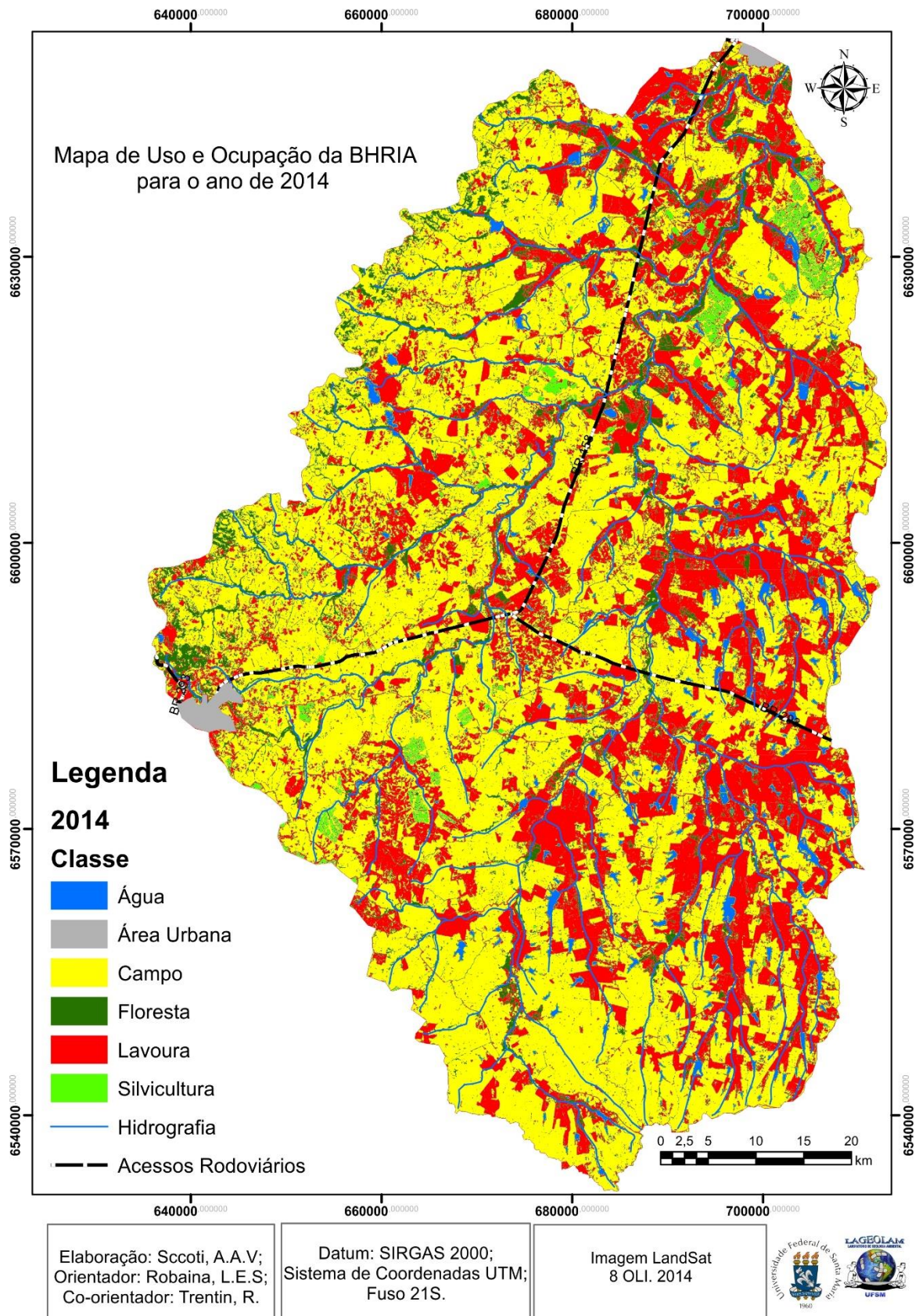


Figura 60: Mapa de uso do solo e cobertura vegetal da BHRIA, a bacia hidrográfica vem sofrendo modificações nas formas de ocupação nos últimos anos. (Fonte: autor)

7 ZONEAMENTO GEAMBIENTAL: AVALIAÇÃO DAS POTENCIALIDADES E VULNERABILIDADE DOS SISTEMAS

A caracterização Geoambiental é realizada através da avaliação dos elementos físicos e antrópicos que compõem a área de estudo, essa por sua vez é segmentada em sistemas homogêneos, onde são descritas e avaliadas as potencialidade e suscetibilidades dos recortes espaciais.

Para a caracterização física do zoneamento geoambiental da BHRIA utiliza-se a compartimentação geomorfológica, visto que essa engloba várias características naturais da área de estudo. A caracterização antrópica é realizada através do uso do solo e cobertura vegetal. Com essas informações é possível definir as potencialidades e as suscetibilidades.

O termo “zoneamento”, na proposta desenvolvida no LAGEOLAM/UFSC, refere-se ao parcelamento de um determinado espaço geográfico e tem seu direcionamento na determinação das fragilidades e potencialidades ambientais das paisagens.

Na definição de uma unidade ambiental homogênea pode-se utilizar um único parâmetro ou um grupo deles para formar uma unidade, que é a base para a análise de uma área. Define-se como parâmetro o elemento base que será inserido e manuseado sobre um documento cartográfico, como informação que representa parte dos componentes do ambiente.

7.1 Avaliação geoambiental dos sistemas e unidades geoambientais

O zoneamento geoambiental da BHRIA, representa a síntese das informações levantadas no decorrer da pesquisa, além do comportamento da área de estudo frente aos processos superficiais e antrópicos. O zoneamento geoambiental é caracterizado por aspectos como: formas de relevo, solos, hidrografia, formas das vertentes, uso e ocupação do solo, entre outros aspectos que permitem a homogeneização do espaço.

As características da área de estudo permitiu que houvesse a discriminação de cinco sistemas e duas unidades (Figura 61), são eles: *Sistema Urbano*, *Sistema Ibicuí da Armada*, *Sistema Campo Seco que engloba as Unidades Pampeiro e dos Assentamentos*, *Sistema Palomas*, *Sistema Caverá* e por fim *Sistema Upacarai*.

	POTENCIALIDADE	VULNERABILIDADE
Sistema Urbano	Acesso a produtos e a serviços	Alteração das características naturais da área de estudo, sendo que através da expansão urbana é necessário a construção de cortes e aterros, além de canalizações e retificações.
Sistema Ibicuí da Armada	Disponibilidade hídrica que possibilita a irrigação de lavouras e a dessedentação de animais	Banhados e áreas úmidas drenados e modificados para que ocorra o preparo do solo além insumos agrícolas que são lixiviados para a drenagem, prejudicando a fauna e a flora aquática
Sistema Campo Seco	Áreas com potencial agrícola e colinas propensas a mecanização da agricultura, campos naturais para a criação de gado	As suscetibilidades dessa unidade estão ligadas ao uso intenso do solo exaurindo seus nutrientes e gerando processos erosivos além da contaminação do solo e dos arroios por insumos agrícolas utilizados nas lavouras, outro problema observado e a retirada de capões de mato para o aumento da área plantada.

Sistema Palomas	Potencial para o geoturismo	Processos erosivos ocasionados por técnicas agrícolas incompatíveis ou grande densidade de animais nos campos; perda de biodiversidade.
Sistema Caverá	Diversidade florística e faunística nas extensas áreas ocupadas com vegetação arbórea arbustiva	Substituição de áreas de florestas por campo, gerando perdas inestimáveis a biodiversidade da bacia hidrográfica
Sistema Upacaráí	Áreas propensas a criação de gado com extensas áreas de campo nativo	Representantes florísticos substituídos por espécies exóticas acarretando a perda de nichos ecológicos. Uso de insumos agrícolas poluem a água e o solo.

Quadro 11: Síntese das suscetibilidades e potencialidades dos sistemas geoambientais da BHRIA. (Fonte: autor)

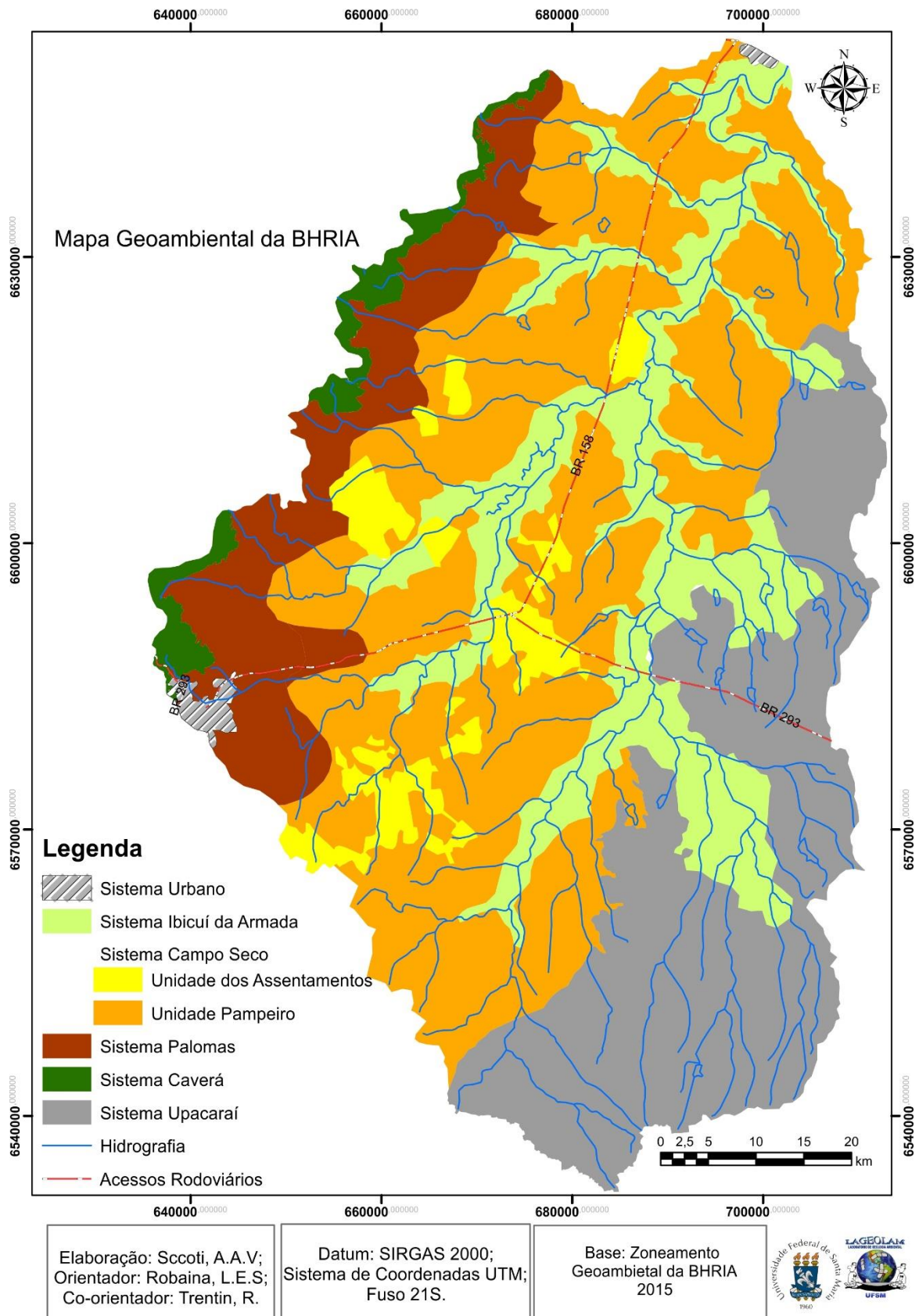


Figura 61: Mapa ilustrando os Sistemas e Unidades definidos para o Zonamento Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Ibicuí da Armada. (Fonte: autor)

Os Sistemas e as Unidades apresentam características semelhantes ou graus de heterogeneidade mínima, como poderá ser visto a seguir. A nomenclatura utilizada para as classes é baseada em nome de localidades, em toponímias e em formas de uso do solo.

7.1.1 Sistema Urbano

O sistema urbano representa os limites das áreas urbanas de Rosário do Sul e Santana do Livramento, onde se tem acesso a serviços e a produtos. A cidade de Rosário do Sul localiza-se na porção norte da bacia hidrográfica, próxima a foz do Rio Ibicuí da Armada com o Rio Santa Maria, sendo assim apenas alguns canais localizados na porção sul e oeste da cidade escoam diretamente para o Ibicuí da Armada; já a área urbana de Santana do Livramento encontra-se no divisor de águas a sudoeste da BHRIA, formando uma conurbação com a cidade de Riveira (Figura 62) que pertence a República Oriental do Uruguai.

As características das ocupações são diferenciadas, sendo que Santana do Livramento apresenta uma área urbana maior, com edifícios comerciais de mais de três pavimentos na região central e áreas de moradia no entorno. A cidade de Rosário do Sul apresenta uma área urbana com predomínio de construções baixas e utilizadas como moradias, além do mais, por ter sua área urbana junto as margens dos rios Ibicuí da Armada e Santa Maria, apresenta várias áreas com perigo de inundação.

As duas áreas urbanas apresentam suscetibilidades associadas a problemas estruturais que acarretam a contaminação de corpos hídricos e do solo com esgoto e outros resíduos antrópicos.

Outro problema ocasionado pela urbanização, é a alteração das características naturais do ambiente, sendo que através da expansão urbana é necessário a construção de cortes e aterros, além de modificações na drenagem, como canalizações e retificações.



Figura 62: Imagem mostrando a conurbação entre as cidades de Santana do Livramento (Brasil) e Rivera (Uruguai) o limite entre os dois países está no divisor de águas. (Fonte: imagem digital Globe)

7.1.2 Sistema Ibicuí da Armada

O sistema representa o canal principal do rio Ibicuí da Armada e seus principais afluentes (canais de 4º ordem), além das áreas planas que localizam-se próximas a drenagem (Figura 63). São áreas onde ocorrem depósitos arenosos de *barra de meandro*, os solos encontrados nessas porções são mal drenados e ricos em matéria orgânica, característicos de solos hidromórficos.

Quanto ao substrato litológico, é composto por depósitos recentes transportados pela drenagem. Ao longo dos canais desenvolvem-se faixas de mata ciliar com espécies arbóreas arbustivas endêmicas. As declividades se mantêm abaixo de 2%, nos períodos de elevação de caudal essas áreas são ocupadas pelas águas que extravasam. Com relevo plano e disponibilidade hídrica, são cultivadas grandes lavouras de arroz.

A potencialidade desse sistema está ligada a disponibilidade hídrica do rio Ibicuí da Armada e seus afluentes, sendo que esse recurso possibilita a

irrigação de lavouras e a dessedentação de animais. Outra potencialidade desse sistema está ligadas a fertilidade dos solos localizados na planície de inundação, que esporadicamente é ocupada pelas águas do rio sendo ali depositados uma gama de nutrientes e matéria orgânica.

As maiores suscetibilidades desse sistema estão relacionadas as lavouras de arroz, que geram fortes impactos ambientais, pois banhados e áreas úmidas são drenados e modificados para que ocorra o preparo do solo. Outro impacto gerado pela cultura do arroz, está associado ao uso de insumos agrícolas que são lixiviados para a drenagem, prejudicando a fauna e a flora aquática. As matas ripárias sofrem fortes alterações, sendo suprimidas e substituídas por lavouras.



Figura 63: Área plana ou "varzea" do rio Ibicuí da Armada, ao fundo da imagem é possível observar as lavouras sendo preparadas para o plantio do arroz. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

7.1.3 Sistema Campo Seco

Esse sistema apresenta solos *Areno-Argilosos* desenvolvidos sobre arenitos de origem fluvial e eólica, o relevo é composto de colinas suavemente e

fortemente onduladas com declividades que ficam entre 2-5% e 5-15% respectivamente.

O uso do solo está associado a criação de gado, com rebanhos de bovinos e ovinos, esses criados tanto em sistemas intensivos quanto extensivos. As lavouras são sazonais e o cultivo da soja (Figura 64) é o mais desenvolvido, no período de entre safra, as lavouras são ocupadas com forrageiras, destacando-se o azevem (*Lolium multiflorum*), que serve tanto para a adubação como para alimentação do gado no período do inverno.

Esse sistema pelas características de solos é o que apresenta maiores suscetibilidade a processos erosivos, especialmente quando o manejo e o uso são inadequados. As erosões lineares iniciam-se de duas formas, através do pisoteio do gado e através da concentração de fluxo pluvial em solos revolvidos por equipamentos agrícolas. Ao locomover-se no campo os animais circulam em caminhos, ao andar acabam descompactando o solo que tem suas partículas transportadas pelas águas das chuvas. Nos solos revolvidos por implementos agrícolas o processo é semelhante porém mais nocivo, visto que a área descompactada é bem maior, com isso além do surgimento de incisões lineares, têm-se uma grande perda de solo, esse problema é resolvido ou minimizado através de técnicas de plantio direto.



Figura 64: Nessa imagem podemos observar uma porção de área com campo nativo e mais ao fundo da fotografia podemos ver uma lavoura de soja, esses são os principais usos do solo encontrados no Sistema Campo Seco. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

Devido a condições fundiárias optou-se por dividir esse sistema em duas unidades, que se distinguem principalmente pelo tamanho das propriedades rurais e pelas técnicas de produção agropecuária.

7.1.3.1 Unidade Pampeiro

Na Unidade Pampeiro as características naturais do ambiente mantêm-se iguais às do Sistema Campo Seco, porém a estrutura fundiária é composta de grandes propriedades (com mais de 30 módulos rurais, segundo INCRA), são Fazendas e Estâncias que de modo geral pertencem à mesma família a vários anos.

Quanto a produção agrícola, pode-se dizer que é altamente capitalizada, sendo que dispõem de sofisticados implementos e insumos agrícolas para produção principalmente de soja, que em muitos casos substituiu o gado. Ainda é possível observar bosques de Eucaliptos voltados para a comercialização de madeira, porém ocupam uma pequena parcela da propriedade.

A criação de gado pode ser considerada uma tradição nas Fazendas e nas Estâncias que estão inseridas nessa unidade, quando realizamos uma análise na classificação das imagens orbitais, podemos notar grandes áreas com campo e pequenos capões de mato, essa observação pode ser confirmada através dos trabalhos de campo, onde foi possível observar vastos campos com criações extensivas de bovinos e ovinos.

As suscetibilidades dessa unidade estão ligadas ao uso intenso do solo exaurindo seus nutrientes e gerando processos erosivos além da contaminação do solo e dos arroios por insumos agrícolas utilizados nas lavouras, outro problema observado e a retirada de capões de mato para o aumento da área plantada.

7.1.3.2 Unidade dos Assentamentos

Na unidade dos assentamentos as características naturais são as mesmas da *Unidade Pampeiro*. A estrutura fundiária é a característica que agrega condições peculiares a essa unidade. Segundo Aguiar (2011), os lotes variam de 30 a 40 hectares (1 a 2 módulos rurais) e localizam-se nas áreas rurais dos municípios de Santana do Livramento e Rosário do Sul.

A produção nos assentamentos é semelhante as das grandes propriedades, estando baseada na produção de soja e na criação de gado, porém com menos tecnologia e recursos financeiros. Uma das potencialidades observada nessa unidade é a parceria entre os agricultores, Aguiar (2011) descreve que devido aos reduzidos tamanhos dos lotes, os agricultores formam parcerias informais e dedicam um lote inteiro a uma cultura, no caso a soja. Os implementos agrícolas como colheitadeiras e tratores, necessários para a execução dos trabalhos na lavoura, são alugados ou utilizados de forma comunitária, sendo assim em geral não pertencem ao produtor.

A criação de gado também é muito comum nessa unidade, os agricultores dedicados a essa atividade tem rebanhos principalmente de bovinos, com um número não muito elevado de animais (50 a 100 animais) desenvolvem uma criação extensiva nos lotes. Segundo Aguiar (2011) os bovinos criados nos

assentamentos não apresentam um raça definida e são comercializados em leilões, direto com frigoríficos ou ainda com atravessadores.

7.1.4 Sistema Palomas

O Sistema Palomas localiza-se na porção centro-oeste da BHRIA, ocupando uma faixa com orientação Norte-Sul, estendendo-se das proximidades da área urbana de Rosário sul até a cidade de Santana do Livramento.

Uma das principais características desse *Sistema* é a presença de morros e morrotes isolados (Figura 65), que indicam o recuo do planalto da Campanha, apresentam camadas mantenedoras compostas de arenitos cimentados com óxido de ferro ou sílica; ou ainda com camadas de rochas vulcânicas no topo. Muitos morros e morrotes de topo vulcânico foram utilizados como áreas de empréstimo para a construção das rodovias que cortam a BHRIA. Nos morros e morrotes isolados é comum a ocorrência de afloramentos de rochas e solos rasos. Nas encostas dos morros e morrotes com orientação para o Sul desenvolve-se vegetação arbórea arbustiva.



Figura 65: Imagem típica observada no *Sistema Palomas*, é possível observar elevações isoladas em meio a colinas. (Fonte: autor, fevereiro 2014)

Outra forma de relevo que compõem esse *Sistema* são as colinas podendo ser fortemente ou suavemente onduladas, os solos são profundos e com teores de argila característicos de Argissolos, segundo apontam ensaios granulométricos realizados em laboratório.

A estrutura fundiária é composta de grandes propriedades onde os usos do solo estão ligados ao cultivo da soja e a criação de gado.

A vulnerabilidade desse *Sistema* está ligada a: processos erosivos (ravinas, voçorocas e erosão de margem de rios e arroios) ocasionados por técnicas agrícolas incompatíveis ou grande densidade de animais nos campos; outra vulnerabilidade relacionada ao desenvolvimento de lavouras nesse *Sistema* é a perda de biodiversidade, no momentos que o campo natural é substituído pela lavouras os representantes endêmicos da fauna e flora sofrem grandes prejuízos, pois são obrigados a migrar ou a sucumbir para serem substituídos pelas lavouras.

Uma potencialidade observada nesse *Sistema* pode estar ligada ao geoturismo¹ pois os morros e morrotes isolados servem de mirantes e proporcionam uma visão inigualável do ambiente, que pode ser apreciada tanto por pesquisadores das geociências como por turistas.

7.1.5 Sistema Caverá

O *Sistema Caverá* localiza-se no oeste da BHRIA, é representado pelo rebordo do planalto da campanha, onde as escarpas e as associações de morros e morrotes são feições geomorfológicas típicas. Quanto as litologias encontradas podemos observar intercalações de rochas e de arenitos de origem eólica (Fm. Botucatu).

Os solos nesse *Sistema* são em geral pouco profundos principalmente onde o substrato litológico é composto de rochas vulcânicas com estruturas horizontalizadas, essa característica mantém-se até mesmo nas porções em que o relevo é composto pelas colinas (Figura 66), com essas características o uso

¹ O Geoturismo é um segmento do turismo que tem sido praticado nos últimos anos e está baseado no deslocamento de pessoas para a visitação de feições geológicas e geomorfológicas.

do solo limita-se a criação de gado em grandes áreas e de forma extensiva, que ocupam as encostas escarpadas e as colinas.



Figura 66: Solos rasos nas colinas encontradas no Sistema Caverá, na imagem é possível visualizar blocos e afloramentos de rocha. (Fonte: autor, fevereiro de 2014)

A estrutura fundiária nesse *Sistema* está ligada a grandes propriedades que tem sua matriz econômica baseada na criação de gado. Isso reflete em uma importante vulnerabilidade, a partir do momento em que áreas com floresta são retiradas e substituídas por campo.

7.1.6 Sistema Upacaraí

O *Sistema Upacaraí*, localiza-se na porção sudeste da BHRIA, está inserido em uma área em que as litologias são compostas de sedimentos marinhos, com isso, é comum encontrar afloramentos de rocha com veios de carbonato de cálcio (Figura 67). Os relevo nesse *Sistema* é formado de colinas com declividade média de 6%.



Figura 67: Rocha sedimentar cimentada com carbonato de cálcio, ainda é possível observar veios em que houve a concentração do carbonato. (Fonte: autor, setembro de 2014)

Os solos são escuros e compostos de argilas expansivas, que em períodos longos sem precipitação contraem-se e formam gretas de contração e ficam excessivamente enrijecidos, já em períodos de precipitação formam atoleiros e ficam altamente aderentes. Esses fatores prejudicam a agricultura pois é difícil de manejar o solo, em períodos de chuva o solo fica pegajoso e adere nos equipamentos agrícolas já em períodos de estiagem fica excessivamente resistente. Com o surgimento das técnicas de plantio direto o cultivo de lavouras ficou facilitado nesse Sistema, visto que não é mais necessário revolver o solo para o plantio.

A vegetação natural desse Sistema é composta principalmente de gramíneas, espécies arbóreas arbustivas limitam-se as matas de galeria e a raros capões de mato no topo das colinas. A vulnerabilidade desse Sistema está ligada a perda da biodiversidade, uma vez que com o avanço das lavouras espécies florísticas são substituídas por espécies exóticas, com isso há quebra da cadeia alimentar e os representantes da fauna são obrigados a migrar. O uso de insumos também agrega problemas uma vez que polui a água e o solo.

8 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

A elaboração do zoneamento geoambiental, com base na definição de potencialidades e suscetibilidades delimitadas a partir de características homogêneas da área de estudo, é uma importante ferramenta para avaliação e compreensão das alterações ambientais. Dessa forma, foi elaborado um diagnóstico, no qual foram apresentadas características naturais e antrópicas da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada.

O relevo foi descrito com base em parâmetros morfométricos como a hipsométricos, declividade e a forma das encostas definidas pelo plano e perfil. A integração destes dados possibilitou um reconhecimento as formas de relevo e sua relação com processos atuantes na superfície.

A avaliação geomorfométrica mostrou-se uma boa ferramenta para a descrição do relevo, através de técnicas computacionais com apoio de SIG.

A identificação e descrição das litologias e dos solos permitiu definir áreas com diferentes suscetibilidades a processos de dinâmica superficial.

Os dados obtidos que contemplaram as características do meio natural, serviram como base para a definição de seis níveis geomorfológicos.

Os mapeamentos geomorfológicos podem ser considerados uma etapa indispensável nos estudos ambientais por apresentarem a base sobre a qual ocorrem os processos espaciais e a dinâmica de matéria e energia. É importante a ressaltar o fundamental papel das geotecnologias, que aderem precisão e dinâmica na obtenção dos resultados.

O uso e ocupação dos solos foi gerado através da classificação supervisionada de imagens de satélite com resolução de 30 metros, o resultado obtido foram seis classes que expressaram o uso do solo na BHRIA. Os diferentes períodos analisados, permitiram estabelecer uma comparação temporal e indicar as mudanças ocorridas.

O cruzamento das características do meio natural, determinadas pela análise geomorfológica, e o uso e a ocupação, que caracterizam a ação antrópica, possibilitou a distinção de seis Sistemas e duas unidades denominadas

Geoambientais, que vão compor um zoneamento que define potencialidades e vulnerabilidades da BHRIA.

A aplicação do Zoneamento Geoambiental para o planejamento e ordenamento territorial, tem como função auxiliar na delimitação de locais apropriados para diferentes usos. Esse estudo pode auxiliar trabalhos técnicos, uma vez que disponibiliza informações necessárias a laudos e caracterizações ambientais. O conhecimento ordenado e sistemático da dinâmica ambiental se mostra indispensável, a fim de sugerir alternativas que tenham o foco na recuperação e preservação dos componentes naturais que constituem a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí da Armada.

Além disso, o Zoneamento Geoambiental pode servir como um auxílio na educação básica dos municípios que ocupam a BHRIA, pois apresenta mapas, gráficos, quadros e tabelas que descrevem as condições naturais e antrópicas da bacia hidrográfica e podem auxiliar no ensino da geografia.

Com a elaboração desse tipo de pesquisa surge a possibilidade de aproximar a sociedade e o meio acadêmico, visando contemplar o interesse de ambos. Dessa forma os zoneamentos geoambientais podem resultar em produtos que servem para fins científicos, didáticos e de planejamento em entidades públicas e privadas, servindo como solução e respostas para muitos problemas.

As recomendações deixadas após o término dessa pesquisa, estão relacionadas a elaboração de outros zoneamentos geoambientais nas sub-bacias que compõem a BHRIA, são áreas pouco contempladas com trabalhos relacionados a temática ambiental. A execução de trabalhos com tema geoambiental nas sub-bacias permite a obtenção de informações mais detalhadas, visto que as áreas a serem avaliadas são bem menores.

9 REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas**. São Paulo: AteliêEditorial, 2003. 159f.

AGUIAR, J. S. V. Uso da terra, técnica e territorialidades: os assentamentos de Santana do Livramento/RS. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul-Programa de Pós Graduação em Geografia, Porto Alegre 2011. 255f.

BERTALANFFY, L. V. The theory of open systems in Physics and Biology. **British Journal of Philosophical Science**, vol. 1, 1950, pp 23-39.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo: IG-USP, n. 13, 1972, p. 1-27.

BARRELA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (ed). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: Editora da USP, 2001.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: UFSC, 2003. v. 3.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em Microbacias hidrográficas. In: GUERRA, A. J. T. et al. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

BOTELHO, R., G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia Hidrográfica e qualidade ambiental. In: GUERRA, A. J. T. e V., A. C. (Org). **Reflexões sobre a geografia física no Brasil** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 208 p.

BURROUGH, P. A. Principles of geographical information systems of land resources assesment. Francis e Taylor, 1986. 185p.

BRASIL. Lei N° 9.433. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**, 1998.

CARVALHO, J. A. R. Cartografia geotécnica e ambiental em Portugal. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CAMPOS, M. C. C.; CARDOZO, N. P.; MARQUES JÚNIOR, J. Modelos de paisagem e sua utilização em levantamentos pedológicos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.06, n.01, p.104-114, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de sistemas em geografia**. São Paulo: HUCITEC. Ed. da Universidade de São Paulo, 1979.

_____. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313 p.

_____. (org.). **Perspectivas da Geografia**. São Paulo, Difel, 1982.

_____. A contribuição e objeto da Geografia. **Revista de Geografia**. São Paulo, vol. 8, nº 15/16, p. 1-28, out., 1983.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgar Blücher Ltda., 1999.

_____. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: EdgardBlücher, 2002. 236 p.

CUNHA, S. B. I. Canais Fluviais e a Questão Ambiental. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 2. ed.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. de S. Mapeamento Geomorfológico da Bacia Hidrográfica do Miracatu, Oeste do Rio Grande do Sul. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia /Regional Conference on Geomorphology, 2006, Goiânia. **Anais...** 2006. p. 1-10.

DE NARDIN, D.; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul: um Estudo em Bacias Hidrográficas em Processo de Arenização. In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

FREITAS, M. W. D. de; CUNHA, S. B. Geossistemas e Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ. In: 5º Simpósio de Nacional de Geomorfologia e 1º Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, RS, 2004. **Anais...** Santa Maria, 2004.

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

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **A questão ambiental – Diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2003.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 4ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 652 p.

FIORI, A. P. Metodologias de Cartografia Geoambiental. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

GARCIA, A. M; MILDER, S. E.S. Convergências e divergências: aspectos das culturas indígenas Charrua e Minuano. **Revista de Antropologia**. Nº39, p 37-49. 2012

HANSEN, S.E. et al. Upper Mantle Low-Velocity Zone Structure beneath the Kaapvaal Craton from S-wave Receiver Functions. **Geophysical Journal International**, 2009

HERRMANN, M. L. de P. Compartimentação Geoambiental da Faixa Central do Litoral Catarinense. In: V Simpósio de Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul- Americano de Geomorfologia. Santa Maria: **Anais**, 2004.

HIGASHI, R. R. Caracterização de Unidades Geoambientais de São Francisco do Sul através de Sistema de Informações Geográficas. *In*: 5º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. São Carlos: **Anais**, 2004.

IPPOLITI, G. A. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “Mar de Morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.269-276, 2005.

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

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R, LEITÃO FILHO, H. F. (Ed) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2 ed. São Paulo: Editora da USP, 2000. p.33-43.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1996. Tese de Doutorado.

LORANDI, R. et al. **Zoneamento Geoambiental do Município de Cordeirópolis**. *In*: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental. Maringá: **Anais**, 2010.

McBRATNEY, A. B. et al. **On digital soil mapping**. *Geoderma*, v. 117, p. 3-52, 2003.

McKENZIE, N. J. et al. The role of terrain analysis in soil mapping. In Wilson, J.P.; Gallant, J.C. (Eds.), **Terrain Analysis-principles and applications**. Wiley, New York, p 245-265, 2000.

MELO, N.; LIMA FILHO, M. Avaliação Geoambiental do Município de Paulista - PE. *In*: 11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. Florianópolis: **Anais**, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistema: a história de uma procura**. São Paulo:Contexto, 2 ed. 2000. 127 p.

MOTA, S. **Preservação e conservação de Recursos Hídricos**. 2º ed. Rio de Janeiro: ABES 1995.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada ao estudo das relações solo-relevo**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009. 112p. (INPE-15796-TDI/1531). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia básica**. São Paulo: ed Edgard Blucher, 1976.

REGO NETO, C. B. SILVA FILHO, F. A. Caracterização Geoambiental de Áreas Potencialmente Ocupáveis como Zona Especial de Interesse Social no Maciço da Costeira do Pirajubaé - Florianópolis/Sc. *In: 7º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental*. Maringá: **Anais**, 2010.

SANTOS, L. J. C. *et al.* Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**. V 37 (4), 2007. p. 812 – 820.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficinas de textos, 2004.

SANTOS, S.L.M. *et al.* Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Igarapé Belmont Porto Velho-Rondônia. **Revista Brasileira de Geociências**. V.13, nº3, 2012. P 255-266.

SCHIRMER, G. J. **Mapeamentos Geoambientais dos municípios de Agudo, Dona Francisca, Faxinal do Soturno, Nova Palma e Pinhal Grande – RS**. Dissertação de mestrado. Santa Maria. PPGGEO-UFSM. 2012.

SCHIRMER, G. J; ROBAINA, L.E.S. Compartimentação de Unidades Geomorfológicas do Município de Agudo/RS. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. V 14, nº1, 2013. P 03-12.

SILVA, J.X. Geomorfologia, Análise Ambiental e Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. V 1, Nº1, 2000. P 48-58.

SILVEIRA, Claudinei Taborda da. Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais / **Tese (Doutorado)** – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. - Curitiba, 2010.

SOUZA, L. A., *et al.* Cartografia Geoambiental como Suporte ao Plano Diretor de Mariana, MG. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 11, 2005. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2005.

SOUZA, G. M. et al. Mapeamento da Cobertura da Terra da APA Petrópolis/RJ Utilizando Análise baseada em objeto no sistema interimage. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº64 4ªed 2012. Pag 517-530.

SOUSA JUNIOR, J.G.A.; DEMATTÊ, J.A.M. **Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.31, p.449-456, 2008.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of Geomorphology**. Geol. Soc.America Bulletin. 1952.

SUMMERFIELD, M.A. **Global Geomorphology an introduction to the study of landforms**. England: British Library Cataloguing in Publication Data, 1997. p. 535.

TEODORO, V. L. I., *et al.* O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **REVISTA UNIARA**, n. 20, 2007. p.137-157

TRENTIN, R. Mapeamento geomorfológico e caracterização geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Itu – Oeste do Rio Grande do Sul – Brasil. **Tese (doutorado)** Universidade Federal do Paraná – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Curitiba, 2011. 215f.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. S. Metodologia para Mapeamento para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 11, 2005. **Anais...** 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Fundação IBGE/SUPREN, 1977. 97 p. TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da ABRH:UDUSP, 1993.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.3, p.539-546, 2003.

VEDOVELLO, R. Aplicações da Cartografia Geoambiental. In: Simpósio brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5., 2004. **Anais...** São Carlos, 2004.

VICENTE; L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica. **Geografia**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1993. Tese de Livre Docência.