

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

**SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: UM
ESTUDO GEOMORFOLÓGICO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ MIRIM A
MONTANTE DA BARRAGEM DO DNOS, EM SANTA
MARIA/RS.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

LUCIANI VIEIRA DE VARGAS

**SANTA MARIA, RS, BRASIL
2015**

**SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: UM
ESTUDO GEOMORFOLÓGICO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO VACAÇÁÍ MIRIM A MONTANTE DA
BARRAGEM DO DNOS, EM SANTA MARIA/RS.**

por

LUCIANI VEIRA DE VARGAS

Dissertação de mestrado apresentado ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, Linha de Pesquisa: Meio ambiente, paisagem e qualidade ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Mestre em Geografia.**

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Sayão Penna e Souza

Santa Maria, RS, Brasil

2015

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

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

**SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: UM
ESTUDO GEOMORFOLÓGICO NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ MIRIM A MONTANTE DA
BARRAGEM DO DNOS, EM SANTA MARIA/RS**

Elaborada por
Luciani Vieira de Vargas

Como requisito para obtenção do grau de
Mestre em Geografia

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Bernardo Sayão Penna e Souza
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. André Weissheimer Borba
(Membro)

Prof^a. Dr^a Juliana de Paula Silva
(Membro)

Santa Maria/ RS, 11 de agosto de 2015.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo presente que é a vida.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela possibilidade de cursar uma pós-graduação em uma instituição pública e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a qual prestou auxílio financeiro a presente pesquisa, proporcionando a execução desta.

Agradeço à minha Família, que de forma incondicional esteve sempre presente me apoiando e permitindo que esse sonho enfim se tornasse real. Pai, mãe, irmã e minhas sobrinhas, amo vocês.

Agradeço a dedicação, compreensão e ensinamentos transmitidos pelo meu orientador Bernardo Sayão Penna e Souza, que além de mestre foi também um amigo nas horas de dificuldade.

Agradeço aos Professores que se dispuseram a compor a banca deste trabalho: Prof. Dr. André Weissheimer Borba, Prof.^a Dr.^a Juliana De Paula Silva e a Prof.^a Dr.^a Marilene Dias do Nascimento e novamente, ao meu orientador Prof. Bernardo. A vocês, toda a minha gratidão.

Agradeço a cada colega e amigo do curso de Geografia, pois como dizia Charles Chaplin: *“Cada pessoa que passa em nossa vida passa sozinha e não nos deixa só porque deixa um pouco de si e leva um pouquinho de nós”*.

Agradeço de forma muito especial ao Colégio Marista - Santa Maria. Sou imensamente grata pelo total apoio, respeito e compreensão na reta final da minha pós-graduação. Gratidão ao Turno Integral II, o qual renovou minha alma e coração de Professora.

Agradeço aos amigos da eterna turma 31. Sem vocês, animando meus finais de semana, certamente tudo seria mais difícil.

Agradeço imensamente àqueles que nunca me deixaram perder o rumo, pois acreditaram muitas vezes mais do que eu mesma, que no final tudo daria certo. Juliana e Rafael, simplesmente, muito obrigada.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que de uma forma ou de outra participaram de forma positiva na minha formação acadêmica.

Ao Universo, que sempre conspira a favor da paz e do amor,
Gratidão.

“Já ancorado na Antártida, ouvi ruídos que pareciam de fritura. Pensei: ‘será que até aqui existem chineses fritando pastéis?’ Eram cristais de água doce congelada, que faziam aquele som quando entravam em contato com a água salgada. O efeito visual era belíssimo. Pensei em fotografar, mas falei para mim mesmo: ‘Calma, você terá muito tempo para isso...’. Nos 367 dias que se seguiram, o fenômeno não se repetiu. Algumas oportunidades são únicas.”

Amyr Klink

RESUMO

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

SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA: UM ESTUDO GEOMORFOLÓGICO NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VACACAÍ MIRIM A MONTANTE DA BARRAGEM DO DNOS, EM SANTA MARIA/RS.

AUTORA: LUCIANI VIEIRA DE VARGAS
ORIENTADOR: BERNARDO SAYÃO PENNA E SOUZA
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 11 de agosto de 2015.

A ciência geomorfológica tem como objetivo, estudar e compreender as diversas formas do relevo, buscando entender a relação que se estabelece entre o passado e o presente da superfície terrestre com o ser humano, agente modificador do meio. No relevo terrestre, são as vertentes que demarcam, mesmo que de forma não tão visível, áreas impróprias para o uso e ocupação humana, pois se tratam de locais com risco natural de movimentos de massa. Dessa forma, se tais locais contarem com o agravante da ação antrópica, tanto para uso da terra como para a ocupação de moradias, os processos de movimentos de massa podem tornar-se efetivos, variando entre movimentos de massa lentos e/ou rápidos. Nesse sentido, o presente trabalho de pesquisa consiste de um estudo realizado na sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS, através do qual se buscou analisar e compreender fenômenos relacionados aos movimentos gravitacionais de massa que ocorreram no local de estudo. Para tal, foram mapeados fatores como a declividade do local, a hipsometria, a litologia e também os solos da área de estudo. De acordo com os presentes dados de mapeamento e os trabalhos de campo, evidenciaram-se episódios de movimentação do relevo, tais como rastejamento, quedas de blocos e também escorregamentos/deslizamentos de terra. A partir dos padrões de ocorrências de movimentos de massa observados em campo, foi diagnosticado o setor oeste da área de estudo, como sendo aquele onde ocorreu a maioria dos eventos de movimentação do relevo no período de estudo. Com base nos resultados obtidos constata-se que a declividade da área de estudo sofre considerável intensificação nos locais (setor oeste) onde ocorrem o uso e a ocupação antrópica, fato esse que potencializa os processos naturais de movimentos gravitacionais de massa.

Palavras-chave: Declividade; Geomorfologia; movimentos de massa; vertentes.

ABSTRACT

Master Thesis
Graduate Program in Geography
Universidade Federal de Santa Maria

SUSCETIBILTY TO MASS MOVEMENTS: A GEO-MORPHOLOGICAL STUDY IN THE HYDROGRAPHICAL SUB-BASIN OF VACACAÍ MIRIM RIVER CLOSE TO THE DNOS DAM IN SANTA MARIA/RS.

AUTHOR: LUCIANI VIEIRA DE VARGAS
ADVISOR: BERNARDO SAYÃO PENNA E SOUZA
Place and Date of Defense: Santa Maria, August 11, 2015.

The objective of geo-morphological science is to study and understand diverse forms of surfaces in order to grasp the relation that is established between past and present of terrestrial surfaces with human beings, who are modifying agents of the environment. Regarding terrestrial surfaces, slopes are considered markers, even if they are not very steep, which are improper for human dwellings and use since they posit risk of natural mass movements. Thus, if such places are under anthropologic activities, either in terms of agriculture or for human dwellings, the process of mass movements can take place from slow to fast ones. Therefore, the present research consists in a study carried out in the sub-basin of Vacacaí Mirim River close to the DNOS dam with the objective of analyzing and understanding phenomena related to mass gravitational movements that took place in the observed area. Factors such as declivity, hypsometry, lithology and kinds of soil were mapped. According to the mapped data and field studies, episodes of surface movement like very slow landslides, rock dislodgments and bigger landslides were observed. From the patterns of mass movements of occurrences observed in the field, was diagnosed the western sector of the study area, as that was where most of the relief drive event during the study period. Based on the results it appears that the slope of the study area suffers considerable intensification in local (western sector) which occur use and human occupation, a fact that enhances the natural processes of gravitational mass movements.

Key words: Declivity; geo-morphology; mass movement; slopes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	17
Figura 2: Composição do solo.....	29
Figura 3: Horizontes do solo.....	32
Figura 4: Horizontes do solo.....	33
Figura 5: Porções da vertente.....	35
Figura 6: Formas de vertentes e os seus respectivos escoamentos superficiais de água.....	36
Figura 7: Ação da gravidade em vertentes de diferente declives.....	45
Figura 8: Classificação dos processos de movimentos gravitacionais de massa de acordo com conteúdo e velocidade.....	46
Figura 9: Ação da força da gravidade em vertentes com declives diferentes.....	48
Figura 10: Classes dos movimentos gravitacionais de massa.....	52
Figura 11: Representação da vertente no triângulo retângulo pela correlação trigonométrica para calcular o ângulo de inclinação.....	55
Figura 12: Mapa de declividades da sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim.....	80
Figura 13: Área de possível queda de blocos ao norte da sub-bacia.....	83
Figura 14: Mapa de Hipsometria da sub-bacia do rio Vacacaí-Mirim.....	85
Figura 15: Mapa de Litologias da sub-bacia do rio Vacacaí-Mirim.....	92
Figura 16: Mapa de solos da sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim.....	97
Figura 17: Queda de pequenos blocos.....	99
Figura 18: Cicatriz de movimentação lenta do relevo.....	100
Figura 19: Cultivo de uvas.....	101
Figura 20: Lavouras em áreas planas.....	102
Figura 21: Vista de dentro uma das propriedades da área.....	102
Figura 22: Mapa de uso do solo.....	103
Figura 23: Habitação próxima a vertente.....	105
Figura 24: Lavoura próxima as áreas de habitações.....	105
Figura 25: Área desmatada próximo ao topo da vertente.....	105
Figura 26: Torre de transmissão de energia.....	107
Figura 27: Movimento de massa do tipo escorregamento circular ou rotacional, próximo a torre de transmissão de energia.....	108
Figura 28: Movimento de massa do tipo escorregamento circular ou rotacional, próximo a torre de transmissão de energia.....	108
Figura 29: Local acima da antena, com indícios de movimentos de massa lentos.....	109
Figura 30: Movimento de massa, próximo a torre de transmissão de energia.....	110
Figura 31: Construção atingida por movimento de massa, do tipo fluxo de terra.....	111
Figura 32: Local de movimento de massa.....	112
Figura 33: Movimento de massa.....	112

Figura 34: Sentido do movimento de massa.....	113
Figura 35: Local de ruptura do solo.....	114
Figura 36: Horizonte R exposto, junta de fraturamento.....	115
Figura 37: Mapa final.....	117
Figura 38: Reportagem do Diário de Santa Maria, do dia 01 de julho de 2014.....	120
Figura 39: Reportagem do jornal Alegrete Tudo, do dia 3 de julho de 2014.....	122
Figura 40: Queda de blocos.....	123
Figura 41: Estrada bloqueada.....	123

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
OBJETIVOS	18
APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	19
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
1.1 Geografia e a Natureza da Geomorfologia	21
1.2 Solos	27
1.2.1 Formação e classificação dos solos.....	30
1.3 Vertentes	34
1.3.1 Perfis de vertente.....	38
1.4 Substrato rochoso e a ação do intemperismo	40
1.5 Movimentos Gravitacionais de Massa	43
1.5.1 Mecânica e classes do movimento gravitacionais de massa.....	46
1.6 Declividade	52
1.7 Paisagem	55
1.8 Antropogeomorfologia: o homem como agente modificador	61
2 METODOLOGIA	67
2. 1 Os quatro níveis de pesquisa geográfica	67
2.1.1 O Nível Compilatório.....	68
2.1.2 O Nível Correlatório.....	68
2.1.3 O Nível Semântico.....	68
2.1.4 O Nível Normativo.....	69
2.2 Níveis de abordagem em Geomorfologia	69
2.3 Procedimentos Técnicos	70
3 RESULTADOS	70
3.1 Condicionantes à ocupação: zona não adequada	70
3.1.2 Depósitos Coluvionários.....	73
3.1.3 Diabásio Serra Geral.....	74
3.1.4 Basaltos Serra Geral.....	74
3.1.4.1 Comportamento hidrogeológico.....	75
3.1.5 Arenito Botucatu.....	76
3.1.5.1 Comportamento hidrológico.....	76
3.1.5.2 Propriedades geotécnicas.....	77
3.1.6 Riólito Serra Geral.....	77
3.1.6.1 Solo.....	78
3.1.6.2 Comportamento hidrogeológico.....	78
3.1.6.3 Propriedades Geotécnicas.....	78
3.2 Distribuição das declividades da área em estudo	79
3.3 A hipsometria da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim	83
3.4 A litologia da área de estudo	86
3.4.1 Formação Caturrita.....	86
3.4.2 Formação Arenito Botucatu.....	87
3.4.3 Formação Serra Geral Inferior e Superior.....	88
3.4.3.1 Riólito Serra Geral.....	89

3.4.3.2 Basalto e Diabásio Serra Geral.....	90
3.5 Solos da região de estudo.....	96
3.5.1 Alissolos.....	94
3.5.2 Neossolo Litólicos.....	94
3.5.3 Argissolo.....	95
3.6 Caracterização e ocupação da área de estudo através de trabalhos de campo.....	98
3.7 Evidências de movimentos de massa.....	106
3.8 Ocorrência de movimentos de gravitacionais massa.....	115
3.9 Reportagens sobre os deslizamentos de terra, na região de estudo.....	119
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
5 BIBLIOGRAFIA.....	128

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista das Ciências Ambientais, a mudança global é passível de ser entendida como uma modificação antropogênica, visto que o homem ao fazer uso dos sistemas ambientais (o relevo, por exemplo) os modifica em prol de suas necessidades e do seu bem-estar. As mudanças antropogênicas geram alterações no meio, fazendo com que sejam necessários estudos geocientíficos¹ para a compreensão do meio ambiente, bem como a determinação dos impactos sofridos pela superfície terrestre devido ao uso e ocupação humana.

Segundo Guimarães (2000) atualmente os desastres naturais constituem um dos grandes problemas socioeconômicos do mundo, sendo que os fenômenos que mais se destacam são os terremotos, as inundações e os movimentos de massa. No Brasil, os episódios de movimentos gravitacionais de massa, quando ocorridos em áreas de elevada concentração populacional, são considerados desastres naturais, visto que podem causar prejuízos socioeconômicos e também vítimas fatais.

A ocorrência dos movimentos de massa se dá devido a diferentes razões, entre elas, as condições naturais às quais o meio está condicionado, facilitando assim, a deflagração dos processos de movimentação de massa. São as diferentes formas e origens do relevo que caracterizam os principais fatores que desencadeiam acontecimentos de movimentos de massa, sendo que cada uma das diferentes formas do relevo terrestre possui uma origem distinta.

Em razão das diversas formas e origens do relevo terrestre é que se possui a existência de classificações quanto aos diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa, tais como, segundo Christopherson (2012) os rastejamentos, os escorregamentos – podendo estes ser rotacionais ou translacionais, as queda de blocos, a solifluxão, o fluxo de terra ou de lama e a avalanche. Assim, a classificação desses movimentos é baseada nas formas e processos de origem do relevo, bem como o tempo gasto para acontecer este fenômeno natural.

¹ Estudos referentes às ciências da Terra, tais como a geologia, a geomorfologia e a pedologia.

Segundo Small e Clark (1982) são os processos de movimentos de massa que têm um impacto direto no uso da terra, podendo em casos extremos, constituir riscos à vida humana e às construções. No entanto, a atividade antropogênica assola o ambiente de forma tão intensa quanto um trágico evento de movimento de massa, visto que o homem retira a cobertura vegetal e faz cortes de vertentes desestabilizando as áreas de uso e ocupação humana. Assim, quanto maior a pressão demográfica das grandes cidades sob o ambiente, ou até mesmo das urbanizações mais simples, maior a intensificação dos riscos considerados naturais do ambiente, ou seja, a ação antropogênica é potencializadora da dinâmica natural das vertentes.

Quanto às atividades antrópicas, um dos fatores mais preocupantes consiste das ocupações irregulares nas áreas de vertentes, visto que são realizados cortes e desmatamentos buscando estabilizar locais para a instalação de moradias e demais ocupações necessárias ao homem. São essas atividades, realizadas de forma desordenada, que propiciam uma maior suscetibilidade à ocorrência dos movimentos de massa.

Sobre isso, Guerra, (2008) adverte que o impacto antropogênico sobre as vertentes naturais representa um dos principais fatores de influência sobre os processos, as formas e a evolução destas, visto que a atuação e as atividades do homem interveem de modo a alterar o ambiente do qual, tal faz uso para sua sobrevivência. No entanto a maneira com que o homem conduz os fatos corriqueiros do dia-a-dia é que determina a evolução da paisagem local, fazendo com que áreas de dinâmica propícia a movimentos gravitacionais de massa lentos, fenômenos naturais do ambiente, possam sofrer mudanças em sua estabilidade a ponto de desencadear movimentos gravitacionais de massa rápidos, como por exemplo, os deslizamentos de terra.

Sobre essas mudanças repentinas no meio em que o homem desenvolve suas atividades, Mitchell (1995) ressalta que:

as mudanças na urbanização global e as perdas causadas sugerem que devemos nos concentrar mais em pesquisas relacionadas aos movimentos de massa urbanos [os quais ocorrem, além da ação da gravidade, devido ao uso e ocupação irregular em áreas de declividades acentuadas], no sentido de conhecer melhor o problema e conseguir atuar preventivamente.

A ocupação desordenada e acelerada reunida a elementos naturais como vertentes íngremes e chuvas concentradas pode ser, entre outros, os fatores determinantes para eventos catastróficos e/ou de grande intensidade relativos aos movimentos gravitacionais de massa. Esses eventos incluem deslizamentos de terra, enchentes, corridas de lama e queda de blocos, os quais podem se tratar de movimentos rápidos, em que os materiais se comportam como fluídos altamente viscosos, ou movimentos rápidos, mas de curta duração. Podem ocorrer também, movimentos rápidos de bloco e/ou de rocha, que caem pela ação da gravidade, ou aqueles movimentos extremamente lentos, por vezes quase imperceptíveis, chamados de rastejamento, evidenciado pela inclinação de troncos na vegetação ou ainda postes, cercas ou muros.

Os movimentos de massa se dão, entre outros fatores, pela formação geológica, concentração de água superficial, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas no interior dos materiais (solo ou rocha) e a ação da gravidade. Referente a isso, Guerra (2011, p. 26) diz que:

nos movimentos de massa ocorre um movimento coletivo de solo e/ou rocha [podendo ser corridas ou escorregamentos, os quais tratam-se de movimentos rápidos, devido a grande concentração de água superficial em áreas com declividades acentuadas], em que a gravidade/declividade possui um papel significativo. A água pode tornar o processo ainda mais catastrófico, mas não é necessariamente o principal agente desse processo geomorfológico.

No entanto salienta-se que a água é o principal agente modelador e modificador da paisagem, a qual assume diferentes estados e trajetórias ao longo de seu ciclo. Botelho (2002) explica que a entrada da água nos sistemas terrestres, abrangendo a biosfera, a litosfera, a pedosfera² e a própria hidrosfera, na forma de precipitação, desencadeia uma série de processos e possíveis trajetórias, que não depende somente das características de precipitação, mas também e, sobretudo dos atributos e condições das diferentes esferas por onde ela irá circular.

A água ao atingir a superfície pode assumir diferentes caminhos, podendo, por exemplo, ser interceptada pela copa das árvores e assim evaporada para a

² Camada mais externa da Terra, a qual é composta do solo e onde ocorrem os processos de formação de solo.

atmosfera, ou ainda escoar ou ser armazenada em camadas do solo (camadas orgânicas ou no substrato rochoso). Muitos são os caminhos que a água pode percorrer, no entanto em áreas urbanas essa diversidade de caminhos fica restrita ao escoamento e à infiltração, com maior predominância do primeiro processo. Tal restrição se dá em virtude da impermeabilização do solo, devido à construção de pavimentação de ruas e calçadas, o que faz com que as águas das chuvas sejam escoadas diretamente para a rede de esgoto, a qual é destinada a captação destas, não permitindo que a infiltração da água ocorra.

Assim, a água e seus diferentes processos de intervenções modificam e modelam a superfície terrestre, juntamente com demais fenômenos naturais que ocorrem ao longo da evolução do relevo, o qual é composto por diferentes feições geomorfológicas (montanhas, vales, planaltos, planícies, etc.) que compõem as distintas paisagens da superfície terrestre.

A respeito disso, Puntel (2012, p. 23) comenta que:

há uma tendência muito forte de se pensar a paisagem a partir do que se está vendo e, automaticamente, descrever o que a visão alcança, sem fazer relação entre os elementos que compõem a paisagem. O que se observa, em um dado momento, é resultado de uma inter-relação de vários elementos que determinam a existência de uma ou de outra paisagem.

Dentre outros elementos do relevo as vertentes declivosas demarcam, em consequência de suas declividades, áreas impróprias para o uso e ocupação humana, visto que o limite máximo para estes fica restrito aos 30% de inclinação por se tratarem de locais com certo risco natural de movimentação gravitacional de massa. Assim, se tais locais contarem com o agravante da ação antrópica, sem que haja um planejamento adequado, tanto para uso da terra, bem como ocupação para moradias, os processos de movimentos de massa podem tornar-se efetivos, variando entre movimentos lentos e/ou rápidos.

As vertentes sofrem contínuas variações, representadas pelas mudanças no que dizem respeito à sua forma. Sobre isso (IPT, 1991) determina as seguintes causas para tais alterações: a remoção da vegetação da vertente; a elevada

concentração de águas pluviais e águas servidas³ descartadas diretamente na vertente e a exposição e ocupação de terras susceptíveis à erosão. No entanto o estudo da instabilidade das vertentes, bem como de seu equilíbrio é ainda sinônimo de problema para a Geomorfologia, pois não há como determinar com exatidão o grau de irregularidade dessas superfícies. Assim, faz-se necessário analisar os tipos de paisagens que compõem as vertentes visando compreender o comportamento retrógrado do relevo.

Segundo Penteado (1983, p. 99) “o relevo se constitui de uma grande variedade de tipos de vertentes, desde superfícies retilíneas quase verticais, os penhascos, até vertentes tão suavemente inclinadas que quase se aproximam da horizontalidade”. A predominância de áreas de vertentes sob a superfície terrestre fundamenta inúmeros casos de instabilidade potencial no que se refere aos processos de movimentos de massa, dado que as ocupações tornam-se recorrentes nessas áreas. A instabilidade de uma vertente pode ser acelerada em razão da ação da sociedade no seu processo de ocupação e exploração do local, ou seja, a instabilidade das vertentes é um processo natural aonde o homem vem através de sua ação alterando a dinâmica natural do sistema.

No presente trabalho de pesquisa foi realizada uma investigação na sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS⁴, acerca da intensa ocupação em áreas de declives fortemente acentuados e como estas áreas se comportam frente às alterações causadas pelo homem.

Na área de estudo (figura 1) observou-se, através dos trabalhos de campo⁵, que os usos da terra, como ocupações para moradia e lavouras abrangem grande parte da área da sub-bacia, incluindo áreas de declividades acentuadas, fazendo com que os processos de movimentos de massa tornem-se potencialmente ainda mais intensos, visto que são agravados pela ação antrópica, a qual no caso da sub-

³ Águas provenientes da totalidade do esgoto doméstico ou comercial.

⁴ Departamento Nacional de Obras de Saneamento.

⁵ Os trabalhos de campo na área de estudo realizaram-se não só para a presente pesquisa, mas em oportunidades anteriores onde foram verificadas potencialidades à movimentos de massa, devido as acentuadas declividades e ocupações em áreas de vertentes. Em outras pesquisas foram analisados fatores como erosão, voçorocamento, deslizamento, etc.

bacia do rio Vacacaí-Mirim, vem afetando de forma direta a dinâmica das vertentes da área.

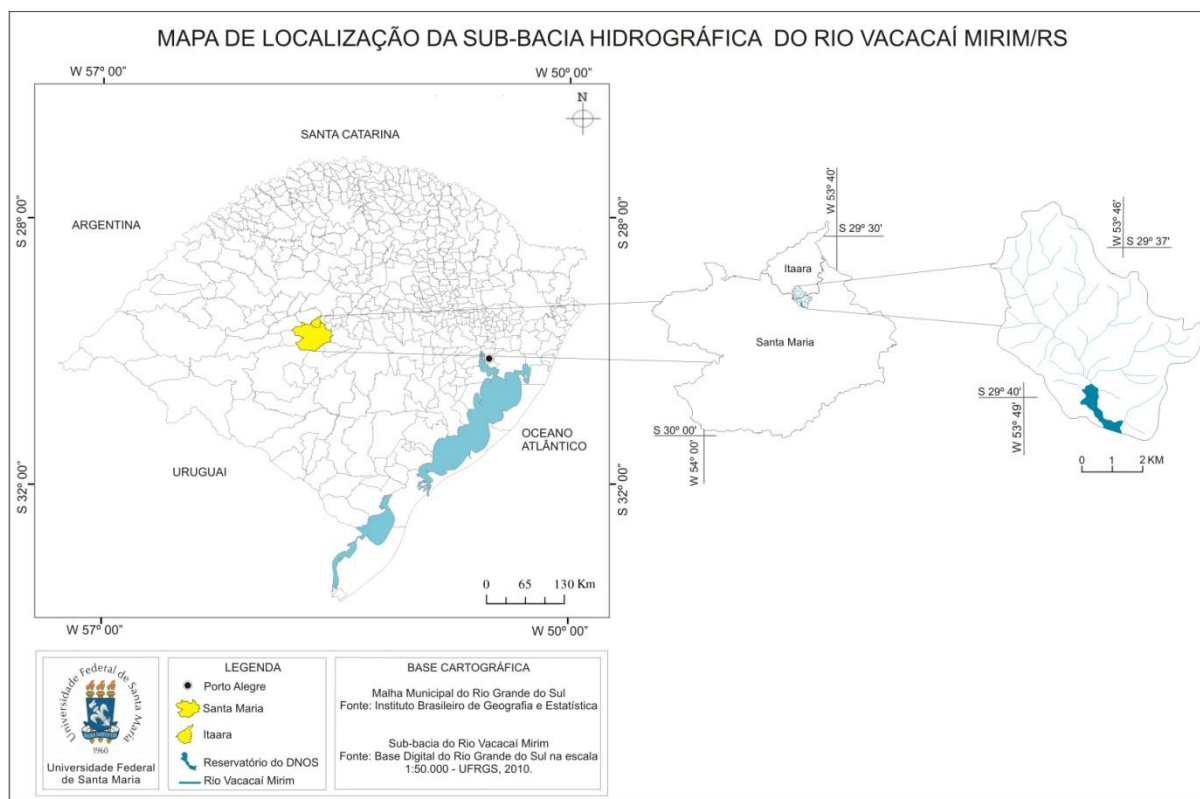


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo, e sua situação no estado do Rio Grande do Sul. Org. Vargas, L.

As indagações e interesse pelo local de pesquisa se deram devido à geomorfologia da área de estudo e aos processos geomorfológicos nela identificados, visto que a área é composta por um relevo que abrange porcentagens distintas de declividade e elevada altimetria. A população local ocupa áreas de vertentes e de acentuada declividade, o que gera problemas perceptíveis no local, tais como a degradação ambiental, caracterizada pela retirada de vegetação, corte irregular da vertente e descarte indevido de lixo e água servida. Assim, as características e episódios supracitados foram fundamentais para a escolha do tema de pesquisa.

OBJETIVOS

A presente dissertação teve como objetivo geral:

- Verificar e analisar a ocorrência pretérita de movimentos gravitacionais de massa lentos ou rápidos, na sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS.

Como objetivos específicos:

- Caracterizar fisicamente a área de estudo gerando mapas de declividade, de hipsometria, de litologia e de solos da área de estudo;
- Identificar as áreas com ocorrência de movimentos gravitacionais de massa;
- Inferir e diagnosticar a partir dos trabalhos de campo e análise dos mapas, as áreas com episódios de movimentação de massas de maior magnitude.

APRESENTAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, a sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim a montante da barragem do DNOS, localiza-se na região central do estado do Rio Grande do Sul, tendo como coordenadas geográficas 29,37° e 29,40° de latitude sul e 53,46° e 53,49° de longitude oeste de Greenwich.

Para Ferreira; Filho, (2009, p. 23) a área da sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí Mirim ocupa áreas de Planalto e da Depressão Central no estado do Rio Grande do Sul. A área pode ser dividida em três grandes compartimentos geomorfológicos com características morfológicas e geológicas distintas:

1) Região do Planalto: A zona das nascentes localizada na denominada região do planalto, é formado pelo vulcanismo da Bacia do Paraná, ocorrido no Mesozóico, com a presença de Basaltos, arenitos “intertraps”. A região é caracterizada pela presença de um relevo ondulado e suavemente ondulado, resultante do trabalho de dissecação fluvial na superfície do planalto. A drenagem tem padrão dendrítico, com vales em V ou de fundo plano.

2) Rebordo do Planalto: É uma área de transição entre o Planalto e a Depressão Central, caracterizada por escarpas abruptas. A drenagem flui no sentido da Depressão Central e é caracterizada por um padrão dendrítico com presença marcante dos vales em V, que por erosão regressiva provocam o festonamento da escarpa.

3) Depressão Central: É constituída por rochas sedimentares da bacia do Paraná que datam do Paleozóico e Mesozóico (Triássico), encobertos localmente por sedimentos cenozóicos e também quaternários (planícies aluviais). Destaca-se na região uma topografia mais ou menos plana e suavemente ondulada com morros de forma arredondada.

Para (SEPLAN, 1986) quanto à vegetação da região identificam-se basicamente formações florestais – Floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifólias, encontradas no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo formações montanas e submontanas; formações campestres - campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais

correspondentes às matas de galeria e vegetação ribeirinha. A vegetação da área de Planalto e do Rebordo do Planalto é constituída, predominantemente, de floresta do tipo subtropical e na Depressão Central ou Periférica de campos de pastagem natural. Em meio aos campos, é comum a presença de capões isolados de mata de pequeno e grande porte.

O clima, na área da bacia hidrográfica, pela classificação climática de Köppen⁶, é do tipo clima temperado úmido com verão quente (Cfa), subtropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano e os solos predominantes, de acordo com o atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Embrapa) são, na Região do Planalto os Argissolos vermelho-amarelos Alumínicos, em alguns locais associados aos Neossolos Litólicos, Eutróficos; na Região do Rebordo do Planalto os Neossolos Litólicos, ocorrendo também Chernossolos Argilúvicos e; na Depressão Central, os Planossolos e os Chernossolos Argilúvicos (Casagrande, 2004).

De acordo com os mapeamentos realizados para a seguinte pesquisa destaca-se que os solos classificados como neossolos litólicos, acompanham a planície de inundação da sub-bacia, concentrando na área central da mesma. Quanto aos neossolos, destaca-se sua distribuição por grande parte da área de estudo, não sendo recorrente de um único local. Referente a litologia da área de estudo, foram identificados quatro formações, as quais são: Riolito Serra Geral, Basalto e Diabásio Serra Geral, Arenito Botucatu e Formação Caturrita.

Quanto a sua hipsometria, a área de estudo encontra-se em altimetrias de até 460 metros de altura, limites esses presentes ao norte da sub-bacia, local no qual se verificou a ocorrência de movimentos de massa do tipo quedas de bloco. Já as áreas de declividades mais baixas encontram-se distribuídas por grande parte da área de estudo, geralmente em até 30% de declividade, limite tolerável para uso e ocupação humana.

⁶ Sistema de classificação global dos tipos climáticos utilizado em geografia, climatologia e em ecologia.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Geografia e a Natureza da Geomorfologia

A superfície do planeta não é plana nem mesmo uniforme em toda a sua extensão. O relevo terrestre é caracterizado por elevações e depressões de diferentes formas (horizontais ou tabulares, convexas, côncavas, angulares e escarpadas) o que constitui assim, as atuais formas da superfície do planeta.

A Geomorfologia é a ciência que estuda as formas de relevo, sua gênese, composição (materiais) e os processos que nelas atuam. O relevo da superfície terrestre é o resultado da interação da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, ou seja, dos processos de troca de energia e matéria que se desenvolvem nessa interface, no tempo e no espaço. No espaço, o relevo varia da escala planetária (continentes e oceanos) à continental (cadeias de montanhas, planaltos, depressões e grandes planícies) e à local (escarpas, morros, colinas, terraços, pequenas planícies etc.) No tempo, sua formação varia da escala geológica àquela do homem. (FLORENZANO 2008, p. 11)

Assim, a Geomorfologia é a ciência das formas do relevo, a qual busca compreender a sua origem, evolução, forma e distribuição espacial. Para Torres *et al* (2012) a ciência geomorfológica busca compreender os processos pretéritos e atuais que atuam na superfície do planeta, ou seja, a análise geomorfológica de uma determinada área implica no conhecimento da evolução que o relevo apresenta o que é possível se obter através do estudo das formas e das sucessivas deposições de materiais preservados, resultantes dos diferentes processos morfogenéticos a que o relevo foi submetido.

Segundo Casseti (1994) o objeto de estudo da geomorfologia é a superfície da crosta terrestre, a qual tem uma forma específica de análise ao que se refere ao relevo. Essa análise incorpora o necessário conhecimento do jogo de forças antagônicas, sistematizadas pelas atividades tectogênicas⁷ (endógenas) e

⁷ Referente aos movimentos tectônicos da crosta terrestre.

mecanismos morfoclimáticos (exógenos), responsáveis pelas formas resultantes presentes na superfície do planeta.

Sobre o objeto de estudo da ciência geomorfológica, Penteado (1983, p. 1) salienta que “etimologicamente, a Geomorfologia é a ciência que se ocupa do estudo das formas da Terra”, a qual é constituída do conhecimento específico e sistematizado do relevo, tendo por objetivo analisar as suas formas. Florenzano (2008) ressalta que a ciência geomorfológica surge, em voga, no final do século XIX, derivando de algumas disciplinas que estudavam e buscavam descrever a superfície da Terra, como por exemplo, a orografia e fisiografia, as quais, respectivamente, abordavam as nuances do relevo e a descrição e estudo de fenômenos naturais.

A Geomorfologia constitui-se de uma ciência que analisa tanto o passado quanto o presente do relevo, visto que a superfície terrestre encontra-se em constante evolução, a qual só ocorre devido a fatores endógenos e exógenos que atuam ao longo do tempo na superfície da Terra, bem como os processos antropogênicos.

Assim, a análise e compreensão de determinada área de estudo, implica no conhecimento da evolução do relevo do local, o qual nem sempre foi o mesmo. Sobre isso, Casseti (1994) afirma que:

para entender o relevo na sua atualidade e até mesmo tratá-lo numa abordagem dialética, torna-se imprescindível compreender seu processo evolutivo, julgando-se necessário tratar os diferentes momentos epistemológicos que contribuíram para a sistematização do conhecimento geomorfológico.

Quanto a evolução da ciência, Florenzano (2008) explica que a Geomorfologia Dinâmica surge em 1920 na França e na Alemanha com a então noção de Geomorfologia Climática, a qual foi fundida aos conceitos da Geomorfologia Estrutural, que diz respeito à compreensão das unidades estruturais do globo, bem como sua formação e evolução.

A Geomorfologia é uma das ciências da Terra, que se assemelha a tantas outras que buscam entender a superfície do Planeta. É uma ciência que tem princípios básicos, leis gerais e objeto próprio, tendo métodos e técnicas específicas.

Assim sendo, Florenzano (2008) explica que a ciência geomorfológica tem

como princípios fundamentais a causalidade, como explicação; a extensão como correlação, bem como a localização do fenômeno. Dessa forma, tais princípios permitem descrever, classificar e explicar os fenômenos terrestres.

O relevo terrestre constitui um espaço submetido a modificações constantes, as quais ocorrem devido a diversas e diferentes forças naturais e antrópicas. Nesse sentido Orellana (1981, p. 11) diz que o relevo terrestre é um componente, ou seja, é uma das variáveis do geossistema, o qual é definido como sendo um conjunto de variáveis físico-naturais-biológicas afetadas ou não pelos ambientes social, econômico e técnico, os quais estão interligados por fluxos de energia e matéria que comandam as relações entre elas. Para a autora, seriam então, as relações no tempo e no espaço que definiriam o geossistema.

Sendo assim, para Penteado (1983, p. 2) o campo de estudo geomorfológico é, pois uma superfície de contato, que une a parte sólida do globo: a litosfera, com os seus invólucros⁸: líquido e gasoso. A ciência geomorfológica surge da necessidade das ciências conexas, ou seja, do estudo de fenômenos de diferentes naturezas. Florenzano (2008) salienta que a geomorfologia é uma ciência de cunho de ligação, pois é dita analítica e sintética, visto que esta tem um contato estreito com outras ciências que abordam as formas e fenômenos da superfície terrestre.

A respeito disso, Penteado (1983, p. 2) explica que:

como todas as superfícies de contato, a superfície da litosfera é o reflexo de um equilíbrio móvel entre forças de naturezas diferentes. Essas forças têm sua origem no interior da Terra: processos endógenos, e no exterior, processos exógenos, referentes à atmosfera-hidrosfera e biosfera. Esse campo é dinâmico porque as forças agem e reagem, gerando um sistema de interferências.

Segundo Massey, (2009) “o espaço geográfico é aberto e interacional, por isso está em permanente evolução (totalização)”. Tal totalidade é para Camargo (2012, p. 31), “um fenômeno que decorre da junção de variáveis no espaço-tempo”, ou seja, o relevo encontra-se desde sua gênese, em constante evolução e assim sucessivamente ao longo do tempo, sem cessar, visto que é influenciado

⁸ Aquilo que envolve/ reveste algo.

diretamente por diferentes variáveis.

Sobre isso, Guerra e Camargo (2007) usam como exemplo os fatores que compõem a vertente, os quais determinam a evolução do relevo de diferentes formas.

A natureza dá uma noção de fácil percepção quando observa-se um escoamento superficial que tem sua trajetória determinada pelas variáveis que compõem a própria vertente. Vegetação ou sua ausência, determinado tipo de solo, entre outros elementos, vão qualificar o tempo em que esses fenômenos acontecerão por auto-organização sistêmica.

No entanto, Drew (1994) explica que:

se essa mesma vertente estiver a serviço do homem em processos agrícolas ou de pastagem, o tempo de formação de ravinas ou de voçorocas será outro, mostrando como o homem é um diferencial na organização sistêmica do espaço-tempo do planeta, ou seja, na totalização do sistema.

Compreende-se assim, que o relevo terrestre é um sistema aberto, no qual agem diferentes elementos da natureza, bem como o próprio homem. Assim, para Christofolletti (1980, p. 33) “a Teoria do Equilíbrio Dinâmico estabelece que o modelo terrestre, sendo um sistema aberto, mantém constante permuta entre a matéria e a energia que circulam em seu meio ambiente interno e externo.”

Para Christopherson (2012, p. 319), “a superfície terrestre é a interface entre dois vastos sistemas abertos: um que constrói a paisagem e o relevo, e outro que o reconstrói em planos sedimentares”. Ambos os sistemas são compreendidos como sendo o sistema endógeno o qual gera material para a superfície terrestre e o sistema exógeno o qual modifica o material existente já em superfície.

Christopherson (2012, p. 319), explica que o sistema endógeno:

compreende os processos internos que produzem fluxos de calor bem abaixo da crosta terrestre. O decaimento radioativo é um dos principais fornecedores de energia para esses processos. Os materiais envolvidos

constituem o domínio sólido da Terra. A superfície terrestre responde ao se mover, entortar e quebrar, às vezes em episódios dramáticos de terremotos e erupções vulcânicas, construindo a crosta.

Os agentes internos estão relacionados a todos os movimentos causados por alguma ação geológica, que tem sua gênese relacionada com alguma força do interior da Terra. Um exemplo são as falhas ou falhamentos, que causam deformações na superfície do nosso planeta. Os falhamentos com desenvolvimento vertical podem ser considerados como movimentos epirogenéticos, pois existe a ascendência ou a subsidência da superfície terrestre. Dessa forma, são denominados de processos endógenos aqueles provindos dos agentes internos, tais como o tectonismo, sismicidade ou vulcanismos, os quais determinam a estrutura do relevo.

Segundo Christopherson (2012, p. 319):

o sistema exógeno envolve os processos externos que colocam em movimento o ar, a água e o gelo[...]. Esses meios esculpem, modelam e reduzem a paisagem, sendo que um desses processos, o intemperismo, quebra e dissolve a crosta. A erosão colhe esses materiais, transporta-os em rios, ventos, ondas costeiras e geleiras em movimento e os deposita ao longo o caminho.

Assim, compreende-se que os processos exógenos são aqueles geridos, basicamente pelas condições atmosféricas de determinada região, ou ainda, àqueles processos que agem de acordo com o arranjo estrutural das rochas por meio de reações de intemperismo, sendo os responsáveis pela esculturação do relevo. Sobre isso, Ross (2005) diz que “as formas do relevo terrestre podem ser vistas como uma vasta peça de escultura, cujo escultor é a atmosfera com seus diversos tipos climáticos, e as estruturas geológicas são suas matérias-primas.” Esses são processos de grande complexidade e são revelados através do ataque às rochas pela ação mecânica do ar, da temperatura e também pela ação físico-química da água em estado sólido, líquido e gasoso.

Os processos exógenos são então aqueles advindos dos agentes externos do planeta, tais como os processos fluviais e eólicos, os quais atuam na modelagem escultural do relevo terrestre. Assim, à medida que as feições do relevo se formam,

atuam de forma simultânea ambos os processos, os quais são forças diferentes que atuam no mesmo local.

Faz-se necessário compreender também que o tempo é um fator importante na dinâmica das diferentes formas do relevo. Sendo que, dependendo da ação, a evolução do relevo pode variar de acordo com o tempo médio de:

- Morfoestrutura = base ou forma inicial da crosta-terrestre: 1 milhão de anos.
- Morfoescultura = agentes modeladores da estrutura: 1000 anos
- Ação Antrópica = interferência do homem: 20 anos

Já os processos endógenos mais importantes estão relacionados aos movimentos tectônicos, os quais formam as grandes cadeias de montanhas. Os tipos de deformação ocasionados pelos movimentos tectônicos podem ser de duas ordens: os epirogênicos, que são os movimentos de subida ou de descida de grandes áreas da crosta terrestre, de modo lento e caracterizando-se por um reajustamento isostático de áreas, denominando assim os movimentos verticais lentos (soerguimento). Ou os orogênicos que são o conjunto de processos geológicos que resultam na formação das cadeias de montanha ou de relevo, relacionado ao tectonismo. Devido as diferentes formações geológicas do planeta, faz-se possível associar a formação rochosa com o tipo de relevo que se observa.

As rochas intrusivas formadas no interior da Terra, ao longo de muito tempo, passam a ser expostas na superfície, fazendo com que seu relevo torne-se suave (pouco modificado). Como exemplo de rocha intrusiva de idade antiga, temos os crátons, os quais são grandes maciços rochosos formados no Pré-Cambriano⁹ que sofreram pouca ou nenhuma deformação, sendo assim considerados bastante estáveis, sendo por essa razão que se formam as bacias sedimentares.

Já as rochas extrusivas, as quais são formadas através do vulcanismo, como são inicialmente expostas na superfície, sofrem mais modificações em sua estrutura. O Basalto é um exemplo de rocha extrusiva, devido ao resfriamento do magma expelido por erupção vulcânica na sua formação.

⁹ A mais antiga e longa era geológica do Planeta Terra, estendendo-se desde a formação da Terra há aproximadamente 4,5 bilhões de anos, até 570 milhões de anos atrás.

1.2 Solos

De forma ampla, a superfície terrestre é composta em sua maioria por solo, o qual segundo Christopherson (2012, p. 573) trata-se de um material dinâmico e natural composto de finas partículas, no qual a vegetação cresce, e que contém fragmentos minerais e material orgânico. O sistema solo inclui interações humanas e sustenta toda a vida humana, animal e vegetal.

Em sentido amplo, o termo pedogênese abrange todos os processos de desenvolvimento do solo, caracterizado como um sistema natural e aberto em constante evolução, conseqüente de fenômenos de decomposição, migração e acumulação de substância de natureza diversa. Os fenômenos são decorrentes da ação de fatores geológicos (rocha-mãe, hidrologia, tempo) geográficos (clima, relevo, erosão) e biológicos (vegetação, organismos vivos, animais, incluindo o homem), os quais caracterizam a pedogênese como de formação contínua, ao longo do tempo geológico.

Christopherson (2012) explica que o termo solo é por vezes usado erroneamente, aplicando-se a qualquer tipo de alteração, no entanto, solo refere-se somente à parte do manto de intemperismo que sofreu decomposição e modificações intensas, tornando-o capaz de comportar o desenvolvimento de vegetais superiores. O solo é constituído direta ou indiretamente de produtos de intemperização das rochas. Em menor escala resulta da ação de organismos e de detritos orgânicos decompostos da cobertura vegetal.

Para Wicander (2009), o solo é um material mineral e/ou orgânico inconsolidado, poroso, finamente granuloso, com natureza e propriedades particulares, herdadas da interação de processos pedogenéticos com fatores ambientais envolvendo as variáveis: material de origem, clima, organismos vivos, relevo e tempo.

Florenzano (2008) explica o desenvolvimento pleno do solo (pedogênese) como sendo um processo muito lento, no qual inicialmente, a parte superior do manto, seja residual ou transportada, decompõe-se o suficiente para liberar alguns nutrientes às plantas, possibilitando o crescimento de vegetais pioneiros e de pequeno porte. Nesse estágio o solo é incipiente e de má qualidade, contendo

grande quantidade de rocha desagregada e pouco alterada, tratando-se de um solo imaturo. À medida que são incorporados detritos orgânicos e organismos mortos parcialmente decompostos o solo passa a fornecer nutrientes, ou seja, húmus, os quais contém carbono extraído do ar durante o desenvolvimento das plantas.

A matéria vegetal em decomposição produz ácidos húmicos que auxiliam na alteração das partículas minerais do manto, bem como na lixiviação de algumas substâncias, translocando-as para níveis inferiores. Com a continuidade do processo a composição do solo muda de forma progressiva, embora muito lentamente.

No caso da erosão não perturbar a formação do solo e haver pluviosidade suficiente para manter a decomposição química e a vegetação, o seu desenvolvimento é acelerado durante certo tempo. Gradualmente o solo torna-se mais profundo, atingindo o estágio de maturidade ao perder grande parte do material mineral.

Quando um solo inicia sua evolução sobre o manto residual ele é considerado incipiente, esquelético ou imaturo, predominando partículas grosseiras, refletindo o caráter da rocha subjacente. No entanto, as influências externas modificam o caráter original do solo e podem ser tão acentuadas que imprimem características mais marcantes do que aquelas herdadas da rocha ou do material de origem. Como fatores externos mais importantes destacam-se o clima e a vegetação. A pluviosidade é um fator de grande importância na determinação desse tipo de solo.

Para Christopherson (2012) os solos são constituídos da seguinte maneira (figura 2):

- 1) Matéria mineral;
- 2) Matéria orgânica;
- 3) Água;
- 4) Ar;
- 5) Seres vivos.

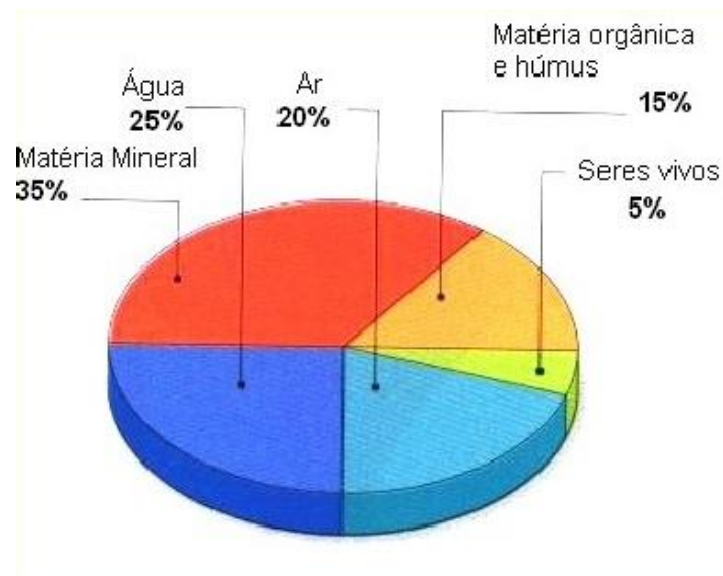


Figura 2: Composição do solo.
Org. Vargas, L.

O solo é então, formado por uma mistura de matéria mineral, composta por produtos físicos e químicos de meteorização das rochas e matéria orgânica, formada por resíduos mais ou menos descompostos dos vegetais e, em menor proporção, por restos e secreções de animais.

A matéria mineral do solo é formada por partículas de vários tamanhos, desde fragmentos de rocha, passando por grânulos de areias, até argilas. A matéria coloidal do solo é formada por teores variáveis de argila e matéria orgânica, formando o complexo de argila-húmus.

Christopherson (2012) diz que várias são as propriedades físicas que caracterizam o solo, entre elas estão:

- Estrutura: refere-se ao agrupamento e organização das partículas do solo em agregados e relaciona-se com a distribuição das partículas e agregados num volume de solo;
- Textura: trata-se do resultado da distribuição das frações granulométricas (areia grossa, areia, silte e argila). Essa é a

propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo;

- Porosidade: é o volume de solo - espaço vazio, que não é ocupado por constituintes sólidos do solo, mas sim por ar e água.
- Permeabilidade: é a capacidade de um material permitir a passagem de fluídos;
- Coesão e a cor: A coesão do solo refere-se a resistência ao cisalhamento de um solo. Já a cor do solo depende dos seus minerais constituintes.

1.2.1 Formação e classificação dos solos

Christopherson (2012) explica que o solo é um sistema aberto que envolve respostas e contribuições físicas. Assim, os fatores de formação do solo são passivos (material-fonte, topografia, relevo e tempo) e dinâmicos (clima, biologia e atividades humanas) trabalhando juntos, como um sistema, para formar o solo.

Wicander (2009) ressalta que são o desgaste, ou o intemperismo físico e químico das rochas da litosfera que oferecem os minerais primários à formação do solo. Essas rochas fornecem a matéria-fonte e suas composições, texturas e natureza química, as quais ajudam a determinar o tipo de solo que se forma. Já a umidade, a evaporação e os regimes de temperatura dos diversos tipos climáticos determinam as reações químicas, a atividade orgânica e os índices de eluviação¹⁰ do solo.

¹⁰ Transporte de material dissolvido ou suspenso do solo, dentro do solo, pelo movimento descendente ou lateral de água, quando a chuva excede a evaporação.

A atividade vegetal, animal e bacteriana, além de toda a vida presente no solo, determinam o conteúdo orgânico do solo. A composição química da vegetação contribui para acidez ou alcalinidade¹¹ da solução do solo.

Guerra (2011) salienta que o relevo é um dos elementos que afeta a formação do solo, como é possível constatar no caso de vertentes que são muito íngremes, as quais não podem ter o desenvolvimento completo do solo, isso porque a gravidade e os processos erosivos removem os materiais de superfície, entre eles, os nutrientes e minerais do solo. Terrenos muito nivelados inibem a drenagem do solo e podem se tornar encharcados. Já a orientação das vertentes é importante pelo controle da exposição da luz solar.

A respeito disso, Christopherson (2012, p. 580) explica que:

no hemisfério Norte, as vertentes expostas para o Sul são mais quentes durante o ano inteiro, por receber mais luz solar direta. As relações de balanço hídrico, nas vertentes voltadas para o Norte, são afetadas por serem menos frias tornando o degelo mais lento e os índices de evaporação menores, oferecendo, assim, mais umidade às plantas do que nas vertentes voltadas para o Sul, que secam mais rapidamente.

Todos os fatores naturais identificados no desenvolvimento do solo (material-fonte, clima, atividade biológica, formas de relevo e topografia) requerem tempo para operar. Durante o tempo geológico, a tectônica de placas tem redistribuído a paisagem e, portanto, controlado os processos que formam o solo.

Sobre o perfil de um solo Christopherson (2012) explica que o desenvolvimento do perfil de um solo pode realizar-se simultaneamente com a meteorização da rocha. O perfil compõe-se de horizontes definidos desde a superfície até a rocha original

Um solo maduro apresenta um perfil onde podem ser identificados seis horizontes que são designados por O, A, E, B, C e R, como indica a figura 3, a seguir.

¹¹ Aumento ou diminuição do potencial hidrogeniônico (ph) do solo.

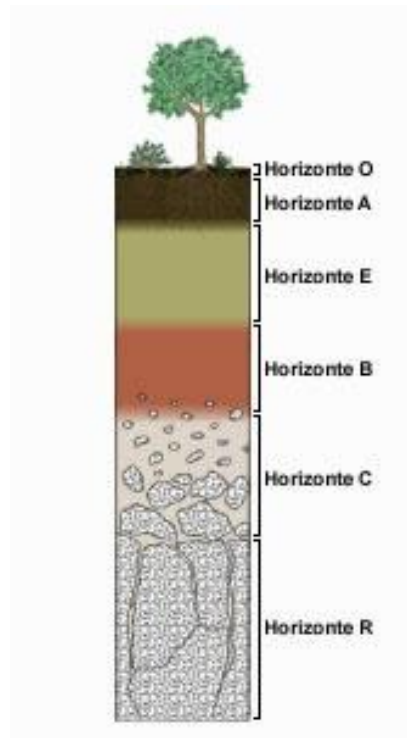


Figura 3: Horizontes do solo
Org. Vargas, L.

As camadas são constituídas e descritas da seguinte forma:

Horizonte O: Camada orgânica superficial, constituída por folhas e detritos vegetais e animais, bem como por substâncias húmicas acumuladas na superfície;

Horizonte A: Camada de cor escura, rica em matéria orgânica resultante da decomposição dos seres vivos, juntamente com matéria mineral, onde se encontram raízes de plantas e alguns animais;

Horizonte E: Camada de cores claras, onde as argilas e outras partículas finas foram lixiviadas pelas águas superficiais.

Horizonte B: Camada essencialmente mineral, com alguns materiais provenientes de decomposição orgânica, cuja coloração varia de acordo com a rocha mãe; aparece em solos mais desenvolvidos.

Horizonte C: Camada constituída por material mineral não consolidado, situado abaixo dos horizontes A e B e acima das camadas de rocha-mãe.

Horizonte R: Camada mineral de material consolidado, que constitui substrato rochoso contínuo ou praticamente contínuo, a não ser pelas poucas e estreitas fendas que a rocha-mãe pode apresentar.

Na imagem a seguir (figura 4) vê-se a exemplificação dos horizontes em perfil.



Figura 4: Horizontes do solo.
Org. Vargas, L.

O processo de formação dos solos depende fundamentalmente de cinco fatores, os quais são: o material de origem (rocha), o relevo, o clima, os organismos vivos e o tempo cronológico. Ou seja, a formação dos solos é o resultado dos processos de alterações físicas e químicas dos minerais que formam as rochas, sendo que as características específicas dos solos são herança do material de origem e de seu ambiente de formação.

1.3 Vertentes

Segundo Casseti (1994) o estudo das vertentes, enquanto categoria do relevo assume importância acadêmico-institucional a partir da década de 50 do século passado, com o trabalho de Tricart (1957), quando este afirma ser a vertente o elemento dominante do relevo na maior parte das regiões, apresentando-se, portanto, como forma de relevo mais importante para o homem. Fato este, que se dá devido à agricultura e aos demais trabalhos de construções estarem diretamente relacionados à evolução das vertentes.

Casseti (1994) explica também que as vertentes são aquelas superfícies curvas e inclinadas que formam os contornos do relevo e ocupam a maior parte da superfície terrestre e caracterizam-se a como a mais básica de todas as formas de relevo, razão pela qual, as vertentes assumem importância fundamental para os geógrafos físicos. O autor ressalta que são nas vertentes que ocorrem todos os processos que dão origem ao relevo, bem como os processos que originam os solos, assim como os processos erosivos, que nelas ocorrem, fazendo parte dessa evolução também os processos fluviais, os quais modelam e limitam a vertente. Casseti salienta que o conceito de vertente é essencialmente dinâmico, uma vez que permite delimitar um espaço de relações processuais de natureza geomorfológica, incorporando os mais diferentes tipos de variáveis.

Uma vertente contém importantes subsídios para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos, os quais são responsáveis pela [formação] do relevo na escala de tempo geológico, permitindo entender as mudanças recentes (processos morfodinâmicos), na escala de tempo histórico, se individualizando como palco de transformações [antropogênicas]. Casseti (1994)

As vertentes também são consideradas como uma conexão dinâmica que existe entre o topo (divisor de águas) e o fundo do vale, que pode terminar no próprio rio. Elas podem ser divididas em três partes: mais perto do topo, terço médio;

mais na porção central, terço médio, mais próximo da baixada, planície ou do rio, terço inferior, como se vê na figura 5, a seguir.

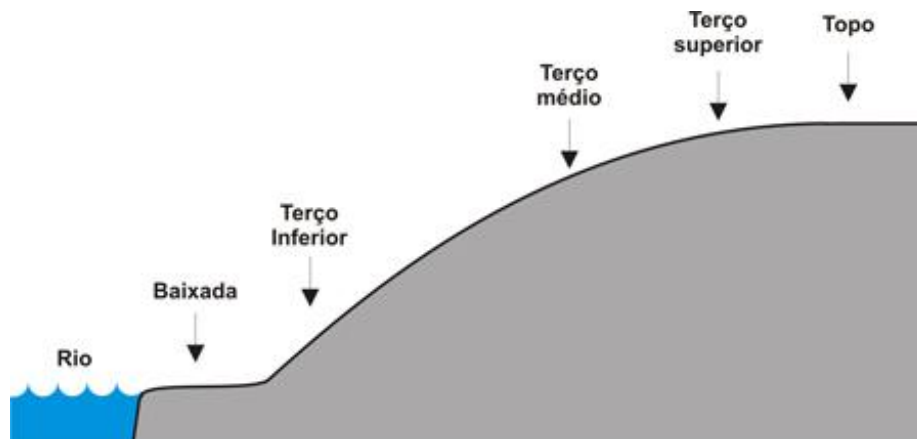


Figura 5: Porções da vertente
Org: Vargas, L.

O material intemperizado presente na vertente é suscetível à erosão e ao transporte, no entanto, se a gravidade transportar o material solto vertente abaixo, os agentes de erosão devem superar as forças de atrito, a inércia (a tendência que os objetos em repouso têm de permanecer em repouso) e a coesão das partículas entre si. Se o ângulo da vertente for suficientemente pronunciado para que a gravidade supere as forças de atrito, ou se o material for deslocado pelo impacto de gotas de chuva, galhos caídos, animais em movimento, ventos, etc., então ocorrem a erosão das partículas e o transporte vertente abaixo, como explica Christopherson (2012, p. 416).

Se empilharmos areia seca em uma praia, os grãos fluirão vertente abaixo até que o equilíbrio seja atingido. O declive da vertente resultante depende do tamanho e da textura dos grãos; esse declive é o ângulo de repouso. Esse ângulo representa um equilíbrio entre a força impulsora (gravidade) e a força de resistência (atrito e cisalhamento). O ângulo de repouso para vários materiais normalmente varia entre 33° e 37° (na horizontal) e entre 30° e 50° para as vertentes com avalanche.

Segundo Guerra (2011) todas as vertentes possuem uma forma específica (figura 6), que irá ditar como será o fluxo de águas superficiais. Existem vertentes

convexas, que dispersam as águas, e as côncavas onde acontece uma grande concentração de fluxo, podendo contribuir para que processos erosivos aconteçam, portanto estas possuem uma fragilidade ambiental maior. Existem ainda as retilíneas, nas quais a água escorre por igual ao longo da vertente. As planícies, que possuem declividades pequenas são áreas receptoras de água e sedimentos, por isso acumulam os mesmos.

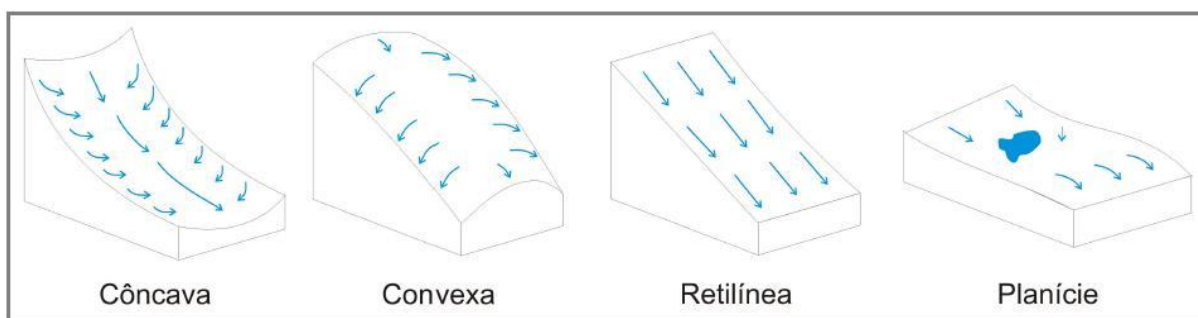


Figura 6: Formas de vertentes e os seus respectivos escoamentos superficiais de água
Fonte: Guerra (2011)

As vertentes geralmente apresentam uma superfície convexa superior próxima ao topo. Essa superfície convexa se curva para baixo e aplaina na face livre abaixo. A presença de uma face livre indica um afloramento de rocha resistente que forma uma escarpa íngreme ou um penhasco.

Christopherson (2012) diz que abaixo da vertente a partir da face livre encontra-se uma zona de deposição de detritos, que recebe fragmentos de rocha e materiais de cima. A condição de uma zona de deposição de detritos reflete o clima local. Em climas úmidos, a água em contínuo movimento carrega o material, abaixando a zona de deposição de detritos, mas, em climas áridos, as zonas de deposição de detritos se acumulam. Uma zona de deposição de detritos sofre transição para uma vertente côncava, que é uma superfície côncava na base da vertente. Essa superfície decrescente de materiais de erosão mais grossos se inclina gentilmente em um ângulo continuamente decrescente para a base do vale, onde materiais mais finos são depositados.

Segundo Massey, (2009) uma vertente é então um sistema aberto em busca de um ângulo de equilíbrio. Forças conflitantes trabalham simultaneamente sobre as

vertentes para estabelecer um meio-termo de inclinação otimizada que equilibra essas forças. Quando qualquer condição no equilíbrio é alterada, todas as forças sobre a vertente compensam por meio de um ajuste a um novo equilíbrio dinâmico.

Para Wicander (2009) a relação entre os índices de intemperismo e a quebra de materiais da vertente, junto com os índices de movimentos de massa e erosão de materiais, dá forma à vertente. Uma vertente é estável se a força excede esses processos de denudação, e instável se os materiais são mais fracos que esses processos, sendo que esses processos erosivos e de movimentos de massa acontecem nas vertentes, visto que, quanto maior é a inclinação das vertentes, maiores serão as chances destes processos acontecerem, bem como também o uso indevido do solo.

Segundo Guerra (2011, p. 15) em áreas com feições erosivas a paisagem é quase inteiramente formada por vertentes, com exceção dos fundos dos vales. Tal fato faz do tema foco de suma importância nos estudos geomorfológicos, visto que este permite a compreensão do relevo e das paisagens naturais da superfície terrestre, bem como o conhecimento e prevenção acerca de movimento de massa. Compreende-se assim que o estudo das vertentes pode ser justificado sob dois ângulos de abordagem: um, por permitir o entendimento do processo evolutivo do relevo em diferentes circunstâncias, o que leva à possibilidade de reconstituição do modelado como um todo e outro por sintetizar as diferentes formas do relevo tratadas pela geomorfologia, encontrando-se diretamente alterada pelo homem e suas atividades.

As paisagens, em sua maioria, exibem superfícies inclinadas e curvas, ou seja, vertentes regulares e irregulares. Tais irregularidades se dão devido à alternância de abruptos rochosos e degraus cobertos de solos, ou por múltiplas ravinas. Há também outras vertentes que são lisas, sem nenhum tipo de ravinamento, sendo cobertas por solo, com declives quase constantes.

Wicander (2009) explica que às vertentes em condições de manto contínuo, sem afloramentos rochosos e sem ruptura no ângulo de declive, dá-se o nome de vertente graduada, ou seja, aquela que se encontra em constante equilíbrio. Tal vertente, em estado de equilíbrio, não possui nenhum ponto do perfil com remoção de material, não excedendo assim o intemperismo local. Ao levar-se em consideração um perfil teórico regular, subentende-se uma vertente esculpida em

material homogêneo e maciço, como é o caso de granitos, argilas, xistos, etc. Dessa, forma o perfil tende a ser regularmente encurvado, convexo no topo e côncavo da base. No entanto, em estruturas complexas e diferenciadas quanto à resistência das camadas, as vertentes apresentam rupturas correspondentes aos bancos rochosos resistentes.

Sendo assim, percebe-se que as inúmeras variedades de declives e os diferentes tipos de perfis de vertentes são produzidos pela interação de processos de intemperismo, de escorregamentos e erosão, fatores litológicos e tectônicos.

Para Casseti (1994) entre os processos que atuam na superfície terrestre, o de denudação tem fundamental importância na dinâmica da evolução do relevo, pois este tem como ação principal o desgaste e reorganização do relevo, fazendo da energia do relevo um dos principais modificadores do meio. Entre os principais processos de denudação, que afetam os materiais de superfície, estão o intemperismo, erosão, transporte e deposição e os movimentos de massa, todos influenciados pela ação da gravidade. Ou seja, o autor explica que a vertente é entendida como uma forma tridimensional da superfície, a qual foi modelada pelos processos atuantes de denudação, os quais ocorreram no presente ou no passado e representam a conexão dinâmica entre o interflúvio¹² e o fundo do vale¹³.

1.3.1 Perfis de vertente

Casseti (1994) explica que o perfil de uma vertente é compreendido como sendo a sequência de diferentes formas apresentadas ao longo da vertente e que dentre os elementos que constituem as paisagens, são as vertentes as primeiras a sofrerem impactos tanto naturais quanto antrópicos, referente à evolução da vertente, visto que estas, segundo Guerra (2011) variam em forma, declividade e comprimento. Tais variações ocorrem devido a diferenças quanto à geologia, a

¹² Terreno ou área mais elevada situada entre dois vales.

¹³ Forma de relevo, normalmente de perfil transversal em V, formado devido à ação erosiva dos rios.

pedologia, a geomorfologia e a climatologia do local em análise, o que faz com que as vertentes possam ser classificadas quanto as suas formas, sendo elas côncavas, convexas e retilíneas, sendo raro apresentarem ao longo de todo seu perfil um mesmo tipo de forma, mas sim combinações entre si.

A partir das combinações das formas de vertentes, é possível se obter diferentes perfis que ocorrem no terreno. Dentre os mais recorrentes, Penteado (1989, p. 104) classifica três principais que são: perfil convexo do topo a base; perfil superior convexo inferior côncavo e perfis complexos (um segmento reto entre segmentos curvos superiores e inferiores).

Assim, sabe-se que devido ao equilíbrio dinâmico a posição de cada ponto do perfil de uma vertente depende, a todo o momento, da posição de todos os outros pontos. Sobre isso, Penteado (1989, p. 104) explica que:

o perfil de equilíbrio [de uma vertente] é móvel e evolui para uma forma limite, correspondente a um estado central aproximadamente em equilíbrio com o ambiente. Assim uma vertente dinamicamente estável ou em equilíbrio é exemplo de sistema físico aberto, no qual tanto energia como matéria se movem, num sistema de auto-regulação, para manter a forma mais eficiente possível.

Para Casseti (1994) em uma vertente regularizada, a massa sólida em movimento, em um perfil convexo é representada pelo rastejamento do solo, muito lento, sob o efeito da gravidade. A vertente é também submetida ao escoamento difuso que transporta material muito fino, erodindo só lateralmente e por isso não alterando sua forma. No entanto o papel da pedogênese deve ser levado em consideração quanto a evolução da vertente, visto que esta determina de forma considerável o modelado da superfície terrestre, pois trata-se de uma relação entre rocha, clima, relevo, fauna e flora do local, podendo dar origem a distintos tipos de solos, os quais são determinantes nos episódios de movimentação do relevo.

Quanto às mudanças das vertentes, Guerra (2011) ressalta que um dos principais fatores a ser sempre levado em consideração ao pensar-se sobre vertente é a resposta que a natureza do terreno dá as mudanças provocadas, ou não, pelo homem. Tais mudanças podem ocorrer a curto, médio ou longo prazo, ou seja, mudanças que podem ocasionar movimentos de massa rápidos e/ou lentos.

1.4 Substrato rochoso e a ação do intemperismo

Para Guerra (1999) a porção externa e superficial da crosta é formada por vários tipos de corpos rochosos que constituem o substrato rochoso da superfície terrestre. Tais rochas estão sujeitas a condições que alteram a sua forma física e a composição química, sendo esses fatores, que produzem as alterações, chamados de agentes do intemperismo.

Christopherson (2012) explica que os processos de intemperismo atacam as rochas na superfície terrestre e em alguma profundidade abaixo dela, fazendo com que a rocha seja desintegrada em partículas minerais ou dissolvida em água. Os processos de intemperismo são físicos (mecânicos) e químicos, fazendo com que a interação entre eles seja complexa e exista uma ação combinada entre intemperismo físico e químico conforme o conjunto de processos que agem sobre a rocha. O intemperismo não transporta os materiais, mas sim, gera material para erosão e transporte pela água e pelo vento, os quais são influenciados pela ação da gravidade.

Christopherson (2012) salienta ainda que o processo de intemperismo se dá em duas fases, a física e a química, as quais tratam-se da desintegração e da decomposição, respectivamente do substrato rochoso. A desintegração é a ruptura das rochas inicialmente em fendas, progredindo para partículas de tamanhos menores, sem, no entanto haver mudança na composição. Exceto nos climas áridos, a desintegração e a decomposição atuam juntas, uma vez que a ruptura física da rocha permite a circulação da água e de agentes químicos. Os organismos vivos concorrem também na desagregação puramente física e na decomposição química das rochas.

Segundo Wicander (2009) na maioria das áreas expostas, a superfície do substrato rochoso é submetida ao intemperismo contínuo, criando um manto de alteração da rocha alterada. O material de superfície solto tem origem no intemperismo adicional e no solo transportado e depositado. Em algumas áreas, o mesmo pode estar em falta ou ainda ser subdesenvolvido, expondo um afloramento

de substrato rochoso não intemperizado. A espessura da cobertura do solo depende de um equilíbrio entre os índices de produção do solo e da erosão (remoção de partículas do solo), ou seja, um equilíbrio entre processos concorrentes.

Wicander (2009) explica também que o intemperismo é influenciado pelo caráter do substrato rochoso: podendo ser duro ou macio, solúvel ou insolúvel, fragmentado ou contínuo. A junta em determina rocha é importante para os processos de intemperismo, pois são fraturas ou separações na rocha que ocorrem sem deslocamento dos lados (como seria o caso do falhamento). A presença desses espaços, geralmente em planos, aumenta à área de superfície da rocha exposta ao intemperismo físico e químico.

Para Christopherson (2012) é importante manter um controle sobre o intemperismo local, pois há uma relação entre clima (precipitação anual e temperatura), intemperismo físico e os processos de intemperismo químico. Em geral, o intemperismo físico predomina em climas secos e frios, enquanto o intemperismo químico prevalece em climas mais úmidos e quentes.

O autor explica ainda que outro importante controle sobre os índices de intemperismo é a orientação geográfica de uma vertente (se está voltada para o norte, sul, leste ou oeste). A orientação controla a exposição da vertente ao Sol, ao vento e a precipitação. As vertentes voltadas para o lado oposto dos raios solares tendem a serem mais úmidas, frias e vegetadas do que àquelas vertentes expostas à luz solar. No entanto, embora a cobertura vegetal possa proteger a rocha abrigando-a do impacto das gotas de chuva e fornecendo raízes para estabilizar o solo, ela também produz ácidos orgânicos a partir da decomposição parcial de matéria orgânica; esses ácidos contribuem para o intemperismo químico. As raízes das plantas entram nas fendas e quebram a rocha, exercendo pressão suficiente para separar fragmentos de rocha e expondo uma área de superfície maior a outros processos de intemperismo.

Torres (2012) diz que o manto de alteração das rochas, que recobre grandes extensões da superfície, notadamente nas regiões de clima úmido é designado de solo e o processo de natureza química e mecânica sobre a rocha resulta num material de espessura variada, fazendo parte da estrutura subsuperficial da paisagem. Esse manto de intemperismo consiste em uma mistura de fragmentos de rocha e minerais, areias, argilas, etc., substâncias orgânicas, soluções e suspensões

coloidais. Em geral, nas áreas de vertentes bastante inclinadas a espessura do manto é bem menor do que nas áreas menos acidentadas.

Para Wincander (2009) quanto às classificações de intemperismos, denominasse que quando a rocha é quebrada e desintegrada sem alteração química, o processo é chamado de intemperismo físico ou intemperismo mecânico. Ao quebrar a rocha, o intemperismo físico produz mais áreas de superfície sobre a qual o intemperismo químico pode atuar. Uma única rocha que se quebrou em oito partes dobrou sua área de superfície suscetível a sofrer processo de intemperismo.

O intemperismo químico, no entanto, refere-se à decomposição real dos materiais constituintes de uma rocha devido à alteração química dos minerais presentes nela. A decomposição química intensifica-se com o aumento da temperatura e da precipitação. Como exemplo disso observa-se que a água penetra nas juntas e fraturas, dissolvendo os minerais mais fracos da rocha. Um matacão¹⁴, por exemplo, pode ser atacado por todos os lados, gerando bordas arredondadas resultantes da ação da esfoliação esferoidal.

Os organismos vivos também participam da desagregação mecânica e da decomposição química. As raízes das plantas penetram nas fraturas das rochas, e durante seu crescimento, desenvolvem uma força que ultrapassa a resistência da própria rocha, fazendo com que ocorra o rompimento desta. Além da ação dos restos vegetais decompostos que fornecem substâncias húmicas, outros seres vivos, em sua maioria de pequenas dimensões constituem agentes que desenvolvem atividades químicas destrutivas para as rochas. A porção superficial da rocha geralmente é abatida por alga, musgos e líquens. Outras plantas de ordem superior atacam as rochas devido a necessidade de extraírem elementos indispensáveis à sua subsistência. As rochas submetidas a esses processos desenvolvem uma área de alteração cuja manifestação mais visível é sua descoloração, destruição de certos minerais, perda da coesão estrutural e conseqüentemente a desagregação.

Sendo assim, pode-se inferir que os movimentos de massa tendem a acontecer, mais provavelmente, nas superfícies das vertentes, uma vez que haja mais material desagregado ou mal consolidado que na rocha sólida subjacente à

¹⁴ Grande bloco arredondado, produzido pelo processo de intemperismo químico, conhecido como esfoliação esferoidal ou pelo desgaste de blocos arrastados por correntes fluviais.

superfície. Assim que as rochas são expostas á superfície da Terra, o processo de intemperismo começa a agir, ou seja, passa a desintegrá-las e decompô-las, o que reduz a resistência da rocha ao cisalhamento e aumenta sua suscetibilidade à movimentação gravitacional de massa. Quanto mais profundamente ocorre a ação da zona de intemperismo, maior é a probabilidade de ocorrência de algum tipo de movimentação de massa. Os processos de intemperismo físico e químico criam um enfraquecimento geral da rocha superficial, o que a torna mais suscetível à atração da gravidade. Algumas rochas são mais propensas ao intemperismo que outras e um dos principais fatores deflagradores desses processos é o clima do local, pois este desempenha um importante papel na velocidade e no tipo de intemperismo local.

1.5 Movimentos Gravitacionais de Massa

Segundo Wicander (2009), movimento gravitacional de massa é definido como sendo o movimento de descida, pela vertente abaixo, de material – solo e/ou rocha, sob a influência direta da gravidade, ou seja, os movimentos de massa ocorrem em vertentes sob a influência do estresse gravitacional. A maioria dos eventos de movimentos de massa ocorre devido ao intemperismo (físicos e/ou químicos) visto o enfraquecimento geral criado na rocha superficial, o que a torna mais suscetível à atração da gravidade. O intemperismo age em materiais de superfície, desgastando vertentes e fornecendo matéria-prima para erosão, transporte e deposição. Referente a isso, Popp (2010, p. 70) explica que:

o manto de intemperismo consiste em uma mistura de fragmentos de rocha e minerais, areias, argilas, etc., substâncias orgânicas, soluções e suspensões coloidais. Em geral nas vertentes bastante inclinadas a espessura do manto é bem menor do que nas áreas menos acidentadas.

Ainda a respeito das alterações sofridas pelo solo, Wicander (2009, p. 243) diz que o material [solo e/ou rocha] se move a velocidades que variam de quase

imperceptíveis no caso de um rastejamento, até extremamente rápidos em uma queda de blocos ou escorregamentos.

Os produtos resultantes do intemperismo podem permanecer *in situ* como material residual, sem movimentação, denominado de elúvio, ou mais comumente sofrer deslocamentos pelas vertentes, constituindo depósitos soltos, incoerentes, encontrados no sopé de uma vertente ou escarpa, constituindo os colúvios, onde incluem-se também os depósitos de tálus. Popp (2010, p. 70)

Penteado (1980), explica que os movimentos de massa, lentos ou rápidos, são provocados por atividade biológica ou por processos físicos resultantes de condições climáticas, mas é a ação da gravidade o principal fator de influência nos movimentos de massa. Ou seja, quando determinadas forças como o vento e a chuva, agem sobre as partículas rochosas soltas – materiais de superfície, estas tendem a entrarem em movimento e assim desencadear processos que atuam em áreas de declives, como é o caso dos movimentos de massa em vertentes. Sendo assim, compreende-se por movimento gravitacional de massa, todo o deslocamento vertente abaixo que envolva solo e/ou fragmentos de rocha, influenciado diretamente pela ação da gravidade.

Os movimentos de massa são importantes processos geomorfológicos que atuam em toda a superfície do globo e podem ocorrer em todo e qualquer lugar do planeta, uma vez que a atração da gravidade é constante.

Os deslocamentos podem dar-se por movimentos individuais de partículas ou fragmentos de tamanhos diversos ou por movimentos de massa induzido pela ação da gravidade e pelas águas superficiais. Resultam daí os processos de transporte como rastejamento, solifluxão, deslizamentos e escorregamentos, entre outros. A velocidade de movimentação é variável conforme a ação dos agentes envolvidos, principalmente da ação climática e do recobrimento vegetal. Popp (2010, p. 70)

Quando a força gravitacional, a qual age sobre uma determinada vertente, supera a força de coesão da rocha, ocorre o colapso desta, fazendo com que a vertente sofra deformações e adquira novas formas, caracterizando a dinâmica

geomorfológica do local. Sobre isso, Wicander (2009, p. 243) defende que os fatores de coesão que ajudam a manter a estabilidade incluem a declividade e a coesão do material da vertente, o atrito entre os grãos e qualquer sustentação externa da mesma. Sendo esses fatores que coletivamente, representam a resistência ao cisalhamento da vertente, o qual se encontra em oposição à força gravitacional. Assim, Wicander (2009, p. 244) afirma que a gravidade opera verticalmente, mas possui um componente que age paralelamente à vertente causando, portanto, sua instabilidade, como se vê na figura 7, a seguir.

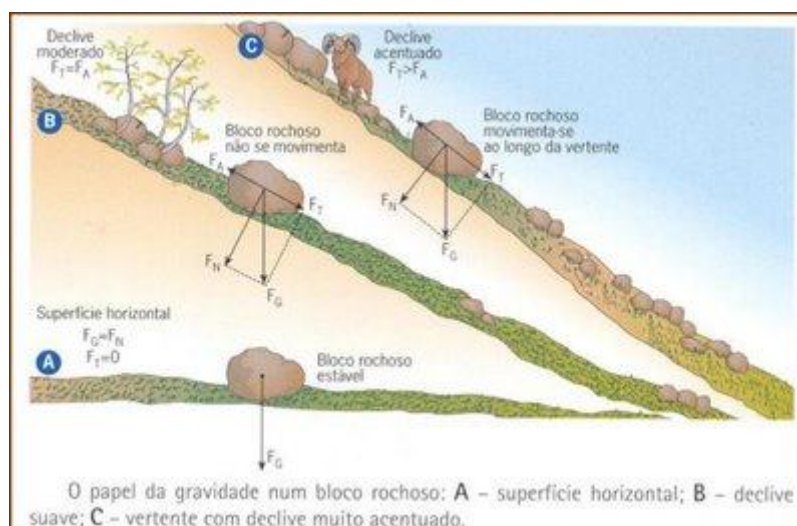


Figura 7: Ação da gravidade em vertentes de diferentes declives.
Fonte: Wicander (2009)

Assim, Wicander (2009, p. 244) explica que:

quanto maior a declividade, maior é o componente da força que age paralelamente à vertente e maior é a chance para ocorrer movimentos gravitacionais de massa. A maior declividade que uma vertente pode suportar sem entrar em colapso é o ângulo de repouso. Nesse ângulo, a resistência ao cisalhamento do material contrabalança exatamente a força da gravidade.

Toda e qualquer vertente procurar estar em um equilíbrio dinâmico, pois busca constantemente ajustar-se às novas condições superficiais, ou seja, os movimentos gravitacionais de massa são uma das maneiras das vertentes se ajustarem às condições distintas. Percebe-se assim, que muitos são os fatores que podem influenciar os movimentos de massa, tais como: mudanças de declividade da vertente, saturação de água, mudança na cobertura vegetal, sobrecarga no local e a desagregação de material pela ação do intemperismo.

1.5.1 Mecânica e classes de movimentos gravitacionais de massa

Dentre os movimentos gravitacionais de massa, a primeira distinção feita é quanto a sua velocidade, os quais podem ser movimentos de massa rápidos ou movimentos de massa lentos. Os movimentos de massa podem ser processos superficiais ou deslizamentos de terra submarinos. O conteúdo do movimento de massa pode variar de seco a úmido, lento a rápido, sendo de pequeno a grande magnitude, e de queda livre a gradual ou intermitente (queda de blocos ou fluxo de terra - à rastejamento), como é demonstrado na figura 8, a seguir.

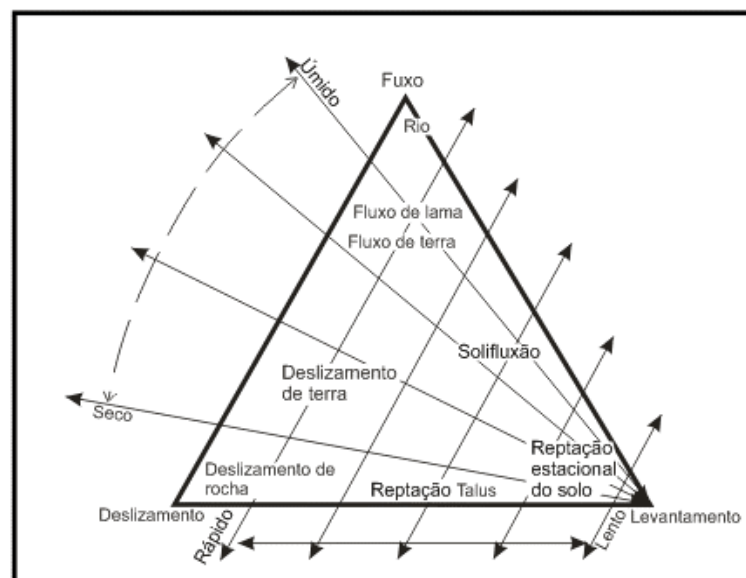


Figura 8: Classificação dos processos de movimentos gravitacionais de massa de acordo com conteúdo e velocidade.

Fonte: Christopherson, (2012)

Segundo Christopherson, (2012, p. 416) “o termo movimento de massa aplica-se a qualquer movimento unitário de um corpo de material, propalado e controlado pela gravidade”. Inclusive, o termo movimento de massa é, por vezes, usado de forma a referir-se a perda de massa, que é o processo geral envolvido em movimentos de massa e erosão da paisagem. Assim, o movimento de massa do material age para desgastar vertentes e fornecer matéria-prima para erosão, transporte e deposição de sedimentos.

Wicander (2009) explica que a força que impulsiona o movimento de massa é a gravidade, pois ela age em conjunto com o peso, o tamanho e a forma do material de superfície; o grau em que a vertente excede seu ângulo de repouso; e a quantidade e forma de umidade disponível, seja ela congelada ou fluída e quanto maior o ângulo desta, mais suscetível é o material de superfície aos processos de perda de massa. Já a força de resistência é a força de cisalhamento do material da vertente, ou seja, sua coesão e atrito interno agem contra a gravidade e a perda de massa. Ao reduzir-se a força de cisalhamento, aumenta-se a tensão de cisalhamento, que acaba por atingir o ponto em que a gravidade supera o atrito, iniciando a falha da vertente.

Christopherson, (2012) explica que argilas, folhelhos e lamitos¹⁵ são altamente suscetíveis à hidratação, inchando em resposta a presença abundante de água. Assim, se tais materiais são subjacentes aos estratos rochosos em uma vertente, os estratos se moverão com menos energia de força impulsora. Quando as superfícies de argilas são úmidas, elas se deformam lentamente na direção do movimento e, quando saturadas, formam um fluído viscoso com pouca força de cisalhamento (resistência ao movimento) para sustentar a vertente. No entanto se os estratos rochosos forem do tipo em que o deslizamento do material é evitado, então pode ser necessária mais energia de força impulsora, como a gerada por um terremoto, por exemplo.

Para Penteado (1980) a força da gravidade adiciona uma componente descendente aos movimentos gerados por outras forças, ou seja, a componente da força da gravidade, que atua paralelamente à vertente, é proporcional ao seno do ângulo de inclinação. Assim, o coeficiente de fricção de deslizamento é

¹⁵ Rochas sedimentares.

numericamente igual à tangente do ângulo de inclinação, quando a partícula está em movimento, isto é: é igual à razão entre a componente de deslize (cd), paralela à vertente, e a componente de aderência perpendicular à vertente (ca).

Penteado (1980, p. 101) explica que numa vertente de 45° essa relação é igual a 1, logo o coeficiente de fricção é igual a 1. Numa vertente de 70° essa relação é maior, logo o coeficiente de fricção é superior a 1, como é demonstrado na figura 9, a seguir.

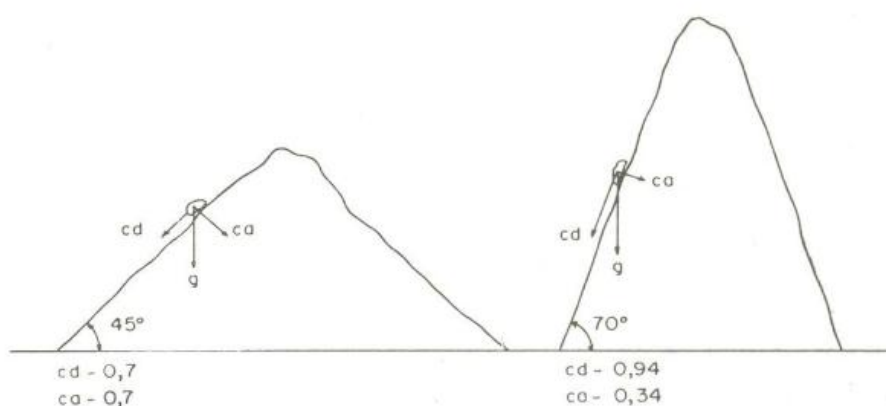


Figura 9: Ação da força da gravidade em vertentes com declives diferentes.
Fonte: Penteado (1980).

Poucos são os materiais que possuem coeficientes de fricção superior a 1, assim sendo, a fricção não reterá blocos em vertentes com ângulos superiores a 45° . Vertentes com declive em ângulos maiores que 40° são muito raras. Superfícies cobertas de fragmentos rochosos apresentam ângulos máximos de inclinação entre 25° e 35° .

O termo movimento de massa ou de solo vem sendo usado para todos os movimentos gravitacionais. Nesse caso, a gravidade é a única força importante, sendo que não são envolvidos outros tipos de transporte, como vento e a água, apesar desta poder auxiliar como lubrificante, reduzindo o coeficiente de fricção.

Em qualquer movimento de massa, a gravidade exerce uma força sobre a massa até que seja atingido o ponto crítico de falha.

Nesse contexto, objetivou-se propor uma classificação condizente com os processos ocorridos na área de estudo da presente pesquisa. Para tal, utilizou-se a classificação de movimentos gravitacionais de massa (figura 10) segundo Christopherson (2012):

Rastejamento: Movimento extremamente lento de poucos centímetros ao ano. Basicamente se dá pela movimentação como um todo, do manto de alteração de uma vertente; deslocando e abrindo fendas nas partes inferiores da rocha. É classificado como aquele movimento de massa gradual e persistente de solo superficial, afeta grandes áreas e não apresenta uma superfície de ruptura muito bem definida. Com o aumento da velocidade pode se transformar em um escorregamento.

A existência de rastejo numa área pode ser notada pela inclinação de árvores, cercas ou postes. Normalmente, este é o movimento mais lento que existe mas, com o aumento da saturação de água no solo, ele pode assumir uma maior velocidade, tornando-se um perigo para as construções que existem nesta vertente ou neste vale.

Escorregamento/deslizamento: Contrariamente ao rastejamento, o escorregamento afeta parcialmente o manto de alteração de uma vertente, possuindo limites (superfície de ruptura) bem definidos tanto em profundidade como lateralmente, além de serem rápidos, sendo possível a diferenciação entre o material deslizado e o material estável. Ocorrem em frações de segundos a minutos. O escorregamento é o tipo de movimento de massa mais comum e devido a sua intensidade e velocidade pode causar muitas mortes e perdas materiais.

Os escorregamentos podem ser subdivididos em dois grupos de acordo com o plano de ruptura: escorregamentos translacionais e escorregamentos rotacionais.

a) Escorregamentos translacionais: apresentam superfície de ruptura planar, ocorrendo ao longo de planos de estratificação, falhas, fraturas ou ao longo de contatos entre rocha, solo e colúvio, aproximadamente paralelos à superfície da vertente. Tais movimentos costumam ser compridos e rasos, estando normalmente associados a uma dinâmica hidrológica mais superficial, onde um aumento excessivo da poropressão provoca instabilidade.

b) Escorregamentos rotacionais: parte do material que forma a vertente sofre deslizamento, apresentando uma superfície de ruptura bem definida e de forma côncava. A ocorrência de tais movimentos é facilitada pela presença de mantos de alteração espessos e homogêneos, e está associada, em geral, à percolação de água em profundidade. Apresentam como feições típicas: escarpas de topo, fendas transversais na massa escorregada e uma língua de material na base da vertente.

Queda de blocos: São movimentos extremamente rápidos onde há o desprendimento de blocos rochosos ou lascas de rochas aflorantes em vertente, que caem devido à ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre.

As quedas de bloco ficam condicionadas de forma direta à presença de afloramentos rochosos nas vertentes de forte declividade. Os episódios de quedas de blocos são potencializados pelas amplitudes térmicas e encharcamento da rocha, através dos fraturamentos.

Solifluxão: São os movimentos lentos das camadas superficiais, semelhante ao rastejamento, porém, com velocidade um pouco maior no processo de deslocamento do solo vertente abaixo. São os movimentos coletivos do solo quando este se encontra saturado de água. O episódio de solifluxão corre quando a presença de uma camada impermeável do solo impede a penetração da água, saturando a camada sobrejacente.

A solifluxão caracteriza-se pelo movimento de massa do solo encharcado de água e de alguns decímetros por ano. Este é um processo polizonal, comum nas regiões periglaciais, com deslocamento da camada superior degelada, que escoa sobre a inferior congelada. Ocorre em vertentes inferiores a 5° ou 6° de inclinação, podendo ser controlada pela eliminação de água.

Fora da zona fria ocorre em vertente de maior declive entre 8° a 15° de inclinação. Serve de lubrificante entre uma camada de argila encharcada ou camada rochosa basal impermeável.

Fluxo de terra ou de lama: São semelhantes à solifluxão, porém mais rápidos e fluem através dos vales e vertentes. As camadas argilosas quando saturadas de

água podem solifluir e se situadas abaixo de camadas mais resistentes podem transportar a longas distâncias o material sobrejacente em forma de deslizamentos.

O fluxo de terra ou lama caracteriza-se também pela afluência de grande quantidade de material para a drenagem. A parte argilosa deste material se mistura com a água formando um líquido viscoso (lama), com alta plasticidade que flui para as partes baixas. Pela sua velocidade e a elevada densidade, esse movimento possui um alto poder destrutivo e um extenso raio de ação. São movimentos que se assemelham a avalanches.

Avalancha: É um tipo mais rápido de fluxo de massa. Normalmente a avalanche começa com queda livre de blocos de rocha ou de gelo constituindo uma massa que caminha com grande velocidade devido à fluidez adquirida pela pressão do ar aquecido e da água retida na massa em movimento. Grandes avalanchas caminham em poucos minutos dezenas de quilômetros com largura de 1 a 3 ou 4 quilômetros de 10 a 30 metros de espessura.

Salienta-se, no entanto, que essa classificação não se aplica à região da área de estudo.

As classes de movimentos gravitacionais de massa supracitadas são ilustradas a seguir, figura 10.

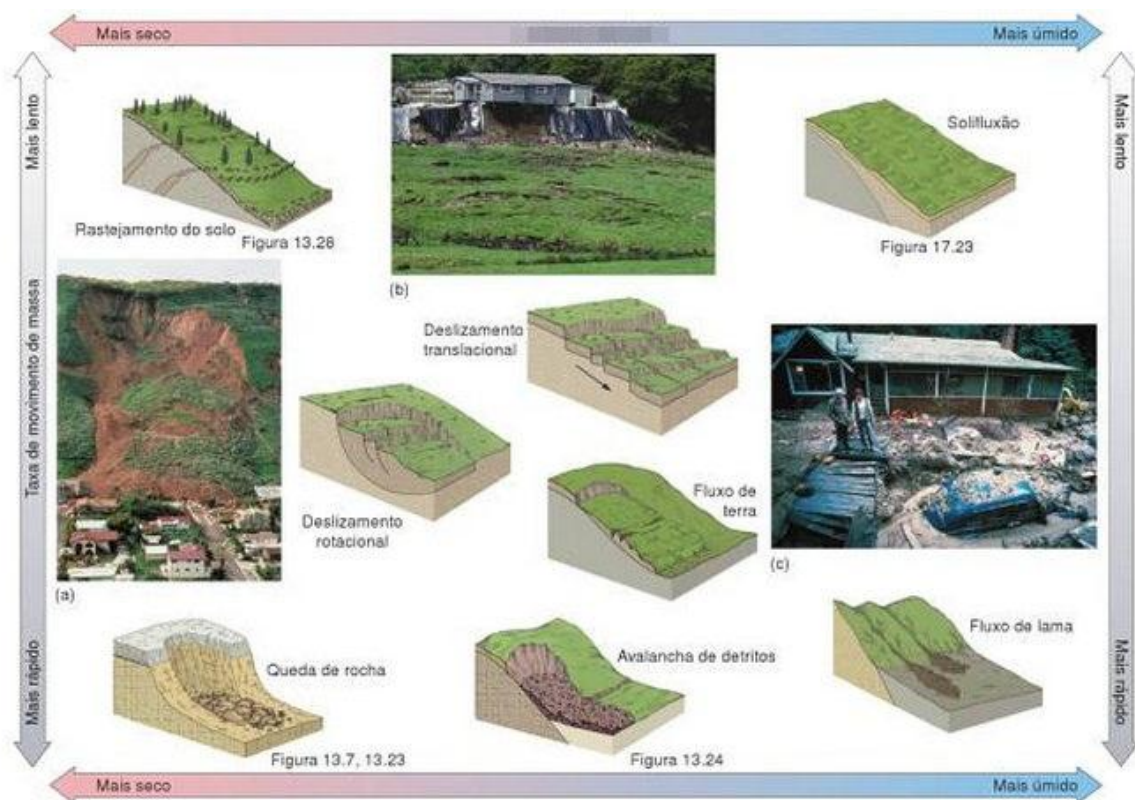


Figura 10: Classes dos movimentos gravitacionais de massa.
Fonte: Christopherson (2012)

1.6 Declividade

Para Casseti (1994) declividade é todo e qualquer grau de inclinação que a superfície terrestre apresenta em relação a um eixo horizontal. As vertentes com declives mais acentuados possuem uma maior declividade. Sendo que quanto mais inclinada uma vertente, maiores são os riscos de processos de movimentação do relevo se acentuarem. Assim, o fator declividade exerce suma importância na ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa, visto que o material exposto em superfícies inclinadas tende a sofrer maior influência da ação da gravidade.

Ao analisar-se a declividade de determinada vertente, é possível evidenciar na superfície terrestre a distribuição das inclinações do terreno, sendo esse um fator de suma importância no estudo da instabilidade das vertentes, pois esta, juntamente com demais fatores, como a própria gravidade ou mesmo a ação antrópica, pode acarretar processos erosivos ou movimentos de massa.

De acordo com Silveira et al. (2005) em vertentes com maior declividade, há a

tendência de haver maior perda de solo.

A análise da declividade das vertentes possibilita evidenciar a distribuição das inclinações da superfície do terreno, sendo uma importante característica na análise do balanço de deposição e retirada de material. Quanto maior a declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade da água e sua capacidade de transporte, responsável pelos processos erosivos que modelam as formas do relevo.

A representação cartográfica de áreas declivosas do relevo é feita através de mapas temáticos, com intervalos que variam de acordo com o objetivo que o trabalho se propõe. Dentre alguns exemplos, Ross (1990) utiliza em seus trabalhos aplicados ao planejamento e nos estudos de fragilidade ambiental as classes com intervalos de 0-6%, 6-12%, 12-20%, 20-30% e acima de 30%. Já De Biase (1992), determina as seguintes classes: 0-5%, 5%-12%, 12%-30%, 30%-47% e acima de 47%.

Assim, as cinco classes de declividade, definidas por De Biase (1992), correspondem aos intervalos: <5%, limite utilizado internacionalmente para uso urbano-industrial e em trabalhos de planejamento urbano; 5-12%, essa classe define o limite máximo do emprego da mecanização na agricultura; 12-30%, essa classe determina como limite máximo para urbanização sem restrições; 30-47%, que estabelece como limite máximo de corte raso 25°, (o qual equivalente a 47% de inclinação); e >47%, o qual não permite o corte raso de vegetação em áreas com inclinação entre 25° a 45° (equivalendo a 100% de inclinação) e as áreas com mais de 45° são definidas como Áreas de Preservação Permanente – APP.

Segundo Guerra (1980, p. 119):

a declividade é a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte. Na representação em curvas de nível vemos que quanto maior for a inclinação tanto mais próximas se encontram as curvas de nível. Inversamente elas serão tanto mais afastadas quanto mais suave for o declive.

Assim, a declividade entre dois pontos do terreno é medida pela inclinação da

reta que os une com plano horizontal.

Declive = diferença de nível/ diferença horizontal X 100

Sendo o resultado dado em porcentagem.

Exemplo:

$300 - 200 = 100\text{m}$ (diferença de nível)

$100/300 \times 100 = 33\%$

Tem-se ainda outro recurso técnico utilizado na medição de declividade (De Biase, (1992).

$$D = n.100/x$$

Onde:

D = Declividade (%)

N = Equidistância entre as curvas de nível

X = Distância em metros entre as curvas de nível de referência

.

Os valores de declividade das vertentes são apresentados mais comumente em termos percentuais, que são obtidos através da relação trigonométrica:

$$\text{Tangente } \alpha = \frac{\text{Cateto Oposto}}{\text{Cateto Adjacente}}$$

Sendo a distância horizontal entre dois pontos o cateto adjacente e sua distância vertical o cateto oposto. Desse modo o valor absoluto de 100% de declividade equivale ao valor do ângulo (α) de 45° de inclinação (figura 11).

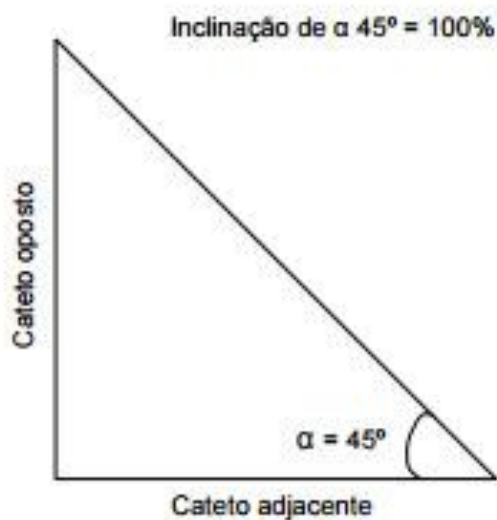


Figura 11: Representação da vertente no triângulo retângulo pela correlação trigonométrica para calcular o ângulo de inclinação.
Org, Vargas, L.

Assim, entende-se que a declividade do terreno é determinante no disciplinamento do uso e ocupação da terra, visto que serve de patamar para elementos restritivos, como por exemplo, o uso e ocupação acima de 45° de declividade.

1.7 Paisagem

A paisagem surge, em sua materialidade, junto com a formação do planeta, podendo esta ser assim, estudada desde a pré-história. Sobre isso, Mendonça e Venturi (1998, p. 65), explicam que:

as premissas históricas do conceito de paisagem, para a geografia, surgem por volta do século XV no renascimento, momento em que o homem, ao mesmo tempo em que começa a distanciar-se da natureza, adquire técnica suficiente para vê-la como algo passível de ser apropriado e transformado.

É a partir de então que a paisagem deixa de ser apenas uma referência espacial ou objeto de observação e passa a ser inserida em um contexto cultural através das artes e posteriormente nas abordagens científicas. Tradicionalmente, os geógrafos a diferenciam entre a paisagem natural e a paisagem cultural. A paisagem natural refere-se aos elementos combinados de terreno, vegetação, solo, rios e lagos, enquanto a paisagem cultural, humanizada, inclui todas as modificações feitas pelo homem, como aquelas feitas nos espaços urbanos e rurais. Assim, estudar a paisagem exige a compreensão desta no seu contexto histórico e geográfico, buscando avaliar a ação pretérita e futura do ser humano na evolução da paisagem, visto que existe uma dinâmica de ordem natural para seu desenvolvimento.

Em voga, a discussão sobre paisagem na geografia é abordada desde o século XX, visto a necessidade de se entender as relações sociais e naturais de um determinado espaço. No entanto, observa-se que existem tendências diferenciadas frente ao conceito de paisagem entre os geógrafos que a abordam e isso ocorre devido a distintas influências culturais dos profissionais. A exemplo tem-se a escola alemã, a qual introduziu o conceito da paisagem como categoria científica por volta dos anos de 1940, reunindo um conjunto de fatores naturais e humanos. Ou seja, a abordagem sobre paisagem não se trata somente daquela dita natural, mas sim da paisagem total, onde a ação antrópica integra toda a análise do meio.

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos dispartados. É uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente, uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução. (BERTRAND, 1971, p. 2)

Distintos autores franceses, influenciados por Vidal de La Blache¹⁶ passaram a caracterizar a *paysage* (ou *pays*) como a relação do homem com seu espaço físico. Já nos Estados Unidos, a revolução quantitativa, substituiu o termo *landscape* pela ideia de região. Paralelamente surge na Alemanha e no Leste Europeu uma

¹⁶ Geógrafo francês.

ideia mais holística e sinérgica de paisagem, definindo as unidades de paisagem pelo conjunto de seus processos ecológicos.

Em sua maioria, esses conceitos se atrelam a conceitos filosóficos, podendo-se dizer inclusive que o conceito de paisagem foi inicialmente ligado ao positivismo da escola alemã focando o estudo dos fatores geográficos agrupados em unidades espaciais. Percebe-se então que as diversas abordagens da geografia tratam a paisagem como uma face material do mundo, onde decorrem as atividades humanas.

Atualmente, um dos usos desse conceito tem enfoque direcionado à avaliação ambiental e estética, buscando a recuperação e preservação de locais degradados pelo uso e ocupação humana. No entanto, observa-se que essa reconstrução do espaço depende de forma direta da cultura do ser humano que vive do entorno dos locais em questão, pois são essas pessoas que percebem e constroem a paisagem ao seu redor. Assim, pode-se considerar a paisagem como um produto cultural, resultado do meio ambiente sob a ação da atividade humana. Sobre isso, Sauer, (1998, p. 42) explica que:

não podemos formar uma ideia de paisagem a não ser em termos de suas relações associadas ao tempo, bem como suas relações vinculadas ao espaço. Ela está em um processo constante de desenvolvimento ou dissolução e substituição. Assim, no sentido corológico¹⁷, a alteração da área modificada pelo homem e sua apropriação para o seu uso são de importância fundamental. A área anterior à atividade humana é representada por um conjunto de fatos morfológicos. As formas que o homem introduziu são outro conjunto.

Para Milton Santos (1997) paisagem é a expressão materializada do espaço geográfico, interpretando-a como forma. Dessa maneira, o autor considera paisagem como um constituinte do espaço geográfico, ou seja, um sistema de objetos, podendo ser, o relevo, a vegetação e até mesmo a ação antrópica. Dessa forma, Suertegaray (2005, p. 50) diz que:

¹⁷ Ciência da distribuição geográfica dos organismos.

de uma perspectiva clássica, os geógrafos perceberam a paisagem como a expressão materializada das relações do homem com a natureza num espaço circunscrito. Para muitos, o limite da paisagem atrelava-se à possibilidade visual.

No entanto, vale salientar, que os geógrafos também consideram a paisagem como algo que vai além de formas físicas, abrangendo a relação do meio com o homem, ou seja, a paisagem alterada é um espaço produzido, cujo relevo serve de suporte físico, em que as diferentes formas de ocupação refletem o momento histórico, econômico e social. Para Jorge apud Guerra (2011, p. 119):

o relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais de uma escala de tempo geológico para a escala histórica ou humana.

Troll (1997) concebe a paisagem:

como o conjunto das interações homem/meio. Tal conjunto, para o autor, apresentava-se sob dupla possibilidade de análise: a da forma (configuração) e da funcionalidade (interação de geofatores incluindo a economia e a cultura humana). Para ele, paisagem é algo que vai além do visível, é resultado de um processo de articulação entre os elementos constituintes. Assim, a paisagem deveria ser “estudada na sua morfologia, estrutura e divisão além de ecologia da paisagem, nível máximo de interação entre os diferentes elementos”. Esta análise, em sua visão, poderia ser de ordem exclusivamente natural (Paisagens Naturais) ou de ordem humana (Paisagens Culturais).

Sobre paisagem Bertrand (1972), diz que tal é uma unidade caracterizada pela combinação dinâmica e instável de elementos geográficos diferenciados (físicos, biológicos e antrópicos), e que o estudo desses elementos não pode ocorrer de forma isolada, no âmbito da climatologia, geomorfologia ou biogeografia.

No entanto, a proposta metodológica da Geografia Física Global (Bertrand, 1972) é que a paisagem, categoria de análise geográfica, deve ser abordada do

ponto de vista de sua totalidade, constituída pela relação indissociável dos seus componentes.

Ao propor o estudo da Geografia Física Global, pensou a paisagem como resultado sobre certa porção do espaço, da combinação dinâmica e, portanto, instável dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que interagindo dialeticamente uns sobre os outros fazem da paisagem um conjunto único e indissociável em contínua evolução. (SUERTEGARAY, 2000, p. 20)

A respeito da ideia de unidade, Milton Santos (1997) diz que “paisagem é o conjunto de forma que, num dado momento, exprime a herança que representa as sucessivas relações localizadas entre o homem e a natureza, ou ainda a paisagem se dá como conjunto de objetos reais concretos”.

No entanto é importante explicar que paisagem e espaço tratam-se de diferentes locais da superfície terrestre, visto que o espaço é compreendido como um todo e a paisagem é composta por elementos que reúnem o pretérito e o presente do espaço, podendo acumular feições e funções ao longo do tempo. Sobre essa perspectiva Suertegaray (2005, p. 51) explica que:

paisagem é transtemporal juntando objetos passados e presentes, uma construção transversal juntando objetos. Espaço é sempre um presente, uma construção horizontal, uma situação única. Ou ainda, paisagem é um sistema material, nessa condição, relativamente imutável, espaço é um sistema de valores, que se transforma permanentemente.

Sendo assim, percebe-se a paisagem como um conjunto de elementos e fatores que condicionam a função desse determinado local na superfície. Tal local fica dependente à maneira que o observador o vê, ou seja, a paisagem fica sujeita à análise do ser humano, podendo ser tanto do ponto de vista natural, quanto socioeconômico ou ainda cultural. Referente a isso, Suertegaray (2005, p. 51) diz que:

ao optarmos pela análise geográfica a partir do conceito de paisagem, poderemos concebê-la enquanto forma (formação) e funcionalidade (organização). Não necessariamente entendo forma-funcionalidade como uma relação de causa e efeito, mas percebendo-a como um processo de constituição/reconstituição de formas na sua conjugação com a dinâmica social. Neste sentido, a paisagem pode ser analisada como a materialização das condições sociais de existência diacrônica e sincronicamente. Nela poderão persistir elementos naturais, embora já transfigurados (ou natureza artificializada). O conceito de paisagem privilegia a coexistência de objetos e ações sociais na sua face econômica e cultural manifesta.

Assim, sendo a superfície terrestre composta de formas, as quais são diariamente submetidas a um processo evolutivo natural, deve-se considerar de forma direta o impacto humano causado no meio, visto que o povoamento e a urbanização podem causar alterações e desequilíbrios locais, como a instabilidades nas vertentes modificadas pelo homem. No entanto, a paisagem por tratar-se de um sistema aberto, com entradas variáveis de energia e de materiais, busca um constante equilíbrio em resposta a essa permuta, onde incessantemente as geoformas do relevo buscam se ajustar em direção ao equilíbrio. A respeito disso, Christopherson (2012, p. 401) explica que:

é o modelo de equilíbrio dinâmico que explica o equilíbrio entre força, forma e processo, ou seja, o modelo de equilíbrio dinâmico resume-se no soergimento tectônico e a redução por intemperismo e erosão, entre a resistência das rochas e o incessante ataque dos processos de intemperismo.

O equilíbrio dinâmico geralmente apresenta uma tendência ao longo do tempo, ou seja, as paisagens em equilíbrio dinâmico apresentam adaptações contínuas às condições dinâmicas da estrutura da rocha, do clima, do relevo local e da elevação. Sendo toda e qualquer paisagem, única em si.

1.8 Antropogeomorfologia: o homem como agente modificador

A geomorfologia é uma ciência que vem preocupando-se de forma mais intensa com questões relacionadas às mudanças provocadas pelo homem em seu meio, pois parte dos problemas de meio ambiente, os quais são enfrentados pela sociedade, são advindos da intensa urbanização das cidades de médio e grande porte. Assim, sendo considerada como uma nova subdivisão da ciência geomorfológica, a geomorfologia urbana vem destacando a ação dos processos sobre um ambiente artificialmente modificado. O necessário estudo dessa nova subdivisão da geomorfologia se dá devido à preocupação com as diversas mudanças que o homem tem provocado no meio, visto que grande parte dos problemas enfrentados pela sociedade ocorre nas cidades.

Os problemas de urbanização se dão em diferentes escalas de construção e modificação, ou seja, as melhores áreas para moradias ficam destinadas à população de maior poder aquisitivo, a qual constrói dentro de padrões adequados à área, já o restante da população que não detém tal poder, acaba por ocupar áreas desprezadas pelo mercado imobiliário, áreas que em geral são ambientalmente frágeis, como é o caso de áreas de vertentes com altas declividades.

Dessa forma é possível perceber que o homem tornou-se um elemento intrínseco na modificação do ambiente terrestre, sendo ele um constante agente modificador do relevo. Assim, Santos Filho (2004) define antropogeomorfologia como sendo o estudo do ambiente que resulta da presença e da intervenção antrópica no meio natural; já para (Rodrigues, 2005) é o estudo, no tempo e no espaço, das mudanças no ambiente físico provocadas por ações antrópicas, considerando em sua análise três elementos morfológicos básicos: formas, materiais e processos da superfície terrestre.

As mudanças ocorridas no meio em que o homem constrói, estão diretamente ligadas ao crescimento humano acelerado e desordenado como verifica-se em algumas cidades brasileiras nos últimos anos, as quais depararam-se com verdadeiras explosões demográficas devido ao crescente número de habitantes

destas. No entanto essas modificações ocorridas no meio, não obedecem ao condicionamento físico dos locais ocupados, fazendo-se necessário uma exploração e implantação de técnicas que auxiliam no processo de ocupação das áreas potencialmente frágeis existentes.

A antropogeomorfologia assume relevância no século XX devido a magnitude de escala do fenômeno urbano e em função de episódios urbanos ocorridos nas grandes cidades – inundações, deslizamentos de vertentes, movimentos de massa e outros – resultantes das alterações dos processos, materiais e formas da natureza, pela construção, adensamento populacional e ampliação de área urbana. (GUERRA, 2011, p. 230)

Dentre outros fatos, trabalho e qualidade de vida levam o homem a migrar para determinados locais que após tamanha ocupação passam a não mais suportar tal, fato que gera a crescente urbanização, por vezes, em áreas consideradas de risco. Tal conjunto de problemas ambientais que as grandes cidades apresentam mostra a forma predatória da sociedade para com a apropriação da natureza. Sobre isso, Jorge apud Guerra (2011, p. 118) diz que o crescimento rápido, espontâneo e desordenado tem provocado o inchaço de muitas cidades, caracterizado pela ocupação de áreas periféricas, a maioria imprópria para edificações.

De acordo com Guerra (2011):

entende-se por área de risco frente à geomorfologia, aquelas regiões onde já existe o risco natural, visto que os processos naturais fazem parte da dinâmica da Terra. Sendo assim, é recomendada a não construção de casas ou instalações, em tais áreas, pois estas são muito expostas aos desastres naturais, como desabamentos, enchentes, escorregamentos, erosão, etc.

Essas ocupações geram situações de perigo à vida humana, visto que são construídas em áreas de vertentes com declividades acentuadas, já fora dos padrões permitidos para ocupação humana. A respeito disso, Guerra e Cunha (1998) dizem que:

as áreas urbanas, por constituírem ambientes onde as ocupações humanas se tornam intensas e muitas vezes desordenadas, tornam-se locais sensíveis às gradativas transformações antrópicas, à medida que se intensificam em frequência e intensidade o desmatamento, a ocupação irregular, a erosão e o assoreamento dos canais fluviais.

Ao longo do tempo, é possível observar que o homem sempre ocupou o espaço buscando desenvolver suas atividades como modo de sobrevivência, onde desenvolveu a capacidade de adaptação, passando a transformar o meio no qual vivia de acordo com suas necessidades.

A reflexão antropogeomorfológica aproxima o fenômeno de construção da cidade aos estudos da geomorfologia clássica e inaugura um campo de investigação sobre a interface entre o ambiente construído e o natural, em uma antropogeomorfologia urbana. (GUERRA, 2011, p. 231)

No entanto, o ser humano carrega o legado de apenas utilizar os benefícios que a natureza pode lhe oferecer, não tendo consciência das limitações que o ambiente possui o que gera o uso e ocupação descontrolada do meio ambiente.

A superfície da Terra é composta de formas, submetidas a um processo evolutivo natural, e nas quais o impacto humano deve ser considerado, porque o povoamento e a urbanização alterando essas formas podem vir a causar desequilíbrios, como a desestabilização de vertentes e a subsistência do solo. (GUERRA, 2011, p. 231)

Porém, as alterações provocadas por esse modo de vida do homem, que atingem diretamente a qualidade de vida das populações locais, tornaram-se preocupações latentes para alguns cientistas, como o caso dos geomorfólogos e assim, a pesquisa da antropogeomorfologia se divide em duas áreas principais de investigação. (Guerra, 2011, p. 231)

a) Pesquisa dos impactos da atividade humana sobre a Terra, em especial, nos solos, processo conhecido como metapedogênese, que trata da modificação das propriedades físicas e químicas dos solos devida à ação

do homem;e,

b) Estudos dos impactos da atividade humana sobre a superfície da Terra, sobre as formas do relevo, sobre a alteração e transformações do relevo pela ação do homem, que altera o relevo e as variáveis ambientais em função da concepção do edifício e da cidade.

Nos estudos envolvendo a antropogeomorfologia, se faz necessário olhar para o cenário local analisando o meio natural e a ocupação antrópica em busca de parâmetros e variáveis que demonstrem seu desempenho quanto à função de urbanização e morfologia do povoamento local. Sobre isso, Santos Filho (2007) explica que:

em função da forma e do tipo da implantação efetivada, podem-se criar o risco e a instabilidade, como é o caso da construção em vertentes de elevada declividade, que sempre altera, de forma dramática, o frágil equilíbrio entre as forças que atuam na natureza, pela remoção do manto superficial de vegetação, pela nova configuração e distribuição de volumes, desenhando-se novas topografias.

Sobre a urbanização brasileira, Brito (2006) afirma que esta se intensificou a partir da segunda metade do século XX e que na década de 1960 a população urbana tornou-se mais numerosa do que a rural. Frente a isso, é possível entender que a intensa urbanização tem essencial papel nos danos ambientais ocorridos nas cidades. Guerra e Marçal (2006) dizem que:

o crescimento populacional causa pressão sobre o meio físico urbano e produz poluição do ar, solo e das águas, deslizamento, enchentes e outros problemas. Ainda, o crescimento urbano tem produzido aglomerados populacionais que, em grandes extensões urbanas, apresentam feição desordenada com impactos negativos ao ambiente e à qualidade de vida.

Dessa forma, o que observa-se é que a paisagem desenhada pela interação entre as construções urbanas e o ambiente, apresenta uma relação dinâmica entre o homem e a natureza e têm-se alterado em função do entendimento que o primeiro tem do seu papel perante a outra.

Assim, frente a tantas modificações advindas da ação humana para com o meio, faz-se necessário estabelecer diretrizes que buscam quantificar essas perturbações e modificações. A respeito disso, Christopherson, (2012, p. 423) explica que:

toda e qualquer perturbação humana de uma vertente, como cortes para construção de rodovias, mineração de superfície, conjunto habitacional ou residências pode acelerar a perda de massa. As superfícies recentemente desestabilizadas e com alto ângulo de repouso são lançadas em uma busca por um novo equilíbrio. Grandes minas a céu aberto são exemplos de movimentos de massa induzidos pelo ser humano, nesse caso chamado de escarificação.

Mesmo que informalmente, os cientistas puderam quantificar a escala de escarificação induzida por humanos para comparar com processos naturais de denudação. Através de estimativas de escavações para novas residências, produção mineral (areia, cascalho e carvão) e construções de rodovias, Hooke¹⁸ comparou as quantidades de terra removidas para diversos países, chegando à estimativa global de remoção de terra por humanos.

Os humanos como agentes geomórficos, movem de 40 a 45 bilhões de toneladas da superfície do planeta anualmente. São 14 toneladas/ano de transferência natural de sedimentos de rios; 39 toneladas/ano de movimentos de fluxo de correntes; 4,3 toneladas/ano de deslocamento de geleiras; 1,25 toneladas/ano por movimentos devido a ação e erosão devido as ondas; 1 tonelada/ano pra transporte eólico, 34 toneladas/ano por movimentos de sedimentos por continental e oceânica de montanhas ou 7 toneladas/ano de sedimentos do oceano profundo.

Assim, Hooke conclui que:

O *Homo sapiens* tornou-se um impressionante agente geomórfico. Combinando a proeza de mover a terra com nossa adição inadvertida de carga de sedimentos para os rios e os impactos visuais de nossas

¹⁸ Geólogo americano que estimou, em 1994, a escarificação humana no planeta.

atividades na paisagem, sentimos-nos compelidos a reconhecer que, para a melhor ou pior, esse agente biogeomórfico pode ser o mais importante agente geomórfico do planeta.

Assim, percebe-se que a interação entre o homem e o meio natural no espaço criou situações específicas e singulares, que estabeleceram novas relações no ambiente terrestre. Sobre isso, Guerra (2011, p. 230) diz que o ambiente urbano por ser construído a partir do habitat humano, produto do pensamento do ser humano, torna-se complexo e concebido de forma abstrata e exógena a natureza. Com isso, entende-se que o meio modificado pelo homem trata-se de uma nova configuração do ambiente, materializada de acordo com as necessidades da sociedade que o habita.

Assim, Guerra (2011) explica que a antropogeomorfologia urbana focaliza os estudos ambientais urbanos pela importância da cidade como ambiente de concentração humana, e como lugar de alterações geomorfológicas, as quais podem transcrever a própria cidade com diferentes episódios geomorfológicos, como por exemplo, os movimentos de massa.

2 METODOLOGIA

O presente capítulo tem como objetivo sintetizar os procedimentos metodológicos que permitiram auferir os objetivos propostos para a realização do trabalho de pesquisa desenvolvido no campo de estudo da Geomorfologia.

Os procedimentos metodológicos da presente pesquisa visaram a identificação e descrição dos processos de movimentos gravitacionais de massa, bem como a análise de fatores deflagradores para a ocorrência de episódios verificados na área de estudo. Para tal identificação, o estudo seguiu a metodologia descrita abaixo.

2.1 Os quatro níveis de pesquisa geográfica

Para tal estudo, usou-se a o procedimento apresentado por Libault (1971), “Os quatro níveis de pesquisa geográfica”.

Libault (1971) propõem um método organizacional que foi elaborado com o intuito de resolver problemas referentes à articulação lógica entre as operações de análise e tratamento de dados estatísticos em Geografia. No entanto, como é citado pelo próprio autor tal metodologia é válida tanto para “os tratamentos exaustivos do computador, como para os raciocínios simples e elementares” (LIBAUT 1971, pág. 2). Sendo assim a metodologia de Libault (1971) foi aplicado à realidade aqui apresentada.

A metodologia de Libault (1971) define os quatro níveis da pesquisa geográfica, que são: o nível compilatório; o nível correlatório; o nível semântico; o nível normativo. Tais níveis indicam uma ordem lógica de desenvolvimento das etapas do trabalho de pesquisa. Para Libault a sistematização e organização das etapas de trabalho em níveis distintos, permitem uma melhor compreensão e adequação das atividades ao longo da pesquisa.

2.1.1 O Nível Compilatório

O nível compilatório, segundo Libault (1971), prevê a coleta dos dados e posterior compilação destes. Nesse nível foram coletados, analisados e selecionados os dados utilizados no trabalho. Alguns dados foram extraídos da consulta à bibliografia textual e referencial teórico, bem como à cartografia da área de estudo, e ainda, compilada algumas informações coletadas em campo.

A interpretação de documentos cartográficos já existentes, reunidos àqueles confeccionados para a pesquisa e também imagens de satélite recaem sobre o levantamento de informações primárias, sendo assim fizeram parte do presente nível. Visto que o levantamento bibliográfico e grande parte da coleta das informações acompanham diversas etapas da pesquisa, o nível compilatório se interpõe aos outros três níveis da pesquisa.

2.1.2 O Nível Correlatório

Segundo Libault (1971) esse nível caracteriza as atividades de correlação dos dados levantados à realidade do trabalho em seus diferentes momentos. Essas atividades estiveram relacionadas à análise dos dados; bem como à interpretação das imagens de satélite, para elaboração dos mapas de declividade, de hipsometria, de solos e também o mapa litológico da área de estudo. Essas informações derivam de dados coletados em campo e estão relacionadas com as informações também provenientes de sensores remotos.

2.1.3 O Nível Semântico

De acordo com Libault (1971), ao nível semântico relaciona-se a possibilidade de se fazer uso ou não das informações levantadas nos dois momentos anteriores.

Sendo assim, no nível semântico foram elaborados os mapas que dão base à presente pesquisa, onde foram relacionados os dados de campo já conhecidos com imagens de satélite e documentos cartográficos pré-existentes. Os mapas são: o mapa de declividades pelo qual foi possível identificar as áreas com probabilidade de movimentos de massa de acordo com a inclinação do terreno; o mapa hipsométrico, o qual permite inferir os locais de maior energia da área de estudo; o mapa litológico e mapa de solos, pelos quais se verificou a geologia e tipos de solo do local.

2.1.4 O Nível Normativo

Para Libault (1971) é nesse nível que “são distribuídas as normas, que traduzem os resultados fatoriais em normas aproveitáveis”, ou seja, no último nível apresentam-se os resultados da pesquisa, onde nesse caso, tratam-se dos setores da sub-bacia do rio Vacacaí Mirim que apresentam suscetibilidade a movimentos de massa, distribuídos em movimentos gravitacionais de massa lentos e/ou rápidos.

2.2 Níveis de abordagem em Geomorfologia

O estudo do relevo terrestre exige levar em consideração três níveis de abordagem sistematizados por Ab'Sáber (1969), os quais individualizam o campo de estudo da Geomorfologia. Os três níveis são os seguintes:

- a) compartimentação morfológica;
- b) levantamento da estrutura superficial;
- c) estudo da fisiologia da paisagem.

O presente trabalho de pesquisa enquadra-se no terceiro nível de abordagem, o qual tem por objetivo compreender a ação dos processos morfodinâmicos atuais, considerando o homem como sujeito modificador do meio. A presença humana normalmente responde pela aceleração dos processos morfogenéticos e morfodinâmicos, a exemplo das formações denominadas tecnogênicas ou ainda as chamadas morfologias antropogênicas. Mesmo a ação indireta do homem, ao eliminar a interface representada pela cobertura vegetal, altera de forma substancial as relações entre as forças de ação (processos morfogenéticos ou morfodinâmicos) e de reação da formação superficial, gerando desequilíbrios morfológicos ou impactos ambientais como os movimentos de massa, voçorocamento, assoreamento, dentre outros. Nesse contexto, processos morfodinâmicos acelerados e de potencial magnitude, como movimentos de massa rápidos, podem acarretar desfechos mais trágicos.

2.3 Procedimentos Técnicos

Os procedimentos técnicos da pesquisa ocorreram em três etapas básicas de trabalho, as quais foram:

Trabalho de gabinete, no qual buscou-se aprimorar os conhecimentos acerca dos assuntos abordados na pesquisa por meio de diferentes bibliografias. A investigação bibliográfica assegurou a operacionalização dos conceitos fundamentais que nortearam a pesquisa, como é o caso de: processos de movimento de massa, vertentes, paisagem, energia do relevo, antropogeomorfologia, etc.

Posteriormente a isso, foram realizados os procedimentos de coleta de dados onde foram priorizadas as informações de ocupação do terreno, de declividade deste, e os possíveis conflitos ambientais nele ocorridos, os quais são determinados através da observação de cultivos e moradias em locais de acentuada declividade. Os trabalhos de campo foram realizados sempre com o auxílio de carta topográfica e imagem de satélite do local, bem como GPS e máquina fotográfica, permitindo uma maior clareza nas localizações e constatações das ocupações e conflitos ambientais

na sub-bacia. Em campo, foram registrados indícios de movimentação do relevo, identificando áreas onde já existiam características, na vegetação, de movimentos de massa lentos, como por exemplo, o caso de rastejos, evidenciado pela inclinação de árvores, postes e/ou muros.

Os mapas da pesquisa foram elaborados, bem como tiveram organização de dados, vetorizações e layout gerados através dos softwares livres Quantum Gis 2.6 Brighton e Google Earth Pro – versão teste.

Para a extração de curvas de nível, drenagem e delimitação da área de estudo, utilizou-se a Carta Topográfica de Santa Maria - SH. 22-V-C-IV-1, de escala 1:50.000. A partir dos dados extraídos, confeccionaram-se os mapas de declividade e hipsometria da área de estudo. Para os procedimentos técnicos de georeferenciamento, vetorização, overlays e layout do material cartográfico, utilizou-se os softwares livres Quantum Gis 2.6 Brighton e Google Earth Pro – versão teste.

Assim, dos mapas já elaborados como os mapas hipsométrico e clinográfico utilizou-se a base cartográfica vetorial do Rio Grande do Sul na escala 1:50.000 organizada pelo Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Destaca-se que o mapa de declividade foi confeccionado conforme a proposta de De Biasi (1992) que determina as seguintes classes: 0-5%, 5%-12%, 12%-30%, 30%-47% e acima de 47%.

Para a confecção e organização do material cartográfico em escala 1:55.000, referente a litologia/geologia utilizou-se como fontes de dados e bases cartográficas os arquivos vetoriais do Geobank do CRPM¹⁹.

¹⁹ Serviço Geológico do Brasil.

3 RESULTADOS

3.1 Condicionantes à ocupação: zona não adequada

Segundo a descrição da Carta Geotécnica de Santa Maria, de Carlos Leite Maciel Filho, a área de estudo do presente trabalho encontra-se localizada em uma zona predominantemente desfavorável à ocupação, visto que as zonas desfavoráveis são aquelas mal drenadas e também passíveis a inundação.

Para a região da área de estudo, Maciel Filho (1991) classifica como áreas não adequadas ao uso e ocupação humana, aquelas que possuem declives superiores a 15% e aqueles com instabilidades de vertentes naturais. Os 15% são o limite de declividade, geralmente aceito, para a urbanização exceto em regiões onde praticamente não existem declives suaves para a expansão urbana. Para além desses limites, as construções tornam-se mais caras devido à necessidade de regularizações do terreno pela remoção de terra e/ou aterro; facilmente ocorrem problemas de erosão por águas pluviais nas ruas ou mesmo fora delas devido à velocidade que a água superficial alcança. As áreas com instabilidade ficam incluídas nas abrangidas por vertentes superiores a 15% e representam um impedimento a mais para a ocupação. Além de representar os inconvenientes da declividade, colocam em risco as obras de estabilização de custo elevado, pois os rastejos, pouco notados por serem movimentos muito lentos, causam frequentes danos às construções.

Salienta-se, no entanto, que de acordo com De Biase (1992) o limite máximo para a urbanização de áreas declivosas fica limitado em 30% de inclinação e o novo Código Florestal – Lei 12.727 de 2012, artigo 4, determina como APP (Área de Preservação Permanente) as vertentes ou partes destas com declividade superior a 45°, o que equivalente a 100% de inclinação na linha de maior declive da vertente.

Há ainda na área de estudo, as áreas sem restrições, as quais permitem a ocupação urbana, não apresentando nenhum fator restritivo, podendo, no entanto oferecer outros problemas de ordem geotécnica.

Esta zona é constituída basicamente pela Depressão²⁰ e Planalto²¹. Estão ainda incluídas pequenas áreas da Serra com baixas declividades, sendo estes, topos de morro, terraços estruturais e fundos de vale.

Quanto às unidades geotécnicas, a área de estudo encontra-se localizada em cinco unidades, as quais são: os Depósitos Coluvionários, o Diabásio Serra Geral, os Basaltos Serra Geral, o Arenito Botucatu e o Riólito Serra Geral, descritos a seguir de acordo com Maciel Filho (1991):

3.1.2 Depósitos Coluvionarios

Carlos Maciel explica que os depósitos coluvionarios estão situados abaixo da escarpa rochosa da Serra, recobrimdo toda a área a baixo, de uma forma não contínua, até o talvegue do vale ou até além da ruptura de declive quando encontra áreas mais planas. Concentram-se principalmente nas partes côncavas das vertentes.

Na região da depressão há outro tipo de colúvio, mais difícil de ser identificado quando não se encontra a linha de pedras delimitando-a, o qual é constituído pelo retrabalhamento das formações Santa Maria e/ou Caturrita. Aparecem muitas vezes como solos mais profundos, às vezes como argila cinza escura e de baixa consistência.

O material coluvionar é depositado no sopé das áreas de vertentes localizadas principalmente no setor sudoeste da sub-bacia, área de grande concentração de moradias e lavouras de pequeno porte. O transporte de material vertente abaixo ocorre devido à ação da gravidade atuando sobre o solo e/ou fragmentos rochosos soltos devido ao processo erosivo verificado na área de estudo.

Salienta-se que os locais da sub-bacia onde foram detectados depósitos coluvionários são aqueles fragilizados devido ao uso e ocupação antrópica, o que

²⁰ Área mais baixa que seu entorno.

²¹ Áreas de altitudes variadas e limitadas, em um de seus lados, por superfície rebaixada.

potencializa os processos de movimentação de massa, visto que o relevo sofre interferência quanto ao seu estado de estabilidade.

3.1.3 Diabásio Serra Geral

A presente unidade é caracterizada pelas intrusões hipoabissais de diabásio²² relacionado ao vulcanismo Serra Geral. Essas intrusões apresentam um faturamento intenso em várias altitudes motivando a compartimentação em pequenos blocos. A intemperização atinge normalmente todo o corpo intrusivo em maior ou menor intensidade. O solo residual desenvolvido sobre o diabásio geralmente é raso e argiloso mole, ocorrendo nas fraturas, o que facilita os escorregamentos, mesmo em declividades não muito fortes, levando esses materiais a extensos deslocamentos, os quais são frequentemente visíveis na BR-158.

3.1.4 Basaltos Serra Geral

A formação Serra Geral é constituída por duas sequências vulcânicas: uma básica e outra ácida. Esta unidade apresenta intensa fissuração, predominantemente vertical no meio do derrame e horizontal no topo e na base. O contato entre os derrames pode apresentar delgadas camadas de arenito com exceção do intervalo entre o terceiro e o quarto derrame onde ocorre uma espessa camada de Arenito Botucatu.

É raro encontrar-se um basalto sem sinais de alteração, sendo que a alterabilidade do basalto pode ser avaliada pelo comportamento do manto de enrocamento²³, que ocorre a montante da barragem do Vacacaí Mirim.

²² Rochas subterrâneas ou ocorridas em sub-superfície.

²³ Acúmulo de fragmentos de rocha, utilizado como volume principal de uma barragem ou como proteção do parâmetro de montante.

3.1.4.1 Comportamento hidrogeológico

A permeabilidade desta unidade é fissural. Nestas condições, a água pode se deslocar com relativa facilidade através das fraturas. A região, porém, tem pouca capacidade de armazenamento, ficando limitada ao espaço de fraturado entre os blocos de rocha, a qual em si, não armazena água, mas sim altera a mesma.

Na zona de contato entre derrames, tendo ou não delgadas camadas de arenito, ou mesmo nas zonas de diaclasamento horizontal a permeabilidade horizontal é maior que a vertical, ocasionando muitas vezes surgências de água nas vertentes. Na zona de diaclasamento colunar a permeabilidade vertical é maior.

A infiltração encontra barreiras bastante diferenciadas para atingir as fissuras. A espessura do solo residual do basalto pode apresentar desde medidas insignificantes, como nos neossolos litólicos, até profundidades que correspondem ao corpo todo do derrame. Sobre os solos residuais podem ser encontrados ainda o colúvio, considerado permeável ao menos moderadamente devido a inconsolidação do material.

Os problemas geotécnicos possíveis estão ligados à instabilidade das vertentes. Numa permeabilidade fissural, a subida do nível piezométrico (aquífero) é rápida, em períodos de chuva. A pressão da água influencia os depósitos coluviais que pode perder a estabilidade provocando escorregamentos, ou age sobre partes do maciço rochoso parcialmente intemperizado, em locais íngremes, provocando queda de blocos de rocha.

A estabilidade das vertentes cortadas nessa formação está na dependência principalmente do tipo de material cortado (basaltos compactados, arenitos intertrapeanos, etc.) Na BR – 158 é comum o fenômeno de queda de bloco de rochas. Tal unidade frequentemente apresenta fenômenos de rastejo, indicando a instabilidade das vertentes naturais ou artificiais onde se encontram. Durante as chuvas, são relativamente frequentes os escorregamentos no colúvio que assenta sobre essa formação. Tais escorregamentos transformam-se muitas vezes em corridas de terra.

3.1.5 Arenito Botucatu

Esta formação é composta por arenitos essencialmente quartzosos contendo feldspatos alterados cimentados por sílica predominantemente ou óxido de ferro, com estratificação cruzada de grande porte.

O solo é arenoso e friável, sendo um argissolo vermelho escuro abrupto com textura arenosa/argilosa, fazendo parte da unidade de mapeamento de solo São Pedro do Sul. A descrição dos solos é feita de forma mais detalha no item de mapeamentos.

3.1.5.1 Comportamento hidrogeológico

O Arenito Botucatu possui uma alta permeabilidade, bem como seus solos residuais. A ocorrência de água se processa por infiltração através do solo na área de exposição desta unidade, a qual é pequena. A recarga indireta por drenagem descendente a partir dos derrames de basalto é outra modalidade de reposição de água para a unidade.

O mergulho geral das camadas é para norte, fazendo com que exista um fluxo geral nesse sentido nas camadas mais interiorizadas. Próximo à vertente que constitui a Serra, devido a condição de topografia, há um fluxo para jusante da vertente motivado pelo rebaixamento do nível piezométrico (nível de água no aquífero), em consequência da descarga nas fontes que bordejam essa área geomorfológica. Pelo mesmo motivo, a maior espessura dessa rocha não é produtiva. Quanto à subida do nível piezométrico, durante os períodos de chuva, salienta-se que essa é menos acentuada em meios porosos que em meios fissurado, fazendo com que a instabilização causada nos depósitos coluvionares adjacentes será menor, porém não desprezível.

3.1.5.2 Propriedades geotécnicas

Esta formação tem um comportamento geotécnico que varia desde rocha dura e muito abrasiva, quando muito silicificada como em locais próximo aos topos e junto a escarpas, até arenito brando e mesmo areia com pouca coesão, quando alterada.

A resistência à erosão das rochas consolidadas é alta, porém das partes alteradas do solo residual arenoso é baixa. Quedas de blocos de arenito ocorrem em vertentes altas e quase verticalizadas, como na BR – 158, e esporadicamente junto às escarpas dessa rocha.

3.1.6 Riólito Serra Geral

A sequência ácida da Formação Serra Geral é constituída por delgados derrames de vitrófiros²⁴ e um derrame superior muito espesso, de riólito ou riodacito, com textura de quartzo e feldspato, cor cinza claro. Em alguns locais sua espessura pode chegar a 100 metros.

O riólito, como rocha vulcânica, tem um comportamento semelhante ao dos basaltos, porém com algumas diferenças, sendo, por exemplo, menos fraturado.

O grau de alteração do riólito é menor que nos basaltos, estando a rocha abaixo do manto de alteração praticamente sã, mas a alterabilidade não é totalmente desprezível. Cortes em rocha na Br – 158 mostram sinais de alteração do solo, correspondendo ao horizonte de transição entre rocha e solo com alguns centímetros, ocorridos provavelmente após a abertura da estrada.

3.1.6.1 Solo

²⁴ Rocha magmática de textura porfírica.

A espessura do solo e do manto de alteração varia. Nas declividades altas onde não aflora a rocha, aparecem os solos litólicos com fragmentos do riólito misturados a material terroso. Junto à convexidade da vertente o solo residual pode apresentar espessura de cerca de 1 metro.

No solo desta unidade encontram-se frequentemente matacões ou blocos de rocha, muitos dos quais devido a erosão das partes terrosas envolventes, se sobressaem na superfície.

3.1.6.2 Comportamento hidrogeológico

O riólito possui um comportamento semelhante aos dos basaltos. A permeabilidade é de fissuras, mas estas são mais espessadas, diminuindo assim a capacidade de armazenamento e a permeabilidade do maciço como um todo.

A infiltração se processa através do solo residual, geralmente de pouca espessura.

3.1.6.3 Propriedades Geotécnicas

O riólito comporta-se como rocha dura. O substrato rochoso, para fins de escavação, comporta-se como material de terceira categoria. O solo é escavável como material de primeira categoria.

Esta unidade, como fundação, não apresenta problemas especiais. O solo geralmente comporta-se como pré-adensado. As vertentes em rocha são estáveis mesmo em posições próximas as verticais.

Devido a pouca espessura do solo na Serra, as estradas vicinais assentam-se, às vezes, sobre o horizonte R ou seja, sobre a própria rocha de origem, a qual apresenta suficiente resistência às cargas e à erosão. O comportamento relativo à infiltração de esgotos é semelhante ao dos basaltos.

3.2 Distribuição das declividades da área em estudo

Diversos são os modelados do relevo na superfície do planeta, podendo estes receber diferentes denominações, entre elas: ondulados, movimentados, declivosos, entre outros. E este é um fator que ajuda a entender as proporções dos processos erosivos, bem como os movimentos de massa, os quais atuam com mais intensidades em vertentes mais inclinadas.

A declividade de uma vertente trata-se do grau de inclinação que o local tem em relação a um eixo horizontal. Ou seja, vertentes mais inclinadas possuem uma maior declividade. Quanto mais inclinada uma vertente, maiores são os riscos dos processos erosivos se acentuarem, bem como a movimentação gravitacional de massa ocorrer. A declividade de um terreno é verificada através das proximidades das curvas de nível presentes na carta topográfica, sendo que quando estas estiverem mais próximas, a declividade será maior, e quanto mais afastadas estiverem as curvas, menor será a declividade do local.

O mapa de declividade serve como fonte de informações sobre as formas do relevo, as quais são necessárias para, por exemplo, o estabelecimento de áreas de preservação permanente de morros, mapas de aptidões agrícolas, riscos de erosão, restrições de uso e ocupação urbana, entre outras funções e utilidades.

Nesse caso, têm-se a partir da observação do mapa de declividades (figura 12), as possíveis áreas suscetíveis a movimentos de massa, devido a sua inclinação, bem como aquelas pré-dispostas a evoluírem de movimentos de massa lentos para movimentos de massa rápidos. Unido a outros fatores é possível estabelecer também através das classes de declividade as áreas de maior e menor infiltração; uma vez que, quanto maior a declividade do terreno, menor a ocorrência de infiltração de água no local, enquanto o contrário também é verdadeiro, quanto menor a declividade do terreno, maior a infiltração de água.

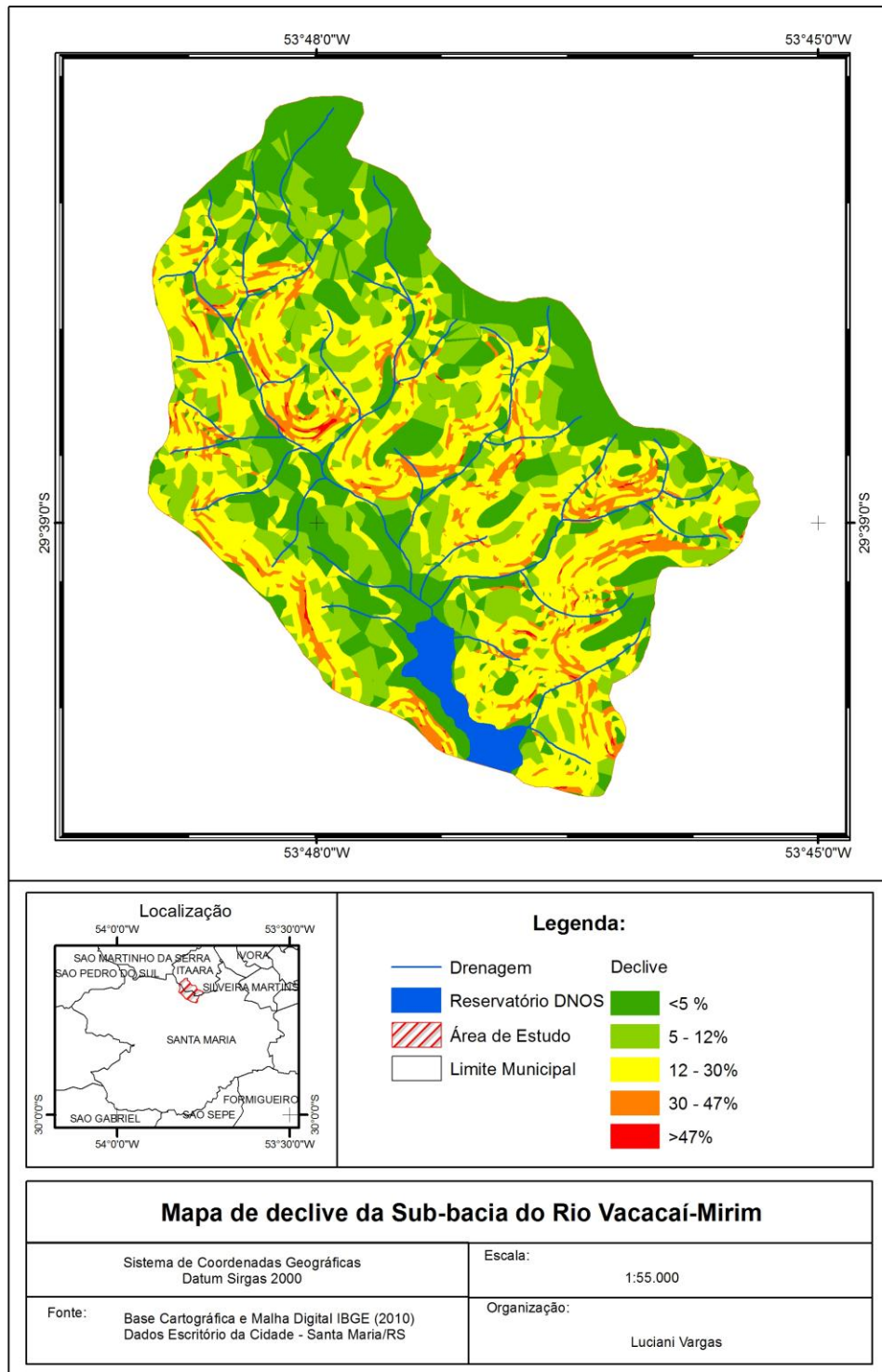


Figura 12: Mapa de declividade da sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim
Org, Vargas, L.

As áreas mais inclinadas tendem a não absorverem as águas das chuvas, pois estas ao tocarem o solo, geralmente sob efeito splash²⁵, acabam por escoarem sem serem infiltradas, ou seja, a água toca o solo, mas acaba por sofrer processo de escoamento superficial²⁶.

Através do mapa de declividades é possível observar que a área de estudo encontra-se, em sua maioria, inserida em áreas de declividade de até 30%, o qual é o limite determinado pela legislação federal para o uso e ocupação do homem sem restrições. Tal fato indica que a área está sujeita, em grande parte, a erosão superficial, a qual observou-se ser agravada pelo desmatamento para a criação de gado e produção agrícola, o que gera áreas de erosão linear²⁷, causada pelo cultivo de lavouras, e áreas de erosão difusa ou laminar²⁸, causadas pela criação de gado.

Sabe-se que o desmatamento e/ou retirada da cobertura vegetal, em determinada área, aumenta a velocidade do escoamento superficial, criando assim, caminhos preferências para a água, o que gera aberturas de sulcos e ravinas no terreno.

Analisando o mapa é possível inferir que a área de estudo possui declividades de 0% até 12% distribuídas de forma bastante homogênea em toda a área da sub-bacia. Segundo De Biase (1992), as áreas com declividades de até 12% de inclinação são o limite máximo para emprego de mecanização para a agricultura. Explica-se ainda, que as áreas classificadas entre 0% e 5% de declividade são consideradas estáveis, não havendo ocorrência de movimentação de massa, mas sim áreas suscetíveis a erosão superficial.

Já as áreas de 30 a 47% encontram-se bem mais limitadas quanto a sua distribuição espacial dentro da área da sub-bacia e são aquelas onde somente é permitido o corte raso e ainda assim, somente se sustentado pela cobertura de florestas. Quanto às áreas acima de 47%, nota-se apenas uma pequena porcentagem, na qual não é permitida a derrubada de floresta nativa, visto que áreas acima dos 45% de inclinação são consideradas APP (Áreas de Preservação

²⁵ Ação mecânica do impacto das gotas de chuva nas rochas e/ou solo; escoamento difuso das águas, também conhecido como erosão laminar, em que as águas escoam de forma dispersa.

²⁶ Deslocamento da água na superfície da terra e nos cursos d'água naturais.

²⁷ Quando as águas escoam pelas irregularidades do terreno, formando diversos filetes.

²⁸ Quando as águas escoam de forma dispersa, não formando filetes (enxurradas).

Permanente). Segundo o Código Florestal Brasileiro, institui-se que nos topos de morros e montanhas devem ser conservadas todas as áreas com altura mínima de 100m²⁹ e inclinação média maior que 25°, e nas vertentes, todas as áreas com declividade superior a 45 graus.

De acordo com a declividade do terreno, constata-se áreas bastante pontuais para a ocorrência de movimentos lentos potenciais a movimentos rápidos, sendo estas distribuídas em diferentes pontos da área de estudo. Pelo mapa, as áreas são visualizadas através da coloração avermelhada, correspondendo a locais acima de 47% de inclinação.

²⁹ Correspondente a 45° na linha de maior declive.

3.3 A hipsometria da sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim

Dentre outros, os estudos hipsométricos possibilitam conhecer o relevo de uma região de forma mais aprofundada e, também, quais são os fenômenos que se processam em sua superfície como, por exemplo, possibilidade de inferir processos erosivos, identificação de supostas área de inundação e movimento gravitacionais de massa.

Fatores como a hipsometria do local e o alto índice de chuvas ocorridas na região nos meses de inverno, são deflagradores potenciais de movimentos gravitacionais de massa. Fatores esses, que reunidos ao componente da gravidade tornam o norte da sub-bacia uma área não recomendada para uso, visto que são áreas de altitude entre de 380 a 460m, bem como indicavam as primeiras observações dos trabalhos de campo, onde identificamos na imagem cicatrizes de possível queda de bloco (figura 13).



Figura 13: Área de possível queda de blocos ao norte da sub-bacia. Org, Vargas, L.

A representação da hipsometria, através de mapas temáticos ou em perfis

topográficos, é um importante instrumento para a identificação de superfícies com níveis altimétricos previamente conhecidos. Em escala de detalhes, em especial, sobre os perfis topográficos, podem ser feitas inferências quantitativas quanto à extensão de problemas oriundos da movimentação do relevo, ao aprofundamento da drenagem e ainda à declividade das vertentes. Todas estas informações complementam aquelas de caráter qualitativo na investigação da evolução e dinâmica da paisagem, ou seja, através do mapeamento hipsométrico da área de estudo é possível diagnosticar locais onde a energia do relevo é mais intensa, potencializando assim, movimentos de massa lentos a evoluírem para movimentos de massa rápidos.

Através do mapa hipsométrico (figura 14) buscou-se apresentar as áreas de baixas e altas altitudes do local de estudo, ou seja, através desse mapa foi possível fazer as primeiras inferências frente às áreas susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa.

As áreas de baixa altitude ficam localizadas próximas ao centro da sub-bacia hidrográfica, a qual tem variação de áreas menores que 140 metros até 220 metros de altimetria. Essas são áreas com probabilidade de movimentação lenta de movimentos de massa, os quais de imediato não representam riscos a população local, no entanto são observados indicativos de processos lentos e contínuos na área de vertente, podendo deflagrar episódios de maior expressão e magnitude.

Nessa região da área de estudo são observados cortes de vertente e a retirada da cobertura vegetal para a construção de moradias, estradas e a manutenção de lavouras de subsistência, fatores que aumentam o potencial de escoamento superficial, elevando a probabilidade de movimentos de massa do tipo rastejamento, classificados como movimentos lentos, indicados pela inclinação da vegetação, como as árvores ou mesmo postes ou troncos.

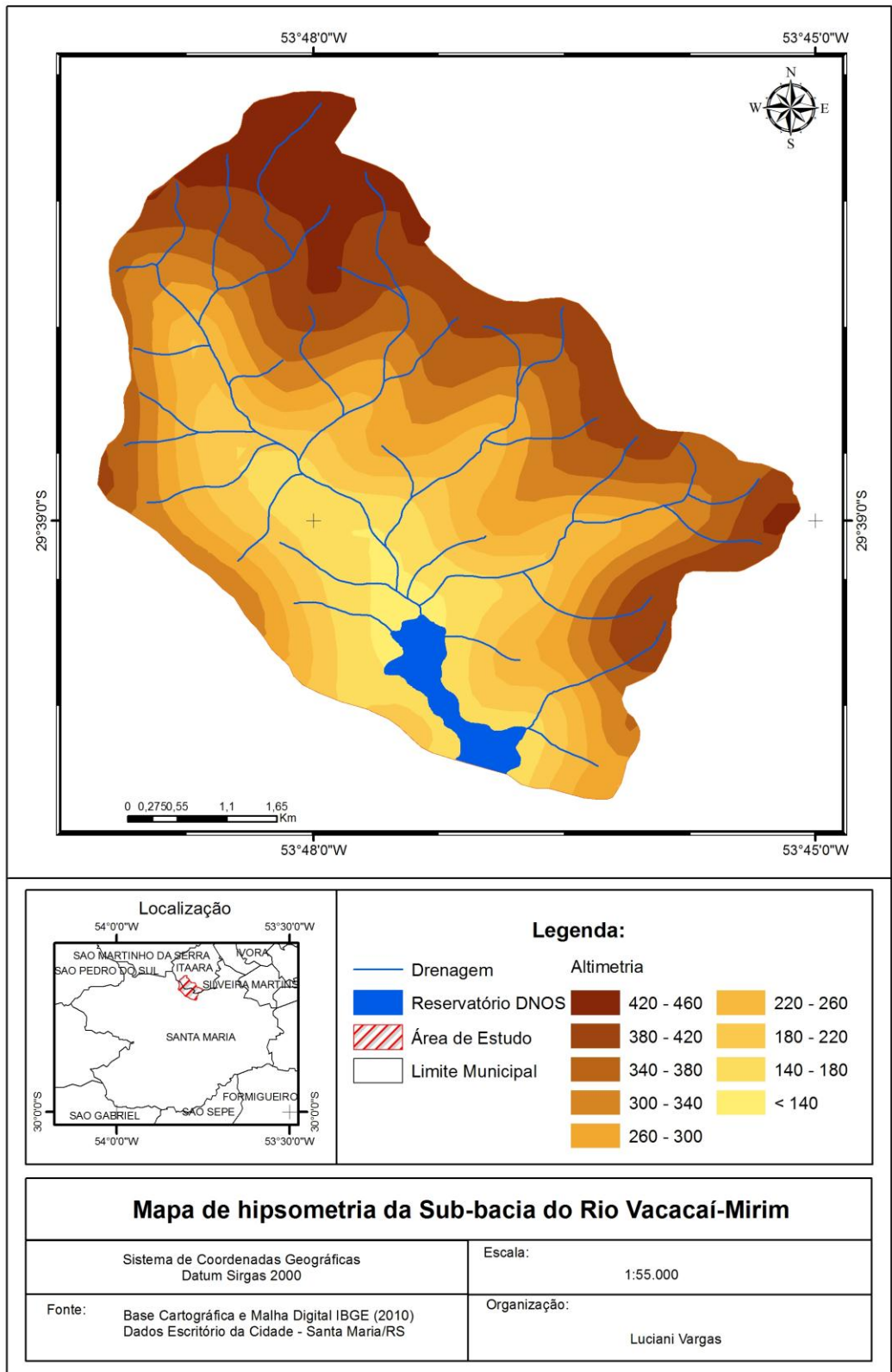


Figura 14: Mapa de Hipsometria da sub-bacia do rio Vacacaí-Mirim
Org, Vargas, L.

Para Souza (2001) na sub-bacia predominam áreas de intensa dissecação fluvial, com diferenças altitudinais bastante significativas distribuídas ao longo de quase toda a área de estudo. Apenas mais ao norte, área que corresponde com a cabeceira do rio e naquela próxima ao reservatório é que o relevo aparece menos inclinado, sendo que a primeira corresponde ao topo do planalto e a segunda, à região mais próxima da depressão, apresentando características relativas àquelas morfoescultural. Trata-se de uma zona de transição entre o topo do planalto e a depressão periférica.

3.4 A litologia da área de estudo

A geologia do local de estudo, restringe-se a quatro unidades estratigráficas. São elas:

3.4.1 Formação Caturrita

A Formação geológica Caturrita acontece unicamente no estado do Rio Grande do Sul, sendo que sua datação pertence ao período Triácico, o qual se estende desde cerca de 250 a 200 (milhões de anos atrás). Pertence ao primeiro período da Era Mesozoica e fica compreendido entre o Permiano e Jurássico.

O membro Caturrita constitui geomorfologicamente a porção basal da vertente da região serrana (rebordo do Planalto Meridional), onde comumente está recoberta por solos coluvionários. A faixa de altitude média em que a formação ocorre está compreendida entre 140 e 260 metros, como é possível observar no mapa de hipsometria.

As litologias mais representativas dessa formação constituem-se de camadas de arenito finos a médios, de cor rosa a cinza-clara e composição essencialmente quartzosa, que se intercalam, frequentemente, com camadas ou lentes de siltitos arenosos de espessura menor e cor avermelhada. Arenitos de textura mais grossa são comuns junto à base. O arenito médio mostra estratificação cruzada e se apresenta mais cimentado enquanto o arenito fino, que se desagrega em pastilhamentos, realça uma estratificação plano-horizontal. Mais ao norte da área de estudo, aparecem camadas mais espessas de arenito de cor rosa avermelhada que se intercalam com outras de siltito arenoso vermelho.

Na subida da serra, expõem-se camadas de arenito médio a fino de cor rosa contendo espessura menor de conglomerado intraformacional, em cuja matriz de cor cinza-clara estão imersos seixos de siltito vermelho. A estratificação de arenitos é cruzada de grande porte, e por vezes, plano-paralela.

No contato superior com a Formação Botucatu, o arenito eólico com estratificação cruzada repousa, através de contato nítido e plano-inclinado, sobre uma camada de arenito fluvial com estratificação plano-paralela que contém, no seu topo, um pavimento de espessura variável e em torno de 20 – 30 centímetros, constituído de seixos de arenito silicificado, imersos numa matriz arenosa de granulometria média a fina e cor rosa-avermelhada, assinalando uma superfície de discordância entre duas formações.

Para Maciel Filho (1990) os arenitos da Formação Caturrita apresentam resistência à erosão, normalmente, baixa, principalmente quando o solo superficial é retirado, provocando o avanço rápido da erosão com a formação de sulcos no terreno. Os problemas geotécnicos estão associados, principalmente, à possibilidade de escorregamento e de queda de blocos de rochas.

3.4.2 Formação Arenito Botucatu

A Formação geológica Arenito Botucatu é provinda da Bacia do Paraná e tem ocorrência a partir do final do Triássico (de 250 a 200 milhões de anos) e durante quase todo o Jurássico (entre 145 a 600 milhões de anos).

A área de ocorrência dessa Formação limita-se a uma faixa relativamente estreita constituindo a porção média a basal do rebordo do Planalto dos morros testemunhos da região serrana. No entanto em determinados locais, essa unidade está ausente, com os primeiros derrames basálticos da Formação Serra Geral assentando diretamente sobre os arenitos da Formação Caturrita.

A litologia dominante dessa Formação é representada por arenitos médios e finos, bem selecionados, de cor rosa, compostos essencialmente de quartzo e pouco feldspato, com grãos arredondados e foscos. Estratificação cruzada eólica, de grande porte, está invariavelmente presente.

Na subida para Silveira Martins, ocorre o contato dos arenitos eólicos da Formação Botucatu com o primeiro derrame de composição basáltica da Formação Serra Geral.

Ao longo da vertente do Planalto, observam-se excelentes cortes nos arenitos eólicos com estratificação cruzada. Neste trajeto os arenitos estão recobertos por derrames de lavas ácidas da Formação Serra geral, constatando-se a ausência daqueles de composição basáltica.

Maciel Filho (1990), explica que o arenito Botucatu possui comportamento geotécnico que pode variar desde rocha dura e muito abrasiva, em locais próximos do topo e junto à escarpas, até arenito brando e areia com pouca coesão, quando alterado. Nas partes litificadas, possui alta resistência à erosão, porém essa resistência é baixa nas partes alteradas e de solo residual, facilitando a ocorrência de movimentos de massa lentos como rastejamento ou ainda escorregamento de terra.

3.4.3 Formação Serra Geral Inferior e Superior

A Formação Serra Geral é uma formação geológica constituída por rochas magmáticas relacionada aos eventos de vulcanismo fissural (derrames) e intrusões que recobrem 1,2 milhões de km² da Bacia do Paraná, abrangendo toda a região centro-sul do Brasil e estendendo-se ao longo das fronteiras do Paraguai, Uruguai e Argentina. Sua datação se dá entre o período Cretáceo (145, 5 e 99, 6 milhões de anos) estendendo até o Terciário (65,5 milhões de anos até o período atual).

Esta Formação é subdividida em duas sequências; a Básica Inferior e a Ácida Superior – de derrames de lavas e separada, a leste por uma camada de arenito Botucatu, abrangendo a maior parte da área, correspondem à região do Planalto e que recobre também os morros testemunhos que acompanham o rebordo da zona de escarpa (Serra Geral) e já supracitadas, sendo Riólito Serra Geral e Basalto e Diabásio Serra Geral.

A sequência de derrames superiores de composição ácida aparece a partir da altitude de 280-300 metros até a superfície superior da Serra Geral e do Planalto, recobrendo aqueles de filiação basáltica. Separando os derrames ácidos dos básicos, em geral, está presente uma camada com espessura variável de arenito intertrap e que foi possível de ser mapeada em vários locais. Assim, na parte centro-

leste da área, a camada mais espessa de arenito ocorre entre as duas sequencias de derrames de lavas ácidas e básicas, onde a camada de arenito se confunde com a Formação Botucatu, ocupando o intervalo entre a Formação Caturrita e os derrames ácidos da Formação Serra Geral; na parte centro-oeste, a camada mais espessa de arenito ocorre entre derrames de lavas basálticas.

Entretanto com certa frequência, os derrames ácidos também assentam diretamente sobre a Formação Botucatu, como por exemplo, na subida da vertente do Planalto, situado na porção centro-sul do mapa. As rochas da sequência ácida são representadas por riólitos granofíricos de cor cinza-clara e textura afanítica uniforme, com feldspato alcalino constituindo abundante intercrescimento micrográfico.

As formações a seguir descritas, já foram citadas, sendo referente ao uso da carta geotécnica, como caracterização de zonas não adequadas à ocupação humana. Abaixo as formações são melhores detalhadas.

3.4.3.1 Riólito Serra Geral

Esta unidade caracteriza as intrusões hipoabissais relacionadas ao vulcanismo Serra Geral. Essas intrusões apresentam um fraturamento intenso em várias altitudes motivando a compartimentação em pequenos blocos angulares com cerca de 10 – 20 centímetros. A intemperização atinge normalmente todo o corpo intrusivo em maior ou menor intensidade. Na BR-158, subida da Serra, pequenos corpos intrusivos na Formação Caturrita estão alterados, podendo variar de blocos à massas argilosas. O solo residual desenvolvido sobre o diabásio geralmente é raso e argiloso mole, ocorrendo nas fraturas, o que facilita os escorregamentos, mesmo em declividades não muito fortes, levando esses materiais a extensos deslocamentos, os quais são frequentemente visíveis na BR-158.

Durante os trabalhos de campo da presente pesquisa foi possível verificar a queda de material rochoso, caracterizando o tipo de movimento de massa queda de blocos, sob a BR – 158 e também escorregamentos de terra. Os episódios de queda de blocos supracitados ocorreram durante um período de índices pluviométricos

elevados, o que desencadeou relativo deslocamento de material vertente abaixo, modificando significativamente a paisagem local.

3.4.3.2 Basaltos e Diabásio Serra Geral

A formação Serra Geral é constituída por duas sequências vulcânicas: uma básica e outra ácida, sendo que o diabásio, já descrito, pertence à primeira sequência.

A sequência inferior tem uma constituição que varia de fato, de basalto a andesito. Através de estudos, admite-se a existência de cinco derrames, sendo que o primeiro assenta, por vezes, diretamente sobre a Formação Caturrita. Formam estes derrames corpos de formas tabulares, mas não necessariamente contínuas e de mesma espessura, inexistindo em alguns locais, e onde são espessos apresentam a parte central mais compacta.

Esta unidade apresenta uma intensa fissuração, predominantemente vertical no meio do derrame e horizontal no topo e na base. O espaçamento entre as fraturas gira em torno de 20 cm aproximadamente. O contato entre os derrames pode apresentar delgadas camadas de arenito com exceção do intervalo entre o terceiro e o quarto derrame onde ocorre uma espessa camada de Arenito Botucatu.

É raro encontrar-se um basalto sem sinais de alteração. Alguns derrames encontram-se totalmente alterados. O último derrame de basalto na BR – 158 está totalmente alterado, enquanto o de cima encontra-se menos alterado. A alterabilidade do basalto pode ser avaliada pelo comportamento do manto de enrocamento³⁰, que ocorre a montante da barragem do Vacacaí Mirim.

Apurou-se em campo que o plano de fraturamento de alguns blocos que sofreram queda na Br – 158 se deu de forma planar, indicando as fraturas horizontais como zona de fraqueza da rocha. As fraturas possibilitam maior infiltração da água na rocha, acelerando o processo de alteração desta.

³⁰ Acúmulo de fragmentos de rocha, utilizado como volume principal de uma barragem ou como proteção do parâmetro de montante.

A seguir (figura 15), são visualizadas as formações supracitadas que compõem a área de estudo da presente pesquisa.

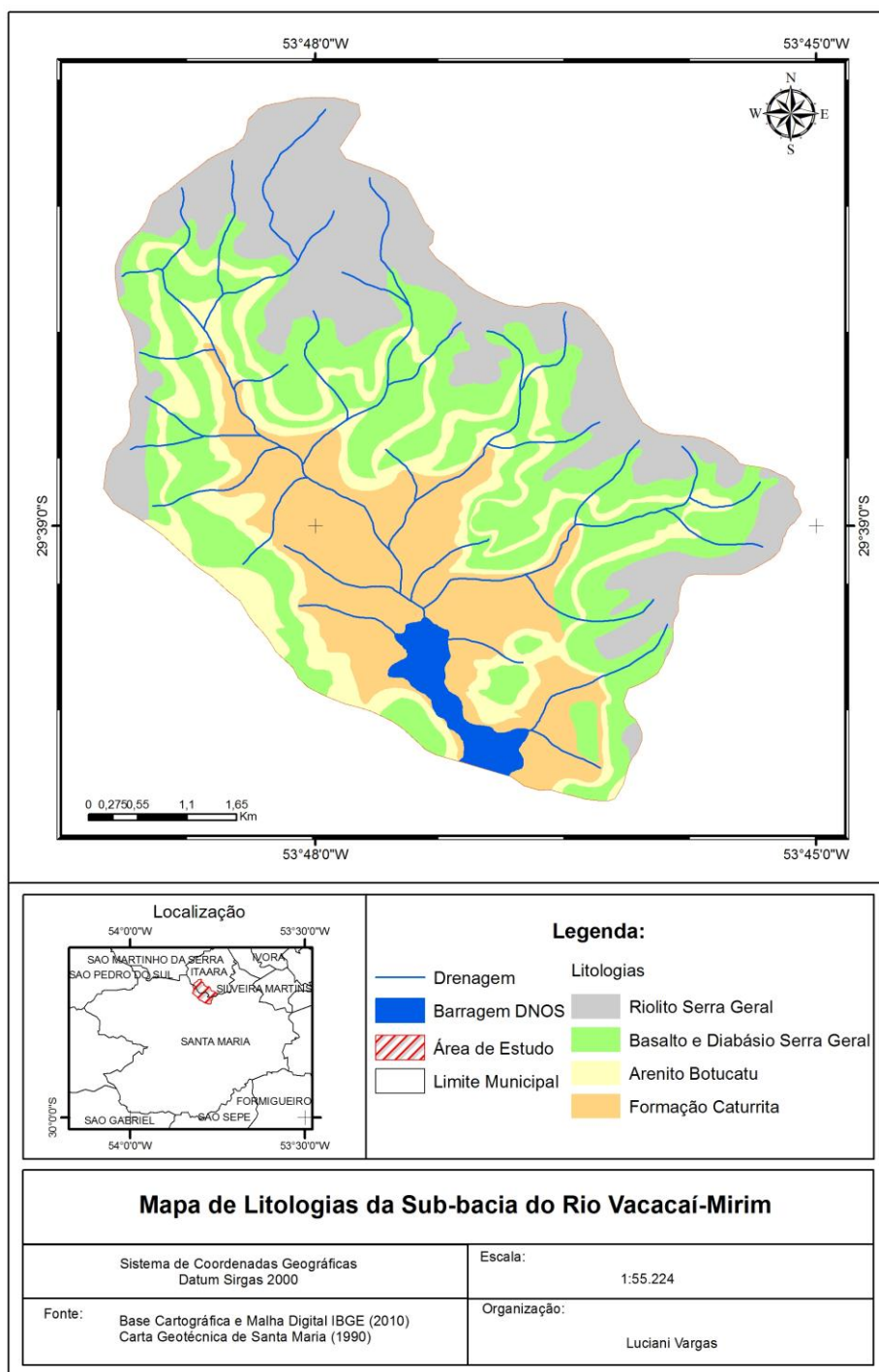


Figura 15: Mapa de Litologias da sub-bacia do rio Vacacaí-Mirim Org, Vargas, L.

3.5 Solos da região de estudo

A classificação de solos da região deu-se com base nos dados da Embrapa³¹, à qual vincula-se a Ageitec³². Foi necessário reunir também dados da carta geotécnica de Santa Maria/ RS, para completar o mapeamento da área de estudo. Devido ao mapeamento se dar em escala de elevado grau de generalização, utilizou-se ainda o documento cartográfico da tese de doutoramento de Souza (2001), o qual tem como base cartográfica, o mapa de solos – RADAMBRASIL (1:1.000.000). Tal mapeamento apresenta três manchas de diferentes tipos de solos, que ocorrem na área de estudo.

De acordo com Souza (2001) a área de estudo apresenta três manchas de tipos diferentes de solo, as quais tiveram suas nomenclaturas atualizadas para as classificações abaixo descritas:

- PBa-1 – Podzólico bruno acinzentado, atualmente classificado como Alissolos;
- Re-16 – Solos litólicos eutróficos, atualmente classificado como Neossolos litólicos;
- PEa-10 – Podzólico vermelho-escuro álico, atualmente classificado como Argissolos.

Ao norte da área de estudo, nas partes mais elevadas, identifica-se uma mancha classificada como Alissolos, coincidindo parcialmente com as rochas da sequência superior da Formação Serra Geral, o Riólito Serra Geral. Na porção sul e sudeste da sub-bacia, ocorre a mancha atualmente classificada como Argissolos e no restante da área de estudo, perfazendo praticamente toda a sub-bacia, predomina a mancha classificada como Neossolos Litólicos. Souza ressalta que essa coincidência entre solos e rochas deve-se parcialmente à elevada imprecisão

³¹ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) é uma instituição pública de pesquisa vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil.

³² Agência Embrapa de Informação Tecnológica.

dos dados pedológicos, visto que na realidade a distribuição dos solos está mais diretamente relacionada com o relevo do que com a geologia.

De acordo com a atualização do mapeamento, os solos da área de estudo classificam-se da seguinte maneira:

3.5.1 *Alissolos*

De acordo com o mapeamento de Souza (2001) a mancha localizada mais ao norte, com classificação atualizada para Alissolos, abrange solos argilosos e médios argilosos, fazendo com que possuam uma elevada porosidade, contudo, uma permeabilidade reduzida. O elevado grau de porosidade e reduzida permeabilidade implica uma maior capacidade de retenção de água pelo solo, em decorrência da maior área superficial específica, a qual pode proporcionar um maior ataque dos agentes responsáveis pelo intemperismo químico.

O fato supracitado pode favorecer a ação dos processos erosivos do tipo desestabilização de vertentes, entretanto a erosão também se deve à inclinação das vertentes, sendo verdadeira somente nas vertentes de maior declividade.

3.5.2 *Neossolo Litólicos*

Os Neossolos Litólicos são solos rasos e argilosos, característica que os deixa sujeitos a inundações frequentes, visto que a rocha de origem se mantém sempre próxima à superfície. Tratam-se de solos constituídos por material mineral, não hidromórficos³³, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos tão pouco desenvolvidos que de modo geral, não apresentam horizonte B.

³³ Solos que não retém água.

Os Neossolos Litólicos apresentam alta susceptibilidade à erosão e a movimentos de massa lentos, do tipo escorregamento e rastejamento, não sendo recomendados para uso com vias de circulação urbano ou rural e nem implantação de agricultura e tão pouco moradias.

De acordo com o mapa de solos (figura 16) a classificação predominante na área de estudo é de Neossolo Litólico, fazendo com que o solo seja compreendido como um fator deflagrador para a ocorrência de movimentos de massa no local. Os episódios de movimentos de massa registrados durante o período de estudo encontram-se inseridos na região de predominância de Neossolos Litólicos.

3.5.3 Argissolo

Quanto à mancha com classificação atualizada para Argissolo, Souza (2001) explica que esta é composta de três tipos de solos, todos podzólico, com textura principalmente argilosa, presente em topos de morros, o que confere um caráter de relativa resistência à ação mecânica dos agentes erosivos, com maior resistência a erosão superficial, porém sujeita a escorregamentos.

Solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural (Bt) de argila de atividade baixa. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico³⁴.

Os Argissolos são solos provenientes de rochas cristalinas ou sob influência destas. Apresentam horizonte de acumulação de argila, com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita.

Os Argissolos têm tendência à erosão, sobretudo quando o gradiente textural é mais acentuado, e tem-se a presença de cascalhos e de um relevo mais movimentado com fortes declives. Assim, os Argissolos apresentam susceptibilidade moderada aos processos de movimento de massa, devendo seu uso ser feito com técnicas especiais de manejo.

³⁴ Horizonte constituído predominantemente de material orgânico.

De acordo com o mapeamento realizado por Souza (2001) verifica-se uma predominância de Neossolos Litólicos na sub-bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim, sendo essa a classificação que domina praticamente toda a área de estudo.

Quanto aos Argissolos observa-se uma pequena porção no setor sul e sudeste da área de estudo, correspondendo a Formação litológica Arenito Botucatu à sudoeste e ao sul Basalto e Diabásio Serra Geral .

Quanto a presença de Alissolos estes encontram-se limitados aos setor Norte da área de estudo, apresentando correspondência com os locais de domínio da Formação Riólito Serra Geral.

A seguir, vê-se o mapa de solos (figura 16) gerado como base para a presente pesquisa.

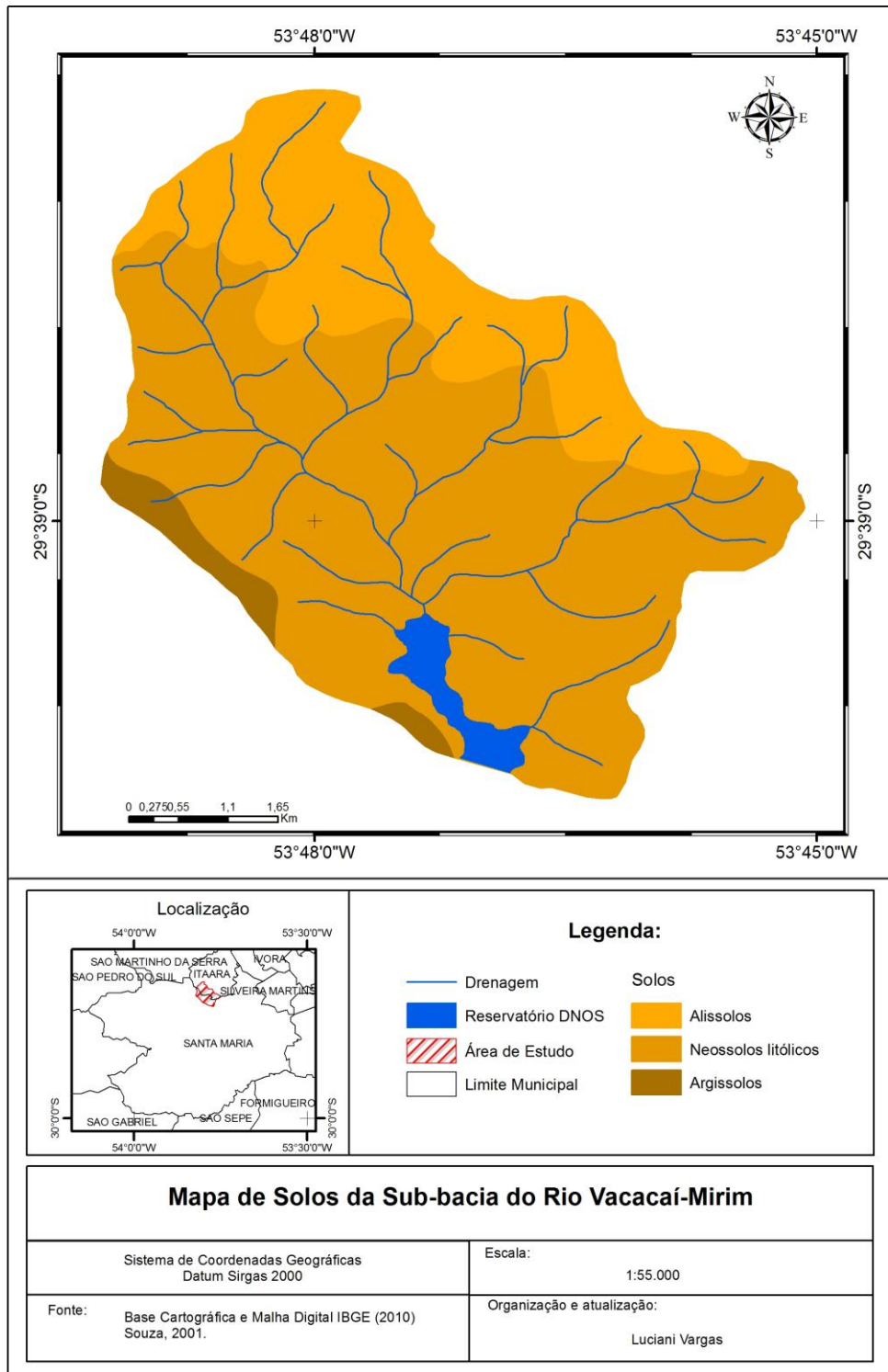


Figura 16: Mapa de solos da sub-bacia do rio Vacacaí Mirim.
Org. Vargas, L.

3.6 Caracterização e ocupação da área de estudo através de trabalhos de campo

Nos trabalhos de campo realizados ao longo do período de estudo, foi possível constatar a existência de episódios de movimentos de massa nas áreas de vertentes, junto à sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim a montante da barragem do DNOS. Foram observados e diagnosticados problemas de instabilidade de vertentes, tais como: erosão superficial, voçorocas, quedas de blocos e também construções próximas as vertentes. Na sequência, algumas fotografias (figuras 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 24) evidenciam os fatos.

Verificou-se ainda que a sub-bacia do rio Vacacaí Mirim, a montante da barragem do DNOS, encontra-se delimitada em uma área de suscetibilidade natural com agravantes da ação humana, principalmente em áreas próximas as vertentes côncavas. No local existem áreas comprometidas gravitacionalmente, as quais podem sofrer movimentos de massa, bem como o recuo de determinadas vertentes (perda de solo, alterando a área da vertente), como veremos nas fotografias a seguir.

Na figura 17, localizada na estrada Cecília Silveira, (com coordenadas 29° 65' 24" S e 53° 79' 89" W) observou-se um episódio de queda blocos, ocorrido possivelmente pelo corte do terreno junto a vertente em virtude da construção da estrada. Os blocos se desprenderam do maciço devido à perda de material de apoio, deslocando-se em queda livre ao longo da área de queda.



Figura 17: Queda de pequenos blocos.
Org. Vargas, L.

A figura 18, a seguir é de uma propriedade particular localizada nas coordenadas UTM: 0228026m de latitude e 6717052m de longitude. Tal fotografia evidencia a cicatriz do começo de um movimento de massa do tipo lento, o qual se trata possivelmente de um rastejamento. No local, observou-se a criação de gado, o que caracteriza um possível agravante para o processo lento de movimentação do relevo, visto que o pisoteio de animais de grande porte atua criando caminhos preferências pelos quais as águas da chuva escoam de forma superficial.

O escoamento superficial atua de forma a intemperizar as áreas de vertente, visto que a erosão gerada através das águas da chuva, pode ao longo do tempo evoluir para ravinas e/ou voçorocas, as quais contribuem para a evolução de movimentos de massa nas áreas de vertentes. Tal contribuição se dá devido ao fato das águas da chuva seguirem os caminhos preferenciais criados pelo gado, se concentrando assim em filetes de água, formando sulcos que posteriormente evoluem para ravinas.



Figura 18: Cicatriz de movimentação lenta do relevo.
Org. Vargas, L.

Com os trabalhos de campo, observou-se a nítida diferença entre as ocupações da área de estudo, mostrando o quanto o poder aquisitivo da população influencia na forma de fazer uso dos locais, visto que essa causa pressão sobre o meio físico, produzindo aglomerados populacionais e ocupando áreas vedadas a esse fim. Assim, destaca-se que no setor leste da sub-bacia a ocupação se dá de forma ordenada, ou seja, a população ali residente, com a qual foi possível conversar e confirmar dados coletos em campo, respeita os limites dos terrenos, não os excedendo e não ocupando áreas de vertentes com forte declividade.

Os padrões habitacionais mais a nordeste da sub-bacia, são diferenciados, visto que a população do local possui um melhor poder aquisitivo, possibilitando assim, construir de maneira diferente, ou seja, constatação possível devido ao modo de vida observado, onde as casas são de alvenaria e por vezes projetada de acordo com o meio, não agredindo e/ou degradando o ambiente.

As casas são construídas de acordo com as curvas de nível da área, respeitando assim, as vertentes do terreno. Outra observação feita na área de estudo, foi o cultivo de uvas, (figura 19) o qual é feito também de acordo com a declividade do terreno. O parreiral possui drenagem em meio aos pés de uvas, permitindo um melhor escoamento das águas, fazendo com que essas fluam

naturalmente e não se acumulem, e assim, não ocorram pontos de escoamento superficial.

Observa-se também, as lavouras em áreas planas (figura 20), as quais são cultivadas obedecendo à declividade do terreno e também a conservação de mata nativa junto a vertente da área.



Figura 19: Cultivo de uvas.
Org. Vargas, L.



Figura 20: Lavouras em áreas planas.
Org. Vargas, L.

O padrão de habitações e cultivos manteve-se o mesmo, salientando mais uma vez as diferenças de construções e ocupações dos moradores, fato este, determinado pela diferença de poder aquisitivo dos moradores da região, observado durante os trabalhos de campo e em conversas informais com os moradores locais. Observou-se o cultivo agrícola e a criação de animais em áreas adequadas (planas) a essas atividades, bem como moradias que respeitam os limites das vertentes da região (figura 21), ou seja, construções de acordo com os parâmetros determinados para a preservação de área de vertentes, as quais não podem ultrapassar os 30% de inclinação.



Figura 21: Vista do interior de uma das propriedades da área.
Org. Vargas, L.

Durante os trabalhos de campo e através do mapa de uso da terra (figura 22) foi possível observar que a área a sudoeste da sub-bacia hidrográfica é a de maior ocupação urbana no que diz respeito às construções para moradias, ou seja, a população fez uso do local para a construção de casas e demais edificações presentes na área de estudo.

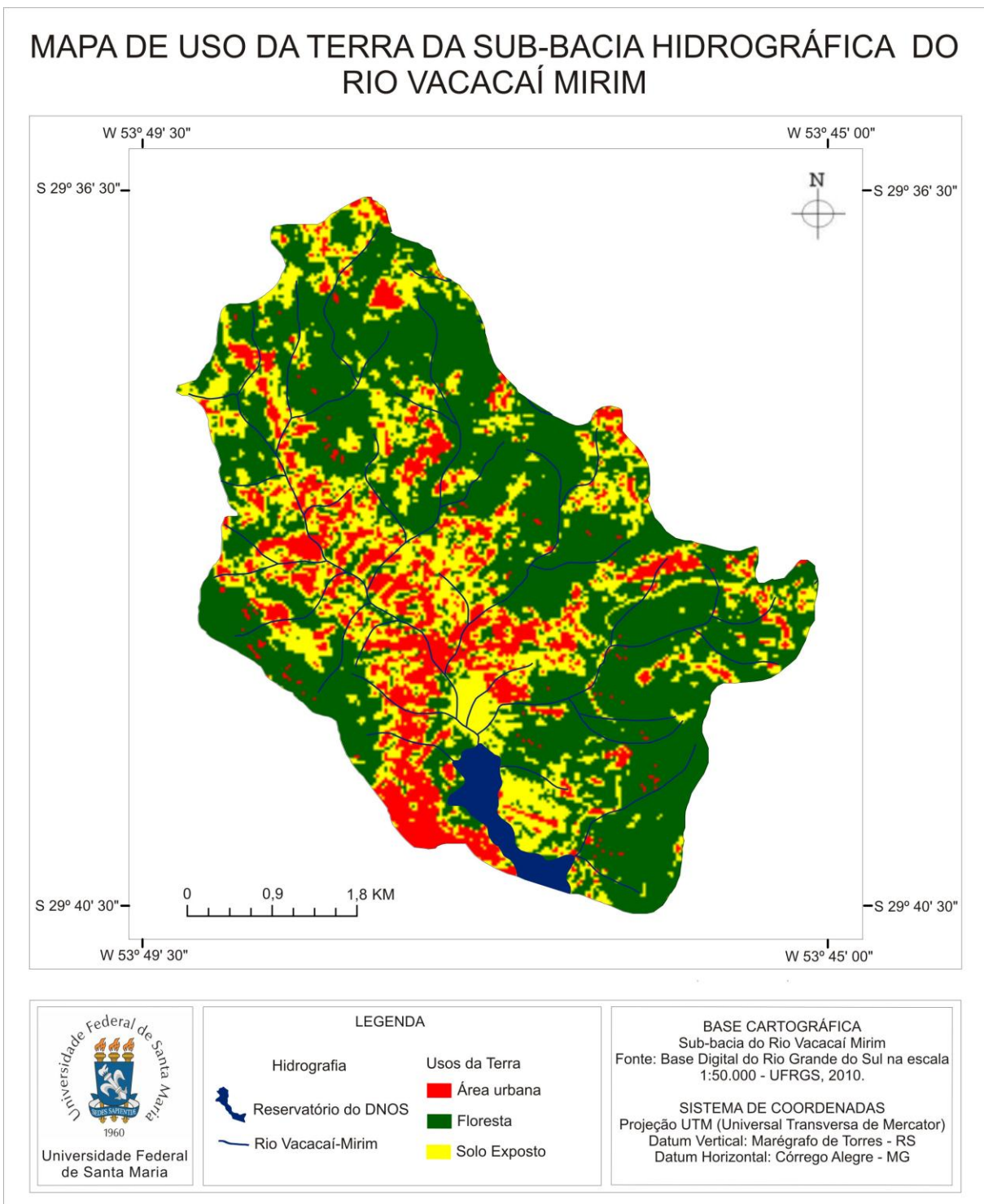


Figura 22: Mapa de uso da Terra.
Org. Vargas, L.

Quanto às áreas de solo exposto, diagnosticadas através de imagens de satélite e verificadas em campo, tratam-se de locais que servem para o cultivo de

lavouras e criação de gado, evidenciando-se em campo que essas são áreas de subsistência das famílias ali residentes.

Nesse setor da sub-bacia as lavouras são em grande parte, de porte pequeno, caracterizando áreas de cultivos para consumo e não comercialização, no entanto as áreas de solo exposto se encontram espalhadas por grande parte da área da sub-bacia devido à também criação de gado e outras atividades.

Nas áreas de maior urbanização, foram observadas áreas de moradias, algumas muito próximas às vertentes (figura 23) e outras com o cultivo de lavouras em áreas íngremes muito próximas as casas, gerando um maior risco de erosão superficial no terreno, devido à retirada da vegetação natural para o estabelecimento das funções de lavoura e casa (figura 24).



Figura 23: Habitação próxima a vertente.
Org. Vargas, L.

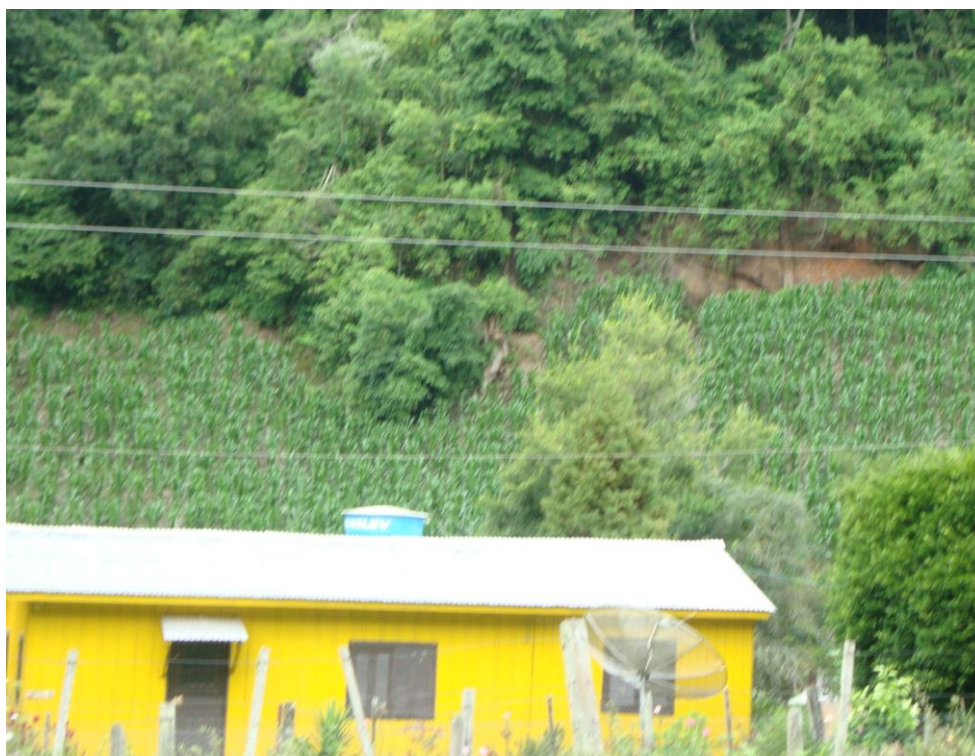


Figura 24: Cultivo agrícola próximo as áreas de habitações.
Org. Vargas, L.

Verificou-se ainda, áreas de desmatamento em locais de forte declividade como vemos na figura 25, onde a população desmatou áreas próximas ao topo da vertente para o cultivo de lavouras.



Figura 25: Área desmatada próximo ao topo da vertente.
Org. Vargas, L.

Assim, através dos trabalhos de campo, pensados a partir das análises prévias de mapas e imagens de satélite, caracterizou-se a área de estudo segundo suas atuais condições de uso e ocupação, o que culmina na compreensão dos fatos verificados sob o olhar de diagnóstico para os movimentos de massa.

A área de estudo, está de fato, sob a influência da ação antrópica, a qual agrava processos naturais referentes à dinâmica do relevo, como a própria evolução da vertente, a qual busca sempre um ângulo de equilíbrio, caracterizado pelo ajuste de compensação onde a vertente busca voltar para seu equilíbrio natural.

3.7 Evidências de movimentos de massa

Através dos trabalhos de campo realizados durante o período de pesquisa, foi possível observar, diagnosticar e classificar episódios de movimentos gravitacionais de massa ocorridos na área de estudo. Foram analisados e diagnosticados também fatores que contribuem para a ocorrência de movimentos de massa na região da área de estudo. E um fator que possivelmente contribuiu para os processos de movimentos de massa na área de estudo, está relacionado à retirada de cobertura vegetal para a instalação de torres de energia no local, fato este agravado pelo elevado índice pluviométrico registrado na região de estudo.

Segundo os dados obtidos através do Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) no período supracitado, segunda quinzena do mês de junho de 2014, o índice de chuvas superou o esperado. Em quinze dias o acumulado de chuvas do mês de junho na área de estudo ultrapassou os 285 milímetros, provocando a saturação dos solos da região.

É possível observar através das fotografias, as quais encontram-se localizadas nas coordenadas 29° 38' 30" S e 53° 48' 07" W, o corte e aplainamento da vertente, e ainda, a possível construção de um patamar artificial no local (figuras 26, 27, 28 e 29). Durante o trabalho de campo, observou-se a saturação e acúmulo de água no local devido ao alto índice de precipitação pluviométrica sucedida no

mês de junho de 2014, fator agravante para a ocorrência de movimentos de massa na área. O local de escorregamento foi coberto por lona preta, a qual foi colocada pela empresa que administra as torres de energia (figura 26).



Figura 26: Torre de transmissão de energia.
Org. Vargas, L

Observou-se em campo a longa extensão percorrida pelo solo durante o processo de movimentação de massa, bem como suas áreas de rebaixamento, em forma de degraus, o que caracteriza movimentos de massa do tipo escorregamento. O episódio de escorregamento na área de estudo, possui limites laterais e profundidade bem definidos como é possível visualizar nas imagens que seguem (figuras 27, 28 e 29) as quais localizam-se nas coordenadas $29^{\circ} 38' 47''$ S e $53^{\circ} 48' 30''$ W e caracterizam escorregamentos de geometria circular ou rotacional evidentes nas fotografias 26 e 27.

Os movimentos circulares ou rotacionais têm como característica principal uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento rotacional.



Figura 27: Movimento de massa do tipo escorregamento circular ou rotacional, próximo a torre de transmissão de energia.
Org, Vargas, L.



Figura 28: Movimento de massa do tipo escorregamento circular ou rotacional, próximo a torre de transmissão de energia.
Org, Vargas, L.

Nas imagens a seguir (figuras 29 e 30) é possível visualizar o exato local de ruptura do solo, coordenadas geográficas 29° 39' 15" S e 53° 48' 00" W, ponto preciso do limiar geomórfico, ou seja, local onde há energia suficiente para superar a resistência contra o movimento e assim iniciar o evento de movimentação de acordo com a gravidade.

Fica evidente na imagem a necessidade que o sistema de vertente tem de retomar seu equilíbrio, o qual ocorre conforme a geoforma se ajusta e se reajusta, ou seja, a vertente já saturada sofre um episódio de escorregamento, no qual estabelece um novo ângulo de equilíbrio para uma atual condição de desequilíbrio da vertente.



Figura 29: Local acima da antena, com indícios de movimentos de massa lentos.
Org. Vargas, L.



Figura 30: Movimento de massa, próximo a torre de transmissão de energia. Org, Vargas, L.

A figura 31 localizada nas coordenadas $29^{\circ} 39' 34''$ S e $53^{\circ} 48' 23''$ W mostra uma construção atingida pelo movimento gravitacional de massa. Verifica-se que esse movimento de massa, classifica-se como fluxo de terra, visto que fluiu vertente abaixo, transportando por longa distância o material sobrejacente em forma de deslizamento. Outra evidência que caracteriza esse movimento como fluxo, é que o conteúdo de umidade³⁵ do material em movimento é alto, advindo do período de chuvas intensas ocorridas na segunda quinzena do mês de junho de 2014.

³⁵ Na data de trabalho de campo, o local visitado estava com o solo encharcado. Tanto nos locais de movimentos de massa, quanto na base da vertente, próxima às residências da propriedade.



Figura 31: Construção atingida por movimento de massa, do tipo fluxo de terra.
Org, Vargas, L.

Nas figuras 32 e 33 localizadas nas coordenadas geográficas $29^{\circ} 37' 15''$ S e $53^{\circ} 47' 55''$ W observa-se que a vertente encontra-se em desequilíbrio frente a sua condição de resistência à gravidade, ou seja, a área passa a receber mais material (água, solo, rochas e demais detritos) o que ocasiona a saturação desta. O episódio causou um deslizamento de terra no local, o que estabeleceu uma nova condição de equilíbrio para a mesma. Eventos de grandes proporções, como foi o caso do período supracitado³⁶, exigem períodos mais longos de recuperação antes que o equilíbrio seja reestabelecido. Outro importante fator observado nas fotografias é a nítida ação da erosão no local de ocorrência do movimento de massa. Tal fato acontece exatamente pela força que a água exerce sobre o solo, material esse que fica suscetível ao intemperismo e transporte vertente abaixo. Caso a gravidade venha a remover o material do local de origem e movê-lo ao longo da vertente, são os agentes de erosão que devem superar as forças de atrito, a inércia (a tendência que os objetos em repouso têm de permanecer em repouso) e a coesão das partículas entre si. Neste caso o ângulo da vertente era suficiente para que a gravidade superasse as forças de atrito e ainda o material fosse deslocado pelo

³⁶ Segunda quinzena do mês de junho de 2014.

impacto das gotas de chuva, fazendo com que ocorresse a erosão e o transporte vertente abaixo das partículas saturadas.



Figura 32: Local de movimento de massa.
Org, Vargas, L.



Figura 33: Movimento de massa.
Org, Vargas, L.

As imagens mostram uma grande quantidade de rochas que se deslocaram junto com o solo durante o movimento de massa, o que faz caracteriza-lo também como rolamentos de blocos ou matacões, ou seja, ocorre quando estes se encontram isolados ou expostos em superfície e os processos erosivos removem o apoio de sua base, condicionando um movimento de rolamento de bloco.

Na figura 34 observa-se o sentido da ocorrência dos movimentos de massa ocorridos nas coordenadas $29^{\circ} 37' 59''$ S e $53^{\circ} 47' 48''$. Todos os movimentos de massa ocorrem em vertentes regidas pelo estresse gravitacional, ou seja, a vertente busca sempre estabelecer seu ângulo de repouso, o qual é representado pelo equilíbrio entre a força impulsora (gravidade) e a força de resistência (atrito e cisalhamento).



Figura 34: Sentido do movimento de massa.
Org, Vargas, L.

Nas imagens a seguir (figuras 35 e 36) é possível identificar o local de ruptura do solo, ponto onde tem início o movimento de massa e também, a presença de uma área de fraturamento junto ao horizonte R da rocha, localizado nas coordenadas $29^{\circ} 38' 24''$ S e $53^{\circ} 47' 56''$ W.

Na figura 35, fica evidente a diferença do material deslizado, do material não movimentado, apresentando um volume de deslocamento de solo bem definido

quanto ao local de estabilidade da vertente. Assim, o movimento de massa ocorrido no local é classificado como escorregamento, visto que tal possui geometria circular e zona lateral e de profundidade bem definida.

Quanto a figura 36, observam-se juntas de fraturamento as quais tornam-se caminho preferencial da água, acelerando os processos de erosão. Os planos de fraqueza determinados por essas juntas coincidem, na maioria das vezes, com a direção preferencial do deslizamento, os quais aceleram o processo de surgimento de rachaduras e fendas intensificando os processos de movimentação de massa.

Assim, são através das juntas de fraturamento que a água percola e escoar, criando no seu percurso, uma zona frágil devido à umidade, ou seja, cria uma zona que oferece pouca resistência ao ponto de equilíbrio da vertente, até que o limiar geomórfico é atingindo, fazendo com que esta entre em colapso.



Figura 35: Local de ruptura do solo.
Org, Vargas, L.



Figura 36: Horizonte R exposto, junta de fraturamento.
Org, Vargas, L.

3.8 Ocorrência de movimentos de gravitacionais massa

Posterior à análise de dados em gabinete e trabalhos de campo, conclui-se que a área de estudo é dividida em dois setores predominantes de ocorrência de movimentos de massa. Sendo eles, setor oeste e setor leste da sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim a montante da barragem do DNOS.

A oeste foram registrados o maior número de ocorrência de movimentos de massa, sendo que a ocupação urbana é fator determinante para tal. A ação antrópica fica evidente quando em trabalhos de campo, foram verificadas moradias e ocupações próximas as áreas de vertente, além de áreas de cultivos em setores de elevada inclinação da vertente.

A leste da área de estudo foram observados usos e ocupações condizentes com o meio. As ocupações não excedem os limites de inclinação, assim como as

áreas de plantio são implementadas de forma a contribuírem com a drenagem do solo.

Assim, após a conclusão dos trabalhos de campo e de gabinete, a sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim a montante da barragem do DNOS fica distribuída em dois setores principais quanto aos episódios de movimentos de massa. São eles: setor leste e o setor oeste, no qual predomina a ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa. No setor oeste da área de estudo compreende-se que os movimentos de massa lentos, devido aos agravantes de elevado índices de declividade, reunidos à ação antrópica atuante na área, tornam-se potenciais a movimentos de massa rápidos.

A seguir observa-se o mapa final (figura 37), no qual estão indicados os locais das ocorrências de movimentos gravitacionais de massa, sendo que cada ponto apresentado no mapa demonstra um episódio de movimentação do relevo verificado em campo.

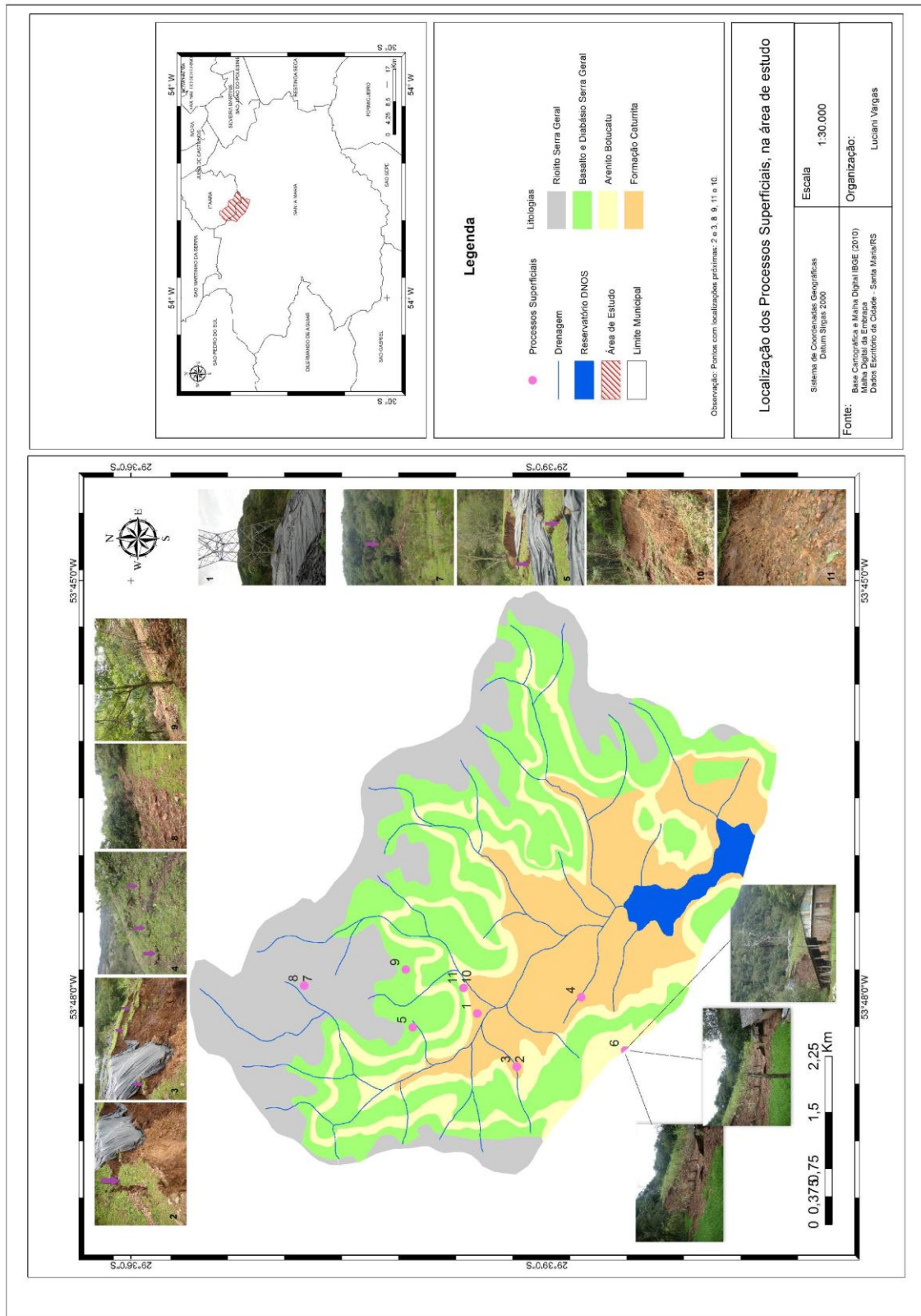


Figura 37: Mapa final com a localização dos episódios de movimentos de massa. Org. Vargas, L.

A partir da análise do mapa final, observando-se os locais de movimentação do relevo e correlacionando com os demais dados mapeados, conclui-se que os episódios de movimentação de massa do relevo se dão de forma mais significativa no setor oeste da área de estudo. As ocorrências são consequência da ocupação do solo, visto que através do mapa de uso da terra é possível verificar que o setor oeste da sub-bacia possui maior área de urbanização que o setor leste. Salienta-se que a urbanização desse setor se dá de forma não ordenada, ou seja, a população ocupa áreas de elevada declividade, as quais correspondem aos locais não recomendados para uso e ocupação do solo segundo De Biase.

Além do supracitado, os locais com episódios de movimentos de massa correspondem aqueles com a Formação Caturrita, a qual é constituída por material sedimentar, apresentando seixos argilosos e arenitos de granulometria média a fina. Devido a origem fluvial, a Formação Caturrita possui variação espacial na granulometria do arenito, identificada pelo contraste entre áreas de maior cimentação e coesão, com outras de maior condutividade hidráulica o que facilita o processo de encharcamento do solo e posterior ocorrência de episódios de movimentos de massa, como os que foram verificados em campo, correspondendo aos pontos 1, 2, 3 e 4 identificados no mapa final.

Referente aos episódios de movimentação do relevo ocorridos no setor norte da área de estudo, pontos 7 e 8, conclui-se que sua ocorrência se dá devido a sua formação geológica corresponder a Riólito Serra Geral, visto que esse de modo geral possui solos mais profundos e argilosos, com elevado teor de ferro e macronutrientes, permitindo o desenvolvimento de coberturas vegetais mais densas. Assim, compreende-se que o elevado índice pluviométrico ocorrido no período de estudo, permitiu o encharcamento do solo, sendo que a água percolou até as camadas mais profundas fazendo com que a vertente entrasse em colapso cedendo totalmente sua camada de solo, ficando assim, o horizonte R exposto.

Os episódios com ocorrência sobre a Formação Geológica do Arenito Botucatu (pontos 6, 10 e 11) explicam-se devido a essa formação ter solos geralmente arenosos e profundos, facilitando a ocorrência de movimentos de massa do tipo lentos, como o rastejamento ou também o fluxo de terra/lama devido ao encharcamento do solo.

Assim, compreende-se que a declividade reunida ao uso e ocupação do solo fragiliza a área de estudo em questão, facilitando a ocorrência dos episódios de movimentação do relevo, fator agravado pela predominância de solos do tipo Neossolos Litólicos, os quais possuem considerável suscetibilidade aos processos de erosão e também de movimentos gravitacionais de massa. Dessa compreende-se que a área de estudo encontra-se inserida em local suscetível a ocorrência de movimentos de massa devido a sua geologia agregada aos solos do local, aos elevados índices de declividade e a ação antrópica da população local.

3.9 Reportagens sobre os deslizamentos de terra, na região de estudo:

Na imagem da figura 38, vê-se uma reportagem do jornal Diário de Santa Maria, do dia 01 de julho de 2014. Segundo a reportagem, na madrugada do dia 1º houve um deslizamento de terra no trecho localizado na BR que liga os municípios de Itaara e Santa Maria, devido aos elevados índices pluviométricos registrados no período. O episódio supracitado limitou o trânsito de veículos, permitindo a passagem dos mesmos somente em horário estipulado pelo Dnit (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte).

Sem bloqueio 01/07/2014 | 19h24

Dnit deve liberar em meia pista a BR-158, em Santa Maria, nesta quarta-feira

Fluxo de veículos leves e pesados será somente das 8h às 18h



Empresa trabalha na rodovia para tapar buracos
Foto: Ronald Mendes / Agência G1/RS

O trânsito de veículos leves e pesados na BR-158, entre Santa Maria e Itaara, deve ser liberado em meia pista nesta quarta-feira. Conforme o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (Dnit), o fluxo de veículos leves e pesados será somente 8h às 18h e com tempo seco. Em caso de chuva, a liberação será novamente suspensa.

Uma empresa contratada pelo Dnit será a responsável por fazer o conserto do asfalto que cedeu. Ainda na madrugada de segunda-feira, **houve deslizamento de terra** no trecho, que fica acima da Garganta do Diabo. A interrupção da rodovia é uma das consequências da chuvarada dos últimos dias. Até a liberação, motoristas de veículos leves devem acessar a estrada do Perau.

Figura 38: Reportagem do Diário de Santa Maria, do dia 01 de julho de 2014.
Org. Vargas, L.

No dia 3 de julho de 2014, outra reportagem vinculada pelo jornal Alegrete Tudo³⁷ (figura 39), indica novamente a interdição da pista devido a rachaduras ocorridas após as chuvas na região do Vale do Menino Deus. Nesse período o Dnit (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) analisava a evolução das

³⁷ Jornal local da cidade de Alegrete/ RS.

rachaduras na pista através de uma passagem teste, a qual poderia ser suspensa a qualquer momento, de acordo com a quantidade dos níveis pluviométricos.

Com a volta da chuva, BR-158 é mais uma vez bloqueada entre Santa Maria e Itaara

3 de julho de 2014 10:06 am

Engenheiros do Dnit realizam uma “passagem teste”, permitindo que alguns motoristas cruzem a rodovia



A chuva que voltou a aparecer em Santa Maria e região ocasionou, mais uma vez, o bloqueio da BR- 158 entre Santa Maria e Itaara na manhã desta quinta-feira. A rodovia estava interrompida desde o último domingo, devido a rachaduras que se abriram na pista um pouco antes da ponte do Vale do Menino Deus. Na quarta-feira o trânsito chegou a ser liberado em meia pista, mas no final do dia, por causa da chuva, foi interrompido novamente.

Engenheiros do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (Dnit), estão permitindo a liberação de veículos leves e pesados no trecho interrompido, no Km 317. Conforme a PRF, trata-se de uma “passagem de teste” e que deve ser suspensa a qualquer momento. Segundo a polícia, a ideia dos engenheiros do Dnit é analisar ainda que brevemente o comportamento da rodovia.

Figura 39: Reportagem do jornal Alegrete Tudo, do dia 3 de julho de 2014. Org. Vargas, L.

Na imagem a seguir, figura 40, observa-se a extensa rachadura na pista que liga Santa Maria a Itaara, a qual cedeu devido as fortes chuvas do final de semana anterior. Segundo notícia do dia 2 de julho de 2014, vinculada pela a Rádio Guaíba, a cidade de Itaara, na região Central do Estado, decretou na quarta-feira (2 de julho) situação de emergência em virtude de estragos causados pelas chuvas dos dias anteriores. O pedido foi encaminhado à Defesa Civil do Estado. Os prejuízos

decorrentes do mau tempo estavam ligados principalmente à situação das estradas e rodovias do interior da cidade.



Figura 40: Fotografia da estrada parcialmente bloqueada.
Org. Vargas, L.

Algumas localidades ficaram isoladas, com acessos interrompidos pela água ou por bloqueios acarretados por deslizamentos de terra. Mesmo com o retorno das aulas, muitos alunos não conseguiram chegar às escolas em virtude dessas interrupções (figuras 41 e 42).



Figura 41: Queda de blocos.
Fonte: Click RBS.



Figura 42: Estrada bloqueada.
Fonte: Click RBS.

As reportagens supracitadas e as imagens descrevem e demonstram respectivamente, consequências do elevado índice pluviométrico registrado na região da área de estudo. Nesse período evidenciaram-se problemas relacionados ao encharcamento do solo, o qual devido ao aumento de seu peso torna-se suscetível, quando saturado, a diversos movimentos de massa, como deslizamentos de terra e escorregamentos, além de queda de blocos.

Depois de um período prolongado de chuvas em uma determinada região o solo local acaba por ficar saturado, ou seja, as camadas do solo já absorveram água, aumentando o grau de saturação do solo. Assim, compreende-se que devido a força da gravidade ser atuante no meio, a direção dominante para a ocorrência de fluxo, seja de terra e/ou rochas será sempre vertical, explicando os episódios de escorregamento/deslizamento, fluxo de terra e queda de blocos verificados na área de estudo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à limitada quantidade de material, bem como, de estudos referentes ao tema para o local de estudo, fez-se necessário um breve aprofundamento em bibliografias de diferentes autores e em material topográfico da região, bem como nos trabalhos de campo realizados durante a pesquisa, buscando assim suprir essa falta de dados e apresentar uma originalidade para o trabalho proposto.

Entre as dificuldades encontradas para realizar os trabalhos de gabinete, evidencia-se o mapeamento de solos da região de Itaara/RS, visto que não há mapeamento em grande escala do município, o que dificultou o diagnóstico dos solos presente na região. Tal carência de dados foi diminuída através da consulta ao mapeamento realizado por Souza (2001) da área de estudo. Outro problema encontrado durante o período de estudo, foi a dificuldade de chegar aos locais de elevada hipsometria da área de estudo, onde ocorre parte dos movimentos de massa do tipo queda de blocos e ainda o acesso às propriedades privadas da área de estudo.

Referente à declividade, conclui-se que este é um fator determinante na ocorrência dos episódios de movimentos de massa na área de estudo, visto que a região encontra-se inserida em níveis elevados de inclinação e a população local faz uso dessas áreas, onde assentam moradias e também áreas de cultivo e criação de animais. Outro importante fator constatado durante a pesquisa foi a ocupação das áreas de vertentes, sendo que a maior concentração de área urbana se dá a oeste da área de estudo, onde foi possível constatar que a maioria das moradias, principalmente à sudoeste da sub-bacia são de baixo poder aquisitivo, indicando que a população local é desprovida de informações quanto aos riscos aos quais estão submetidos ocupando desordenadamente o local em questão. A falta de informação, reunida à falta de fiscalização do local, facilita o uso e ocupação irregular por parte da população. Entre outros, são esses fatores que somados aos elementos naturais da área de estudo deflagram episódios de movimentos gravitacionais de massa, como os que foram diagnosticados durante a pesquisa.

As áreas de vertentes têm as restrições de ocupação determinadas pela legislação ambiental, visto que estas são áreas frágeis quanto ao seu uso e ocupação, não podendo ser ocupadas para urbanização para além de dos 30% de declividade. No entanto, vale salientar que em outras situações a ocupação acontece de forma correspondente à declividade do local, como foi constatado no setor nordeste da área de estudo, onde as moradias, bem como os cultivos, se dão em conformidade com a declividade da área de estudo cuidando para não exceder os limites aceitáveis para o uso e ocupações de áreas declivosas.

Outra implicação de áreas com elevadas declividades, é quando há ocorrência de intensas chuvas, visto que esses episódios deflagram a movimentação do relevo devido ao encharcamento do solo, fato que foi diagnóstico em campo, depois de elevados índices pluviométricos ocorridos no mês de junho de 2014.

A litologia da área de estudo compreende formações como a Formação Caturrita, a qual é suscetível a movimentos de massa do tipo escorregamento e queda de blocos visto que os arenitos presentes na formação tem baixa resistência à erosão, podendo formar sulcos no terreno. Quanto a Formação Botucatu salienta-se que nas partes litificadas, a formação possui alta resistência à erosão, no entanto essa resistência é baixa nas partes alteradas e de solo residual, facilitando a ocorrência de movimentos de massa lentos como rastejamento ou ainda escorregamentos de terra. Ambas as formações são distribuídas principalmente na região central da área de estudo, onde foi registrada a maioria dos episódios de movimentos gravitacionais de massa.

A litologia da sub-bacia, reunida aos solos da região, indica que a área de estudo está inserida quase que em sua totalidade em uma área propícia a episódios de movimentos de massa, visto que o solo predominante classifica-se como sendo neossolos litótilicos, os quais são suscetíveis aos processos de erosão e também de movimentos gravitacionais de massa.

Ao final do presente estudo, concluiu-se que os principais movimentos gravitacionais de massa ocorridos na sub-bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim a montante da barragem do DNOS, no período estudado, são do tipo: escorregamento, com ocorrências translacionais e também rotacionais, além de indícios de rastejamento, queda de blocos e fluxo de terra. Salienta-se ainda que o

setor oeste da área de estudo tem seus processos de movimentação do relevo agravados devido ao fato da população local fazer uso de vertentes, tanto para moradias como para outras atividades que agridem o meio, fazendo com que processos lentos de movimentação evoluam para movimentos de grande magnitude.

5 BIBLIOGRAFIA

AB'SABER, Aziz Nacib. **Um conceito geomorfológico a serviço das pesquisas sobre o quaternário**. Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo, 1969.

BERTRAND, Georges. **Paisagem e geografia física global: um esboço metodológico**. Revista IGEOG/USP, São Paulo: USP, n. 13, 1971. Caderno de Ciência da Terra.

BERTRAND, Georges. 1972, **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Caderno de Ciências da Terra, nº 13, p.1-27.

BIGARELLA, João José.; Becker, Rosemari Dora.; Santos, Gilberto Friedenreich dos. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Vs. 1 e 2. Florianópolis: Editora da UFSC, 1994.

BOTELHO, Rosângela Garrido Machado.; ROSSATO, Máira Suertegaray. **Erosão em áreas urbanas no Brasil: formas de ocorrência e fatores agravantes**. XIII Encontro Nacional de Geógrafos. João Pessoa (PB) 2002.

BRITO, Fausto. **O deslocamento da população brasileira para as metrópoles**. Dossiê Migração. Estudos avançados, v. 20, n. 57, São Paulo. Scielo, maio/agosto 2006, 13p. Disponível em: <http://www.scielo.br>. Acesso em: 23 de outubro de 2013.

CAMARGO, Luís Henrique Ramos de. **A geoestratégia da natureza: a geografia da complexidade e a resistência à possível mudança do padrão ambiental planetário**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

CASAGRANDE, Leandro. (2004). **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de williams (1975) na bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado). Santa Maria: Centro de Tecnologia - UFSM.

CASSETI, Walter. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1994.

CRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher.1980.

CHRISTOPHERSON, Robert. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Geomorfologia: Exercícios, técnicas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

DE BIASI, Mário. **A carta clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção**. Revista de Pós-Graduação da USP, n.6. São Paulo; 1992, 45-53p.

DEMATTE, José. **Processos exógenos de elaboração do relevo: intemperismo químico**. In: Fundamentos de Geomorfologia, p. 63-71. Rio de Janeiro: Fund. IBGE, 1974.

DREW, David. **Processos interativos-homem/ meio ambiente**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária - EMBRAPA. (1999). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA.

FERREIRA, Aline Batista.; FILHO, Waterloo Pereira. **Análise do uso e cobertura da terra de três sub-bacias hidrográficas** – Rio Grande do Sul/ Brasil. RGFB, Revista Brasileira de Geografia Física, n. 03, set-dez 2009.
Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewArticle/63>.
Acesso em: dezembro de 2013.

FERREIRA, Aline Batista.; FILHO, Waterloo Pereira. **Análise do meio físico da sub-bacia do Rio Vacacaí Mirim- RS/Brasil**. RGA, Revista Geográfica Acadêmica, n. 2, dez 2009.
Disponível em: <http://www.rga.ggf.br/index.php?journal=rga&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=59>.
Acesso em: dezembro de 2013.

FLORENZANO, Teresa Gallotti, **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOLDICH, Samuel. **Um estudo realizado sobre a erosão das rochas**. Jornal de Geologia. 46:17-58, 1938.

GUIMARÃES, Flávio Romero. **Um novo olhar sobre o objeto da pesquisa em face da abordagem interdisciplinar**. In: FERNANDES, Aliana; GUIMARÃES, Flávio R.; BRASILEIRO, Maria do Carmo E. (Org.). O fio que une a pedras: a pesquisa interdisciplinar na pós-graduação. São Paulo: Biruta, 2000. p.13-25

GUERRA, Antônio José Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**, IBGE, Rio de Janeiro, 1980.

GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista da. **Geomorfologia: e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

GUERRA, Antônio José Teixeira. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

GUERRA, Antônio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e Conservação dos Solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, Antônio José Teixeira.; CAMARGO, Luís Henrique Ramos de. **A geografia da complexidade: aplicação das teorias da auto-organização ao espaço geográfico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

GUERRA, Antonio José Teixeira. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, Antonio José Teixeira.; MARÇAL, Monica dos Santos. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2006.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Marcio Angelieri Cunha (coordenador). Publ. IPT 1831. IPT, S. Paulo, 1991.

LIBAULT, André. **Os quatro níveis da pesquisa geográfica**. Métodos em questão, Universidade de São Paulo, 1971.

MACIEL FILHO, Carlos Leite. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária UFSM, 1990.

MASSEY, Doreen. **Pelo espaço: uma nova política da espacialidade**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

MENDONÇA, Francisco.; VENTURI, Luis Antonio Bittar. **Geografia e metodologia científica da problemática geral as especificidades da geografia física**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2., GEOSUL, Florianópolis, v. 14, n. 27, p. 63-70, 1998

MITCHELL, James. (1995) **Lidar com Riscos Naturais e Desastres em Megacidades - Desastres e Vulnerabilidade das Megacidades**. Geo Jornal, vol. 37, nº 3, Kluwer Academic Publishers, Alemanha, p. 303 – 312.

MUÑOZ, Viviana Aguilar. **Análise comparativa de técnicas de inferência espacial para identificação de unidades de suscetibilidade aos movimentos de massa na região de São Sebastião, São Paulo, Brasil**. São José dos Campos, 2005. 50 p. Anexos. Especialização (XVIII Curso Internacional em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE.

ORELLANA, Margarida Maria Penteado. **A Geomorfologia no contexto social**. In: Geografia e Planejamento. São Paulo: Universidade de São Paulo – Instituto de Geografia, nº 34, 1981, p. 1- 25.

PENTEADO, Margarida Maria. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

POLIVANOV e BARROSO in GUERRA, Antônio José Teixeira. **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

- POPP, José Henrique. **Geologia geral**. 6º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- PUNTEL, Geovane Aparecida. **Paisagem: uma análise no ensino de Geografia**. 2006. 137f. Dissertação de Mestrado. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul).
- RODRIGUES, Cleide. **Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista**. Revista de departamento de Geografia (USP), v. 17, p. 101 – 111, 2005.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1990.
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia – Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 2005.
- SARTORI, Pedro Luiz Pretz.; MACIEL FILHO, Carlos Leite.; & MENEGOTTO, Egydio. **Contribuição ao estudo das rochas vulcânicas da Bacia do Paraná na região de Santa Maria, RS**. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 3 (5): 141 – 159, 1975.
- SAUER, Carl. **A morfologia da paisagem**. In: CORRÊA; ROZENDAHL (Orgs.). Paisagem tempo e cultura, Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998.
- SANTOS FILHO, Rafael David dos. **Aplicação de conceitos geomorfológicos em arquitetura, aplicações do estudo do processo erosivo na construção**. São Paulo, Arqtextos, Vitruvius, Texto Especial nº 213, jan. 2004. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/arqtextos>.
- SANTOS, Milton. **A Natureza do espaço: Técnica e tempo**. Razão e Emoção. 2º ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1997. 308p.
- SEPLAN - Secretaria Estadual de Planejamento. (1986). **Levantamento dos recursos naturais**. Rio de Janeiro: IBGE.
- SILVEIRA, Claudinei Taborda; OKA-FIORI, Chisato; FIORI, Alberto Pio. **Estudo das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial na APA De Guaratuba: Subsídios para o Planejamento Ambiental**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 57, p. 9-23, 2005. Editora UFPR
- SOUZA, Bernardo Sayão Penna e. **Qualidade da água em Santa Maria-RS: Uma análise ambiental das sub bacias hidrográficas dos rios Ibicuí Mirim e Vacacaí Mirim**. 2001. 234f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. **Espaço Geográfico Uno Múltiplo**. In Ambiente e Lugar no Urbano. SUERTEGARAY, D, M, A. VERDUM, R.; BASSO, L. A. (Orgs). Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. P. 1993. 324p.

SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. (2005) **Notas sobre Epistemologia da Geografia**, Cadernos Geográficos, nº 12, p. 1 – 63.

SMALL, John.; CLARK, Michael. (1982). **Encostas e intempéries**. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra, 112p.

TEIXEIRA, Wilson.; FAIRCHILD, Thomas Rich.; TOLEDO, Maria Cristina Motta de. TAIOLI.; Fabio. **Decifrando a Terra** – 2ª edição. Companhia Editora Nacional. São Paulo. 2009.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira.; NETO, Roberto Marques.; MENEZES, Sebastião de Oliveira. **Introdução à geomorfologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2012.

TROLL, Carl. **A paisagem geográfica e sua investigação**. Espaço e cultura, Rio de Janeiro: UERJ, NEPEC, n. 2, p. 7, jun.1997.

VITTE, Antônio Carlos.; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Reflexões sobre Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bretrand Brasil, 2012.

WICANDER, Reed.; JAMES, Monroe. **Fundamentos de geologia**. São Paulo, Cengage Learning, 2009.

Reportagens

<http://alegretetudo.com.br/com-a-volta-da-chuva-br-158-e-mais-uma-vez-bloqueada-entre-santa-maria-e-itaara/>

Acesso em: agosto de 2014

<http://gaucha.clicrbs.com.br/rs/noticia-aberta/br-158-volta-a-ter-fluxo-durante-a-noite-entre-santa-maria-e-itaara-107771.html>

Acesso em: agosto de 2014

<http://www.radioguaiba.com.br/noticia/itaara-na-regiao-central-entra-em-situacao-de-emergencia/>

Acesso em: agosto de 2014

<http://extrasm.com.br/noticias/plantao/trafego-na-br-158-esta-parcialmente-liberado-entre-santa-maria-e-itaara/>

Acesso em: agosto de 2014