

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FISIAGRÁFICOS E DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS EM BARRAGENS DE
TERRA: ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO ROQUE**

Willian Derek Ruiz

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Co-Orientadora: Msc. Camila Jardimetti Chaves

Rio Claro (SP)

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

WILLIAN DEREK RUIZ

**AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FISIAGRÁFICOS E
ANTRÓPICOS ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS EM BARRAGENS DE TERRA:
ESTUDO DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO DO ROQUE**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Comissão do Trabalho de Formatura do Curso de
Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas – Unesp, Campus de
Rio Claro (SP), como parte das exigências para o
cumprimento da disciplina Trabalho de Formatura no
ano letivo de 2016.*

Orientador: Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Co-Orientadora: Msc. Camila Jardimetti Chaves

Rio Claro – SP

2016

WILLIAN DEREK RUIZ

AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FISIAGRÁFICOS E
ANTRÓPICOS ASSOCIADOS À OCORRÊNCIA DE
ESCORREGAMENTOS EM BARRAGENS DE TERRA: ESTUDO
DE CASO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DO
ROQUE

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Engenheiro
Ambiental.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi

Profa. Dra. Vania Silvia Rosolen

Rio Claro, 18 de novembro de 2016.

Willian Derek Ruiz

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

*“To accomplish great things we must
only act, but also dream, not only plan,
but also believe.”*

Anatole France

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à minha mãe, Marlene, pelo amor incondicional e pelo apoio, além de me mostrar que não importa o que aconteça, podemos ser sempre fortes. Ao meu pai, Osvaldo (*in memorian*), por sempre acreditar em mim e me ensinar a ser questionador, sempre.

Agradeço a Letícia, por me apoiar, aturar, acalmar e tentar me compreender, além do companheirismo e carinho dedicado.

Agradeço aos meus amigos, pelas conversas filosóficas e que sempre me apoiaram e incentivaram.

Agradeço também os companheiros do grupo de pesquisa, por todas as dicas e sugestões, que fizeram com que eu concluísse esse projeto.

Gostaria de agradecer também o meu orientador, o Prof. Fábio, por todo auxílio e paciência que teve comigo durante esse tempo em que trabalhamos juntos e pelas oportunidades de aprendizado que me proporcionou.

Agradeço ainda aos professores do curso de engenharia ambiental, pelas conversas e aprendizados durante esse tempo de graduação.

RESUMO

Os processos geológicos de dinâmica superficial têm ocasionado diversos problemas sociais, econômicos e ambientais nos últimos anos no Brasil, gerados por uma sequência de eventos catastróficos associados a chuvas torrenciais, que tem afetado áreas urbanas e empreendimentos em geral como por exemplo barragens. O presente trabalho tem como objetivo avaliar parâmetros fisiográficos e de uso e ocupação do solo associados à ocorrência de escorregamentos em encostas no entorno de barragens de terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, estabelecendo a vulnerabilidade dos barramentos à esses processos. Ressalta-se que a bacia do Ribeirão do Roque, possui 95 barragens de terra de pequeno e médio portes, sendo que 78,95 % não possuem outorga no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), além de outras construções ao longo da bacia, ressalta-se também que nessa bacia já ocorreu o rompimento de barragens, causando danos à propriedades rurais e construções civis. As seguintes etapas foram executadas na pesquisa: levantamento bibliográfico; organização de banco de dados; definição da suscetibilidade à escorregamentos; levantamento das barragens na bacia; elaboração de Mapa Preliminar de Suscetibilidade à Escorregamentos; levantamento de campo e elaboração da Mapa Final de Suscetibilidade à Escorregamentos; e definição de critérios para definição da Vulnerabilidade das Barragens. Como produto final, foram elaborados Mapas de Suscetibilidade a Escorregamentos e Mapa de Vulnerabilidade das Barragens, dos quais é possível analisar as regiões que tem a maior suscetibilidade a processos de escorregamento e a vulnerabilidade de cada barramento, respectivamente. Como a maioria das barragens se encontram em áreas de média a alta suscetibilidade, visto que o terreno colabora para processos de escorregamento, é necessário que se faça a realização de uma vistoria mais rigorosa sobre a situação de cada barramento. Esses produtos se tornam ferramentas imprescindíveis na gestão de barragens, pois direcionam a atenção para áreas que necessitam de um estudo mais detalhado nesse tipo de gestão.

Palavras-chave: Vulnerabilidade, Suscetibilidade, Barragens de Terra, Escorregamentos.

ABSTRACT

The geological processes of surface dynamics have caused many social, economical and environmental problems in the last years in Brazil, generated by a catastrophic sequence of events associated with torrential rains, that has affected urban areas and enterprises in general such as dams, for example. This project has the objective of evaluating physiographic parameters and land use and occupation associated with the occurrence of landslides on slopes surrounding of earth dams in the basin of Ribeirão Roque, establishing the vulnerability of buses to these processes. It is noteworthy that the basin of Ribeirão Roque, has 95 earth dams of small and medium size, and 78.95% do not have granted the Department of Water and Electrical Energy of the State of São Paulo (DAEE), and other buildings along the basin, also highlights is that this basin has suffered the rupture of dams, causing damage to farms and building sites. The following steps were performed in the research: literature; database organization; definition of susceptibility to landslides; survey of dams in the basin; drafting Charter Preliminary Susceptibility to Landslides; field survey and drafting of the Charter Final Landslide Susceptibility; and setting criteria for definition of the Dams Vulnerability. As a final product of the project were prepared Susceptibility Letters to Landslides and Letter of Dams vulnerability, which can analyze regions according to their greater susceptibility to landslide processes and the vulnerability of each dam, respectively. They can be used as support in dam management. As most dams are from medium to high susceptibility, since the land contributes to landslides processes, it is necessary to make the realization of a more rigorous survey on the situation of each dam. These products become indispensable tools in the management of dams as direct attention to areas that require a more detailed study in this type of management. These products become essential tools in the management of dams, because they direct attention to areas that require more detailed study in this type of management.

Key words: Vulnerability, Susceptibility, Earth Dams, Landslides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo.....	16
Figura 2. Perfil de encosta com taludes natural, de corte e de aterro.	20
Figura 3. Elementos geométricos de um talude.....	20
Figura 4. Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno.	22
Figura 5. Relação conceitual entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e danos e consequências.	34
Figura 6. Descrição das Características dos Atributos de Cada Unidade Fisiográfica Mapeada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	50
Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque...	52
Figura 8. Hidrograma de Ruptura Triangular Simplificado.	58
Figura 9. Mapa de Levantamento de Barragens e Reservatórios da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	62
Figura 10. Mapa com os Graus de Possibilidade Natural (GPN) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	63
Figura 11. Mapa com os Graus de Possibilidade Antrópica (GPA) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	64
Figura 12. Mapa com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	65
Figura 13. Mapa com as Barragens e Áreas Visitadas em Campo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	67
Figura 14. Levantamento de Campo nas Barragens 196, 197 e 198.....	69
Figura 15. Levantamento de Campo na Barragem 98.....	70
Figura 16. Levantamento de Campo na Barragem 97.....	71
Figura 17. Levantamento de Campo na Barragem 120.....	72
Figura 18. Levantamento de Campo na Barragem 11.....	73
Figura 19. Levantamento de Campo na Barragem 193.....	74
Figura 20. Levantamento de Campo na Barragem 222.....	75
Figura 21. Levantamento de Campo na Barragem 129.....	76
Figura 22. Levantamento de Campo na Barragem 64.....	77
Figura 23. Levantamento de Campo na Barragem 133.....	78
Figura 24. Levantamento de Campo na Barragem 134.....	78
Figura 25. Levantamento de Campo na Barragem 244.....	79

Figura 26. Mapa Atualizado Com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	82
Figura 27. Mapa Atualizado com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	87
Figura 28. Mapa Final de Suscetibilidade a Escorregamentos e Vulnerabilidade das Barragens na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	89
Figura 29. Produto da Importação dos Dados de Elevação do Córrego do Monjolo no <i>Software</i> FLO-2D.	90
Figura 30. Grid de 100 Metros Introduzido nos Dados do Córrego do Monjolo no <i>Software</i> FLO-2D.	91
Figura 31. Resultado da Interpolação Entre os Dados de Elevação e Malha Computacional (Domínio).	91
Figura 32. Hidrograma de Ruptura de Entrada.	92
Figura 33. Valores de Coeficientes de Manning e Canais da Sub-bacia.	92
Figura 34. Dados de Entrada (<i>Input</i>) para a Realização da Simulação.	93
Figura 35. Dados de Entrada (<i>Input</i>) para a Realização da Simulação.	93
Figura 36. Trecho do Canal Apresentando Elevação em seu Percorso.	94
Figura 37. Erro na Dinâmica de Estabilidade Numérica Durante a Simulação.	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Graus de Proteção do Solo de Acordo Com a Cobertura Vegetal.	24
Quadro 2. Principais Tipos de Análise Aplicadas ao Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Escorregamentos, suas Respectivas Características e Escala Mínima Recomendada.....	29
Quadro 3. Parâmetros para Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Natural (GPN).	45
Quadro 4. Parâmetros para Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA).	46
Quadro 5. Possíveis Combinações para a Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Antrópico (GPT).....	47
Quadro 6. Descrição das Características dos Atributos de Cada Unidade Fisiográfica Mapeada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.	49
Quadro 7. Características Principais das Barragens Simuladas.	58
Quadro 8. Grau de Possibilidade Natural (GPN) para Escorregamentos para Cada Unidade Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	62
Quadro 9. Nova Classificação do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA).	81
Quadro 10. Critérios para Cálculo da Vulnerabilidade das Barragens.	85
Quadro 11. Classes da Vulnerabilidade das Barragens.....	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. Condicionantes à Ocorrência de Escorregamentos	19
3.1.1. Declividade	19
3.1.2. Formas de Encosta	22
3.1.3. Vegetação e Uso do Solo	23
3.1.4. Pluviosidade	24
3.1.5. Amplitude Altimétrica	25
3.1.6. Solo/Substrato	25
3.2. Métodos para Avaliação de Suscetibilidade a Escorregamentos	26
3.2.1. Métodos com base heurística	30
3.2.2. Métodos com base determinística	31
3.2.3. Métodos com base estatística	32
3.3. Avaliação da Suscetibilidade à Escorregamento no Entorno de Barragens e sua Vulnerabilidade	33
3.4. Uso da Compartimentação Fisiográfica na Definição da Suscetibilidade à Escorregamento	35
3.5. Modelagem Matemática para Simulação	36
3.5.1. Teoria e as equações governantes do modelo FLO-2D	38
4. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA	43
4.1. Levantamento Bibliográfico	43
4.2. Organização e Gerenciamento do Banco de Dados	43
4.3. Definição da Suscetibilidade a Escorregamentos	44
4.3.1. Determinação do Grau de Possibilidade Natural (GPN)	44
4.3.2. Determinação do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA)	45
4.3.3. Determinação do Grau de Possibilidade Total (GPT)	46
4.3.4. Compartimentação Fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque	47
4.3.5. Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque	51
4.4. Levantamento das Barragens Existentes na Bacia Hidrográfica	53
4.5. Mapa Preliminar de Suscetibilidade a Escorregamentos	53
4.6. Levantamento de Campo e Elaboração do Mapa de Suscetibilidade	54

4.7. Critérios para Definição da Vulnerabilidade das Barragens.....	54
4.8. Análise das Etapas Iniciais do Processo de Simulação no software FLO-2D	55
4.8.1. Importação de dados de elevação	56
4.8.2. Definição da malha (GRID)	56
4.8.3 Determinação do domínio computacional	56
4.8.4. Interpolação dos dados de elevação e malha	56
4.8.5. Especificação dos dados para geração do hidrograma	56
4.8.6. Atribuição dos coeficientes de Manning	59
4.8.7. Processo inicial de simulação com o FLO-2D	59
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	60
5.1. Ficha Padronizada dos Trabalhos Acadêmicos Encontrados no Levantamento Bibliográfico	60
5.2. Caracterização das Barragens na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.....	60
5.3. Mapa Preliminar de Suscetibilidade a Escorregamentos	58
5.3.1. Grau de Possibilidade Total (GPT) à Ocorrência de Escorregamentos	58
5.4. Levantamento de Campo e Elaboração do Mapa de Suscetibilidade	66
5.5. Mapa Final de Suscetibilidade a Escorregamentos.....	80
5.6. Critérios para Definição da Vulnerabilidade das Barragens.....	83
5.7. Análise das Principais Funcionalidades do FLO-2D	90
5.7.1. Importação de dados de elevação	90
5.7.2. Definição da Malha (GRID)	90
5.7.3. Determinação do domínio computacional	91
5.7.4. Interpolação dos dados de elevação e malha	91
5.7.5. Especificação dos dados para geração do hidrograma	92
5.7.6. Atribuição dos coeficientes de Manning	92
5.8.7. Processo inicial de simulação com o FLO-2D	93
6. CONCLUSÃO.....	96
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
APÊNDICE 1. Fichas de Campo das Barragens	107
APÊNDICE 2. Ficha Padronizada dos Principais Trabalhos Acadêmicos Encontrados no Levantamento Bibliográfico	130
APÊNDICE 3. Pranchas das Barragens das Sub-bacias do Ribeirão do Roque	132
APÊNDICE 4. Cálculo das Vulnerabilidade de Cada Barragem Analisada em Campo	139

1. INTRODUÇÃO

As barragens são estruturas construídas com o objetivo de armazenar e controlar a água. Atualmente, são usadas para várias finalidades como abastecimento de água, irrigação, hidroeletricidade, retenção de resíduos minerais e industriais, controle de enchentes e recreação, tendo com isso, um papel importante na infraestrutura e desenvolvimento de um país (MELO, 2014). Como qualquer obra de engenharia, as barragens também estão sujeitas a possíveis falhas, podendo ocasionar acidentes por ruptura, ocasionando uma liberação descontrolada do volume armazenado, tendo consequências que variam de simples perda deste volume até catástrofes envolvendo perda de vidas humanas e o comprometimento total da região atingida (PERINI, 2009).

Segundo Cruz (1996), existem vários tipos de barragens, que são classificadas conforme o material utilizado para construí-las. A escolha do tipo de barragem a ser construída, depende de vários fatores, tais como a natureza da fundação e sequência construtiva, condicionantes relativas à forma do vale e os materiais disponíveis na obra.

De acordo com Sherard et al. (1963), dentre os tipos existentes de barragens, as barragens de terra são as mais construídas no mundo. Isso se deve ao fato de que uma das suas principais vantagens econômicas é que a natureza já oferece os materiais para a sua construção, além de ser possível construir uma barragem de terra praticamente em qualquer tipo de fundação.

O rompimento de pequenas barragens não tem o potencial destruidor das de grande e médio porte, mas pode potencializar a ocorrência de processos de movimentos de massa, como é o caso das corridas de detritos, altamente destrutivas e que acarretam sérios prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Cerri et al. (2011) ressaltam que as barragens de pequeno porte apresentam uma proliferação cada vez maior pelo país, fortemente condicionada pelo atual crescimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas. Contudo, o aumento desse tipo de barragem não foi acompanhado por uma intensificação da fiscalização das outorgas e, principalmente, do monitoramento e fiscalização desses empreendimentos.

Jorge (1984) afirma que, tais reservatórios, quando construídos, alteram significativamente a área de implantação e regiões vizinhas, acarretam mudanças no meio físico, entre eles a elevação do nível freático. O mesmo autor afirma que estas alterações podem provocar erosão das áreas marginais, geração de sismos, assoreamento e fenômenos de instabilidade e escorregamentos em suas encostas marginais.

De acordo com Augusto Filho (1994), os escorregamentos são representados por vários processos de instabilização, onde caracteriza-se o mecanismo de deslizar por um ou poucos planos de movimentação, tendo ordem de velocidades de deslocamento de metros por hora a metros por segundo, os volumes e materiais são variáveis, podendo ocorrer em diferentes tipos de solos e rochas, deslizando diferentes quantidades de materiais. São subdivididos em escorregamentos planares ou translacionais, circulares ou rotacionais e em cunha.

Os escorregamentos planares ou translacionais são processos comuns na Serra Geral e Serra do Mar, ocorrendo nas vertentes com solo pouco espesso e altas declividades. São caracterizados como escorregamentos com pouca espessura e em forma retangular (maior comprimento que largura).

Os escorregamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamento curvas, geralmente ocorrendo em aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.

Os escorregamentos em cunha acontecem quando dois planos de fraqueza, em taludes e encostas com presença de rochas e saprolito, condicionam o deslocamento de uma massa contida no diedro entre esses planos.

Para Denghua et al. (2011), falhas em barragens podem surgir a partir de uma variedade de fatores, como hidrologia, infiltração de água, instabilidade de taludes, falhas na fundação, liquefação, má administração e atividades humanas inadequadas. Além destes, as barragens estão constantemente expostas a problemas que podem afetar sua estrutura, como uso e ocupação do solo no entorno, cheias, erosão interna, falhas em sua fundação, entre outros. A resposta da estrutura da barragem a estes riscos pode ser entendida como vulnerabilidade. Pela carta de prevenção de riscos elaborada pela Organização das Nações Unidas (ONU, 2004), “vulnerabilidade é como o conjunto de processos e condições resultantes de fatores de risco, que determinam quanto a área é suscetível aos impactos”. Avaliação da vulnerabilidade da barragem é a avaliação de exposição aos riscos e ameaças à que as barragens estão sujeitas. Quanto maiores forem as probabilidades dos fatores de risco e quanto mais a barragem estiver sujeita a esses fatores, maior é a vulnerabilidade da barragem à rupturas e acidentes.

Existe divergência entre vários autores no que se refere ao uso de termos como desastre, vulnerabilidade, risco, suscetibilidade, entre outros. Preferencialmente, foram utilizadas as terminologias empregadas por um dos principais institutos de pesquisa do país. O

IPT (2004), define alguns conceitos da seguinte forma: Evento como fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registrada no tempo. Perigo (HAZARD) como a condição com potencial para causar uma consequência desagradável. Vulnerabilidade como grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área afetada por um processo. Suscetibilidade indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência. E risco como a probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Multiplicação entre perigo e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda.

Nesse sentido, o termo suscetibilidade é aplicado como a probabilidade de ocorrência do escorregamento, considerando as características da área de estudo em relação aos principais condicionantes naturais e antrópicos do processo. Já vulnerabilidade é entendida como a avaliação da exposição da barragem aos condicionantes de escorregamentos existentes na área de entorno.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar as características fisiográficas e de uso e ocupação do solo no entorno de barragens para estabelecer a suscetibilidade a escorregamentos que possam afetar esses empreendimentos. Além disso, avaliou-se as principais ferramentas utilizadas para simular processos de ondas de cheia ocasionados pelo rompimento de barragens no *software* FLO-2D. Ressaltando-se que há uma carência de estudos direcionados a avaliar os possíveis problemas que esses processos poderiam ocasionar em pequenas e médias barragens de terra, inclusive em relação ao rompimento desses barramentos e a geração de corridas de massa.

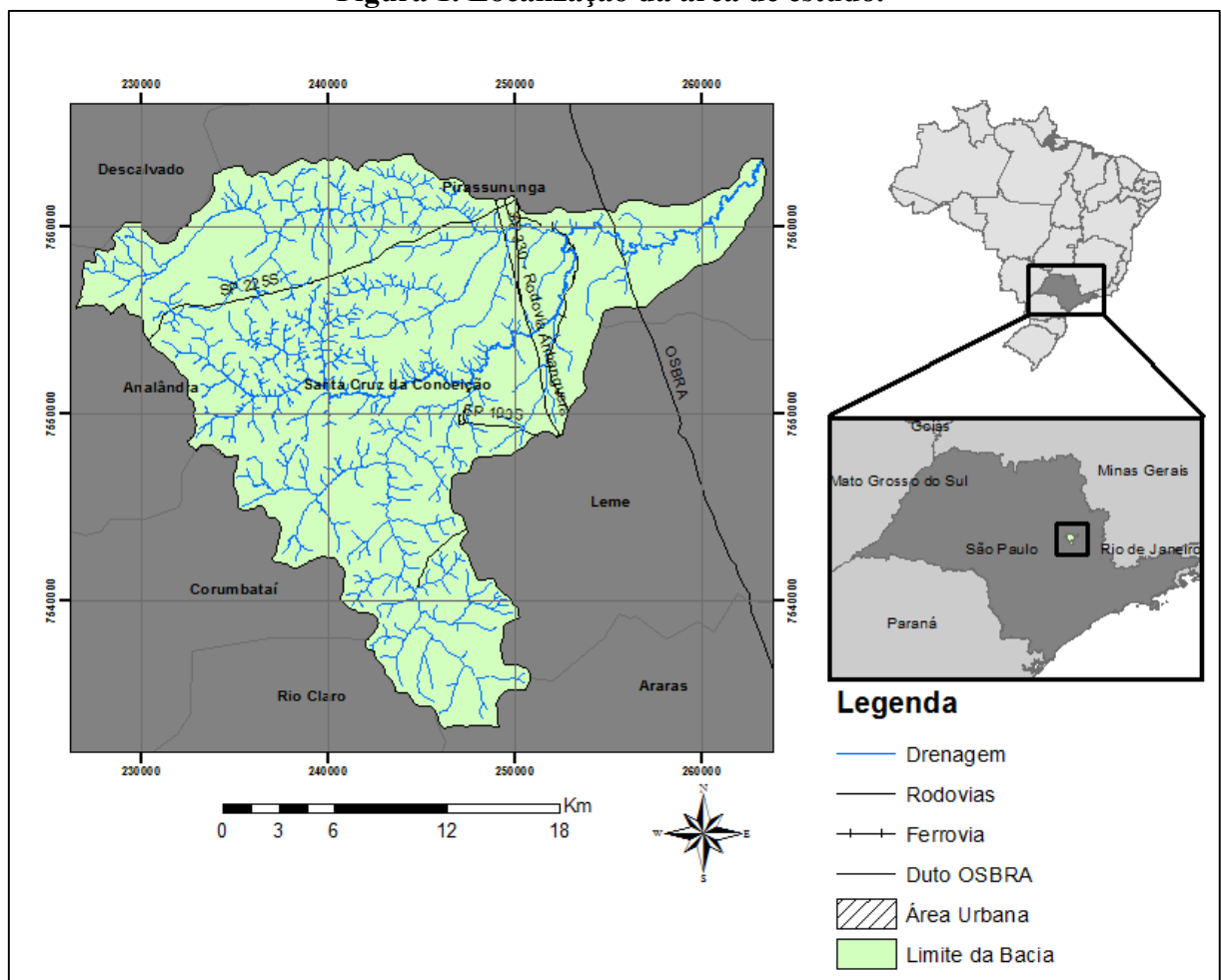
Procurou-se, neste trabalho, analisar o maior número possível de barragens na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque que se encontram em áreas com maior grau de suscetibilidade a escorregamentos, porém, a maioria desses barramentos se encontram em propriedades privadas, o que acaba dificultando as análises realizadas em campo.

Como área de estudo para desenvolvimento da pesquisa foi definida a micro bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, devido a mesma possuir 95 barragens de terra de pequeno e médio portes, sendo 78,95 % sem outorga no Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), além de 88 tanques em áreas de planície aluvionar e 18 áreas de mineração com cavas e/ou barragens de rejeito (REIS, et al., 2014; DAEE; 2013). Em complemento, a Bacia do Ribeirão do Roque já foi mapeada em termos de compartimentação fisiográfica dentro do Projeto de Pesquisa, referente ao Termo de Cooperação

FUNDUNESP/PETROBRAS/ANP, denominado: “*Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo*”, do qual o orientador dessa proposta de iniciação científica é o coordenador do referido Termo de Cooperação (REIS et al., 2014).

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque abrange parte dos municípios de Leme, Santa Cruz da Conceição, Araras, Rio Claro, Corumbataí e Pirassununga, ocupando uma área de aproximadamente 458 km², localizada na margem esquerda da macrobacia do Rio Mogi-Guaçu (AVANCINI et al., 2008), ilustrada na Figura 1.

Figura 1. Localização da área de estudo.



A economia dos municípios da região é baseada na agropecuária, agroindústria e mineração, sendo as barragens na zona rural usadas principalmente para irrigação das áreas agricultáveis ou como barragens de rejeito de minerações de areia, ocorrendo ainda reservatório artificial para o abastecimento público de Santa Cruz da Conceição.

Deste modo, é de extrema importância analisar a suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos nas encostas de barragens de terra, pois, um possível rompimento dos

barramentos podem ocasionar sérias consequências sociais, econômicas e ambientais, como foram os casos recentes de rompimento de barragens de mineração nas regiões de Leme e Analândia, acidente que ocorreu em 21 de janeiro de 2007, com o rompimento de 2 barragens de rejeito em sequência em uma mineração de areia, com uso principal para a construção civil, que situa-se na porção montante do Córrego do Monjolo (REIS, *et al.*, 2014).

2. OBJETIVO

O principal objetivo da pesquisa foi avaliar parâmetros fisiográficos e de uso e ocupação do solo, associados à ocorrência de escorregamentos em encostas no entorno de barragens de terra na bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, definindo a vulnerabilidade dos barramentos à escorregamentos.

O objetivo secundário da pesquisa foi avaliar as principais funcionalidades do *software* FLO-2D, utilizado para a simulação de processos de ondas de cheia gerados pelo processo de ruptura de barragens.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Condicionantes à Ocorrência de Escorregamentos

Os processos de movimento de massa, principalmente os escorregamentos, constituem os processos mais importantes que atuam nas evoluções das vertentes e, por conseguinte na evolução geomorfológica destas regiões. É considerado até como mais importante que os processos fluviais, no que diz respeito ao total de material mobilizado (RAHN, 1986).

No Brasil, observam-se muitas áreas suscetíveis aos movimentos de massa devido as condições climáticas, geomorfológicas, geológicas e pedológicas. Esses fatores, quando aliados à interferência antrópica, como a ocupação de encostas e o desmatamento, proporcionam inúmeros desastres, principalmente nos períodos de chuva (GOMES, 2006). Segundo Glade e Crozier (2005), esses fatores podem ser divididos em três tipos: predisponentes, preparatórios e desencadeantes.

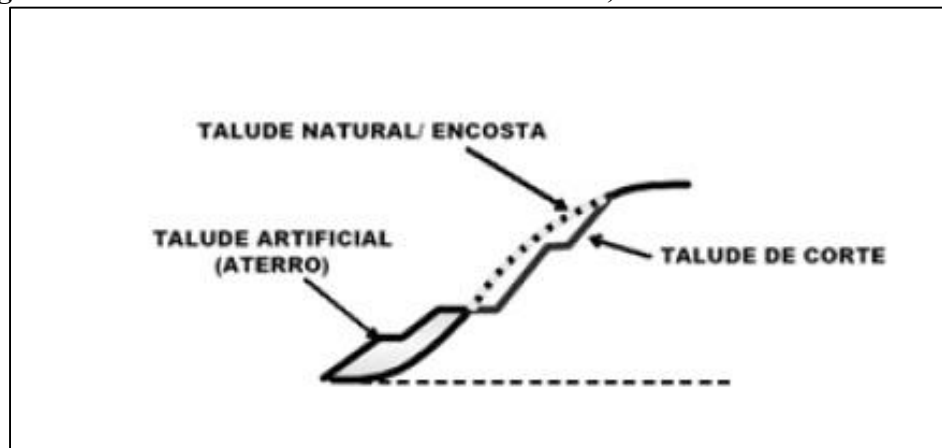
Os fatores predisponentes, ou condicionantes, são estáticos e inerentes ao terreno (declividade, geologia e vegetação), condicionando o grau de suscetibilidade do terreno. Já em relação aos fatores preparatórios, estes são dinâmicos (precipitação baixa e ação antrópica), diminuindo a estabilidade mas sem iniciar o movimento. Enquanto que os fatores desencadeantes (precipitação intensa), representa a causa imediata (GLADE e CROZIER, 2005).

Nos itens subsequentes, são descritos os principais fatores condicionantes e desencadeantes de escorregamento, fornecendo uma visão geral dos processos que atuam de forma mais direta na instabilização de encostas.

3.1.1. Declividade

Segundo IPT (2004), quando se refere à encosta, este termo pode ser entendido como toda superfície natural inclinada (declive), que une duas outras superfícies caracterizadas por diferentes energias potenciais gravitacionais. Os taludes naturais são definidos como encostas de solo e rocha, de maciços terrosos, rochosos ou mistos, de superfície não horizontal, originados por agentes naturais. Já os taludes de cortes são definidos como um talude resultante de algum processo de escavação promovido pelo homem. Por fim, os taludes de aterro referem-se aos taludes originados pelo aporte de materiais como: solo, rocha e rejeitos industriais ou de mineração. Esses elementos são apresentados na Figura 2.

Figura 2. Perfil de encosta com taludes natural, de corte e de aterro.



Fonte: (IPT, 2004).

A declividade é representada pelo ângulo de inclinação em uma relação percentual entre a altura (H) e o comprimento na horizontal (L) da encosta. Pode-se verificar a representação desses elementos geométricos na Figura 3.

Figura 3. Elementos geométricos de um talude.



Fonte: (IPT, 2004).

De acordo com Dias e Herrmann (2002), o principal fator condicionante dos movimentos de massa é a declividade, uma vez que ela é diretamente proporcional à velocidade do movimento e à capacidade de transporte de solo e rocha. Todavia, Saito (2004) ressalta que em áreas de baixa declividade, também ocorrem movimentos de massa, visto que podem se tratar de acumulação de depósitos de vertente. Valeriano e Albuquerque (2010), afirmam que a declividade pode ser expressa em graus (de 0° a 90°) ou em porcentagem (de 0% a infinito).

No trabalho de Ross (1994), o autor faz uma separação no que diz respeito as categorias hierárquicas das classes de declividade (Tabela 1), levando em conta os valores limites críticos da geotécnica, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos e inundações frequentes. Estas classes são:

Tabela 1: Categorias Hierárquicas das Classes de Declividade.

Categorias Hierárquicas	Classes de Declividades
1 – Muito Fraca	até 6 %
2 - Fraca	de 6 a 12 %
3 - Média	de 12 a 20 %
4 - Forte	de 20 a 30 %
5 Muito Forte	Acima de 30 %

Fonte: Ross 1994.

Já em Gusmão Filho et al. (1992), os autores avaliaram as classes de declividade, classificando-as em três tipos de classes, sendo risco muito baixo: de 0 a 15%, risco mediano a alto: de 15% a 30% e risco muito alto: acima de 30%. Já Santos (2007), define a hierarquia de vulnerabilidade para movimentos de massa em cinco classes, sendo muito baixa: inferior a 5%, baixa: 5 a 12%, intermediária: 12% a 30%, alta: 30% a 47% e muito alta: superior a 47%.

Apesar das inúmeras classificações de classes de declividade, segundo Fernandes e Amaral (2003), os escorregamentos ocorrem em declividades de encostas acima de 20°, sendo que os maiores números de movimentos não ocorrem em declividades $> 35^\circ$, mas entre 21° a 35° . Tal comportamento é devido a variações na cobertura vegetal e ao fato de que nas encostas mais íngremes os solos já teriam sido removidos por movimentos anteriores.

A declividade do terreno tem influência na quantidade de água disponível na superfície para ser infiltrada pelo solo e não na velocidade de infiltração, uma vez que em terrenos com baixa declividade, a água precipitada escoar de forma lenta, contribuindo para a infiltração da água no solo. O oposto acontece em terrenos com alta declividade, em que a água tende a escoar mais rapidamente, diminuindo o tempo de contato entre a água e a superfície, fazendo com que diminua sua infiltração na superfície. (AHRENDT, 2005).

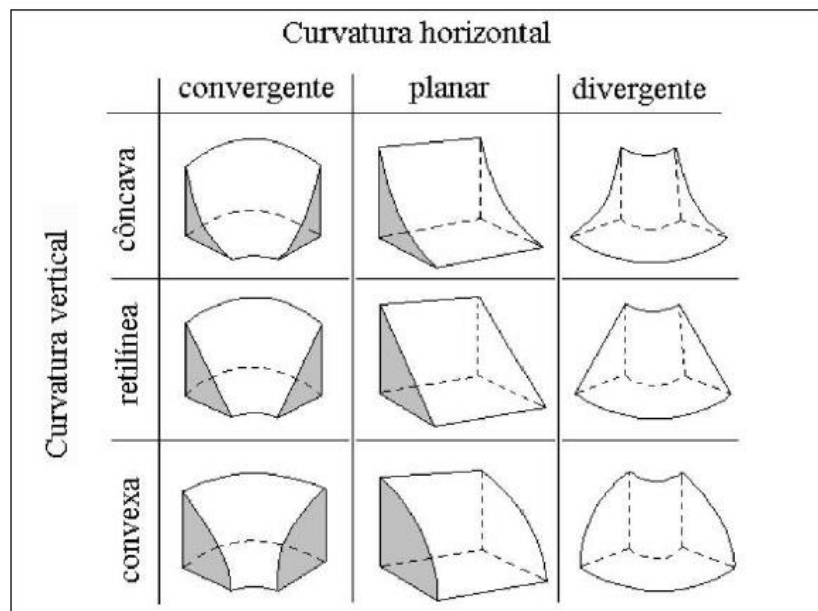
3.1.2. Formas de Encosta

De acordo Fernandes e Amaral (2003), o desenvolvimento de movimentos de massa é fortemente influenciado pela forma da encosta no perfil e no plano, pelo fato de que condiciona o fluxo de água e de materiais sólidos, o acúmulo de umidade e os níveis de poropressão desenvolvidos.

Segundo Moreira e Pires Neto (1998), as formas das vertentes podem ser classificadas em três tipos de perfis: retilínea (quando os ângulos de declividade são aproximadamente constantes), convexa (perfil com curvatura positiva e ângulos que aumentam continuamente para baixo) e côncava (perfil com curvatura negativa e ângulos que diminuem para baixo).

A combinação desses três tipos de perfis indica a forma do terreno (Figura 4).

Figura 4. Combinação das curvaturas para caracterização das formas de terreno.



Fonte: adaptada de Dikau (1990), citado por Valeriano (2008).

A combinação convexa-divergente representa a máxima dispersão do escoamento, enquanto que a combinação côncava-convergente, apresenta a máxima concentração e acúmulo de escoamento, já as combinações intermediárias possuem características hidrológicas mais dependentes das relações entre as intensidades (módulos) dos efeitos individuais. (VALERIANO, 2008).

Para IPT (1991), as encostas retilíneas tendem a apresentar declividades maiores do que as convexas, sendo mais susceptíveis a escorregamentos. Já as encostas convexas, apresentam maiores espessuras de solos, influenciando no sentido de favorecer a instabilidade, potencializando uma ruptura mais profunda.

No trabalho de Tominaga et al. (2005), a classificação de suscetibilidade dos perfis é dada por: baixa (perfis convexos), média (perfis convexo-côncavos), alta (perfis côncavos) e muito altas (perfis retilíneos).

Em Macedo (2002), nos casos de escorregamentos em Recife, foi constatado que 46% dos escorregamentos aconteceram em encostas côncavas, 9% em convexas, 15% em retilíneas e 30% em côncavas-convexas. Por outro lado, no trabalho de Kozciak (2005), foi constatado que as formas convexas de encostas apresentaram-se mais instáveis que as côncavas e retilíneas, devido a maior espessura do solo acumulado, o que gera uma contradição entre os autores citados.

3.1.3. Vegetação e Uso do Solo

A vegetação, como tipo de uso do solo, está diretamente associada à manutenção da estabilidade de encostas, podendo contribuir tanto para a estabilidade quanto para a instabilidade de encostas. (KURIAKOSE et al., 2009).

De acordo com Vargas (1999), discute-se muito sobre a questão dos efeitos de desflorestamento sobre a estabilidade dos taludes das encostas naturais. Não há dúvida que existe a evidência da degradação da cobertura vegetal coincidir com escorregamentos generalizados das encostas, mas há também casos observados de grandes escorregamentos, deflagrados de chuvas violentas, em regiões de florestas. Nesses casos, o solo e os blocos de rochas carregavam consigo enormes troncos de árvores.

De acordo com Rodrigues (1998), o meio mais simples e eficiente de proteção de taludes contra a erosão provocada pelas águas da chuva e do vento, é o revestimento vegetal. Augusto Filho (1994), aponta a redistribuição da água da chuva e o acréscimo da resistência do solo devido à presença das raízes como efeitos favoráveis à estabilidade de encostas.

No estudo de Panikkar e Subramanyan (1996), na Índia, foi reportado que 91% dos escorregamentos em sua área de estudo, ocorreram em áreas não florestadas. De acordo com Perotto-Baldiviezo et al. (2004), é em declividades acentuadas que a retirada da vegetação natural implica em maior aumento da suscetibilidade.

Em seu trabalho, Ross (1994) estabeleceu hierarquia de graus de proteção aos solos pela cobertura vegetal que podem ser vistos no Quadro 1:

Quadro 1: Graus de Proteção do Solo de Acordo Com a Cobertura Vegetal

Graus de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal
Muito Alta	Florestas / Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Mata homogênea de Pinus densa, pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível / terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas.
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível / terraceamento).
Muito baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado / gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: ROSS, 1994.

Em Rodrigues (2013), a maior parte dos escorregamentos ocorreu em locais com cobertura de vegetação arbórea e vegetação rasteira. Neste caso, pode-se inferir que movimentos de massa estão associados ao processo de saturação do solo.

No trabalho de Fiori e Borchardt (1997), analisando a influência e o comportamento da vegetação na estabilidade das encostas da Serra do Mar no litoral paranaense, verificaram que em vertentes pouco inclinadas, o efeito da vegetação nos índices de segurança é maior, diminuindo gradativamente com o aumento da declividade.

3.1.4. Pluviosidade

A pluviosidade é apontada como o principal agente na deflagração de movimentos de massa no Brasil. Tanto as precipitações intensas e rápidas quanto as menos intensas e de maior duração podem desencadear esses processos. A interferência das chuvas se dá, sobretudo, através da elevação do nível d'água, aumento do peso específico do solo e redução de sua coesão, favorecendo a ocorrência de rupturas. (AUGUSTO FILHO e VIRGILLI, 2004).

A chuva pode causar a erosão do solo, a erosividade é o índice que expressa a capacidade de ocorrer tal fato, sendo estimado através de vários métodos que consideram o regime das precipitações, intensidade e magnitude. A energia cinética tratada como o número total de gotas de chuvas de uma determinada intensidade, é frequentemente considerada como o parâmetro mais importante para se determinar a erosividade. (MOREIRA; PIRES NETO, 1998).

Guidicini e Iwasa (1976), citam que ocorrências de chuva intensa e superiores a 12% da pluviosidade média anual tendem a provocar escorregamentos, quando os níveis de pluviosidade são muito elevados, podem deflagrar escorregamentos tanto em áreas ocupadas ou alteradas, quanto em áreas virgens. Sendo assim, os outros fatores que atuam nas encostas assumem papel secundário nas ocorrências de chuvas intensas.

Em Lan et al. (2004), são citados dois caminhos para a previsão de escorregamentos provocados pelas chuvas: (1) é o uso de correlações estatísticas e técnicas de previsão para estabelecer relações empíricas entre os movimentos de massa e a pluviosidade, ou, (2) seria o uso do modelo determinístico, ligando um modelo mecânico de estabilidade de encosta com um modelo hidrológico para moldar mudanças na recarga da água subterrânea e na pressão da água nos poros do solo que são causadas pelas chuvas.

3.1.5. Amplitude Altimétrica

Segundo Brubacher et al. (2011), a amplitude altimétrica é obtida através da diferença entre a máxima e mínima altitude. Assim como a declividade, ela é responsável pela velocidade de escoamento. Sendo que quanto maiores os valores, mais rápido é o escoamento, o que faz reduzir o acúmulo de água na sub-bacia.

A variação da altitude também é importante pela influência que exerce sobre a precipitação, sobre as perdas de água por transpiração e evaporação. Bacias com alta variação de altitude, apresentam possíveis variações de precipitação anual e grandes diferenças na temperatura média, o que causa variações na evapotranspiração. (CAMPOE, 2012).

3.1.6. Solo/Substrato

Segundo Bigarella et al. (1996), a textura do solo se refere à proporção relativa das partículas sólidas presentes na massa do solo, o que acaba causando influência na capacidade de absorção e infiltração da água da chuva. Para Fiori e Carmignani (2009), a permeabilidade e a porosidade são propriedades que estão diretamente ligadas e que são inversamente

proporcionais à densidade, que por sua vez, representa a relação entre o volume e a massa total do solo. Portanto, fica expresso que no geral, os solos argilosos são menos permeáveis que os solos arenosos.

Em Bigarella et al. (2003), afirmam que a espessura do manto, o pequeno conteúdo de matéria orgânica e a natureza argilosa impermeável dos solos tropicais, fazem com que se tornam extremamente susceptíveis aos movimentos de massa. Sendo apenas os latossolos mais permeáveis e os capeamentos lateríticos, resistentes aos processos erosivos.

Os climas tropical e subtropical fornecem características propícias aos processos de intemperismo. De acordo com Guidicini e Nieble (1983), o processo de alteração por intemperismo acarreta no enfraquecimento gradual do meio rochoso e/ou terroso, no qual ocorre, pela dissolução dos elementos com função de cimentação em rochas ou solos sedimentares, pela remoção dos elementos solúveis que constituem os minerais e pelo desenvolvimento de uma rede de microfraturas no meio rochoso. Este enfraquecimento se traduz em uma diminuição dos parâmetros de resistência como coesão e ângulo de atrito interno.

Em Augusto Filho e Virgili (2004), foi verificado que existem mantos de cobertura superficial de grandes espessuras, com a formação de zonas de diferentes permeabilidades, resistências e outras características das quais se relacionam diferentemente com os mecanismos de escorregamentos e processos correlatos.

3.2. Métodos para Avaliação de Suscetibilidade a Escorregamentos

A avaliação da suscetibilidade pressupõe a consideração de vários fatores que condicionam a ocorrência dos movimentos de massa. Cada fator influencia de maneira distinta na instabilização das encostas, constituindo-se em um problema complexo, uma vez que o método da combinação de mapas com base heurística prevê o cruzamento dessas variáveis. Outro problema observado, é que existem diversas instituições e profissionais envolvidos na análise dos movimentos de massa, cada qual com um diferente ponto de vista quanto à importância relativa de cada fator, dificultando encontrar um consenso entre as partes interessadas (BRITO, 2014).

Nesse cenário, os SIG tornam-se uma ferramenta extremamente útil, já que permite combinar dados espaciais de diversas fontes, além de realizar uma série de operações analíticas a fim de resolver conflitos, elaborar cenários e fornecer suporte as decisões tomadas. (BONHAM-CARTER, 1996).

Muitas técnicas têm sido propostas para o mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, não existindo um método melhor ou mais adequado (YESILNACAR e TOPAL, 2005). A escolha da metodologia irá depender da disponibilidade, qualidade e precisão dos dados existentes, além da escala de mapeamento e resultados esperados. De modo geral, os métodos de mapeamento podem ser divididos em análises heurísticas, determinísticas e estatísticas (BARREDO et al., 2000).

Taglani (2003), utilizou a análise de multicritérios em ambiente de SIG, tendo como objetivo avaliar a vulnerabilidade de ambientes costeiros na região da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Utilizou como critérios a declividade, a vegetação e capacidade de uso do solo, os recursos hídricos e a idade dos terrenos. Já para a ponderação dos critérios, foram empregados o método AHP e a combinação linear ponderada. De acordo com o autor, essa metodologia integrada com o SIG, além de ser flexível, permite a inclusão de dados complementares ou a reavaliação das informações temáticas e critérios, sendo possível chegar a um consenso e a tomada de decisão.

No trabalho de Raghuvanshi et al. (2014), os autores fazem a classificação de forma quantitativa, ou seja, atribui pesos baseados na influência de que cada fator tem para o processo de escorregamentos. Em seu trabalho, conferiram valores de 0 a 2 às classes de fatores condicionantes, e, ao final somou as classes de cada área obtendo cinco zonas de risco de escorregamentos, variando entre a zona de risco muito alto com valor maior que 12, e a zona de risco muito baixa com valor menor que 2.

Em Machado (2011), o autor também utilizou o método de análise multicritério, de forma quantitativa, onde o mesmo atribuiu pesos de influência para cada mapa inserido na análise, a soma de todos os pesos deve, necessariamente, ser igual a 100%. O autor chegou à conclusão de que o mapa mais fiel à realidade foi aquele cujos pesos de influência foram os mesmos para a declividade e para o uso e ocupação do solo, ambos com 35% cada, comando 70% de influência, sendo que os 30% restantes do total, foram distribuídos igualmente entre os outros parâmetros: geologia, geomorfologia e solo.

No trabalho de Ferreira et al. (2008), foram atribuídos pesos diferentes para os critérios usados, que foram: geologia, declividade e forma de vertente. Chegaram à conclusão que os pesos dos quais mais se adequaram à realidade foram: 70% para declividade, 20% para forma de vertente e 10% para a geologia.

É possível dessa forma, notar que quando se trata do método de análise multicritério, de forma quantitativa, a declividade é o condicionante de escorregamentos mais importante na atribuição de pesos.

Já em Gusmão Filho et al. (1992), usam a metodologia conhecida de informação qualitativa, onde os multicritérios são avaliados conforme as evidências obtidas de várias fontes de conhecimento e classificados com termos linguísticos. Ainda estes, classificam em 5 graus: muito baixo, baixo, mediano, alto e muito alto o risco à escorregamentos. Segundo CERRI et al. (2007), mesmo reconhecendo-se as eventuais limitações, imprecisões e incertezas inerentes à análise qualitativa de riscos, os resultados da aplicação dessa metodologia de mapeamento são decisivos para a eficiência e eficácia de uma política de intervenções voltada à consolidação da ocupação.

Os principais tipos de análise e técnicas aplicadas no mapeamento de suscetibilidade, suas principais características e escalas recomendadas podem ser vistos no Quadro 2:

Quadro 2: Principais Tipos de Análise Aplicadas ao Mapeamento de Áreas Suscetíveis a Escorregamentos, suas Respectivas Características e Escala Mínima Recomendada.

Tipo de Análise	Técnica	Características	Escala mínima recomendada		
			Pequena 1:100.000	Média 1:25.000	Grande 1:10.000
Inventário	Distribuição dos deslizamentos	Análise da distribuição espacial dos deslizamentos	sim ^a	sim	sim
	Atividades dos deslizamentos	Análise temporal das mudanças das características do meio	não	sim	sim
	Densidade dos deslizamentos	Análise da densidade de deslizamentos em unidades de terreno ou a partir de isoietas	sim ^a	não	não
Heurística	Análise geomorfológica	Considera a opinião de especialistas de campo	sim	sim ^b	sim ^b
	Combinação de mapas	Considera a opinião de especialistas na atribuição de pesos nas variáveis analisadas	sim ^c	sim ^b	não
Estatística	Análise bivariada	Calcula a importância da contribuição dos fatores condicionantes	não	sim	não ^d
	Análise multivariada	Calcula a equação de previsão a partir de uma matriz de dados	não	sim	não
Determinística	Análise de fatores de segurança	Análise baseada em modelos hidrológicos e de estabilidade de encostas	não	não	sim ^d

^a somente com dados confiáveis de distribuição de cicatrizes de deslizamento

^b somente com suporte de outras técnicas quantitativas para obtenção de níveis de objetividade aceitáveis

^c somente se existe uma base de dados confiáveis dos fatores controladores dos escorregamentos

^d somente em condições de terreno homogêneas, considerando a variabilidade dos parâmetros geotécnicos

Fonte: Adaptado de Soaters e Van Westen (1996).

Aleotti e Chowdhuri (1999) enfatizam que a técnica deve ser selecionada em função da escala de trabalho, levando em consideração a relação custo-benefício como por exemplo, na avaliação da suscetibilidade em áreas extensas pode basear-se tanto na análise heurística ou

estatística, em escalas médias. O resultado terá um caráter indicativo e pode cooperar no planejamento urbano e regional. Quando se trata de áreas menores, o mapeamento pode ser auxiliado por investigações geotécnicas utilizando abordagens determinísticas, em escalas grandes, já que essas técnicas são mais adequadas para situações específicas.

Para Van Westen et al. (2008), praticamente todas as técnicas fazem uso de ferramentas de geoprocessamento, independente da abordagem adotada. Elas são utilizadas na coleta de dados com o GPS (Global Positioning System), no processamento de imagens e na análise e espacialização desses dados em SIG (Sistema de Informação Geográfica). Em alguns modelos heurísticos e determinísticos, a decisão é feita praticamente toda em SIG, enquanto que nas análises geomorfológicas, o SIG serve basicamente como ferramenta de desenho. (ALEOTTI e CHOWDHURI, 1999).

É importante frisar que qualquer análise de suscetibilidade contém incerteza em seus resultados, seja em função dos modelos utilizados, podendo ser muito simplificados em relação à realidade, ou seja em função das variáveis selecionadas, que possuem uma variabilidade intrínseca decorrente da heterogeneidade e anisotropia do meio que descrevem. (SAFAEI et al., 2012).

Contudo, são instrumentos de grande importância na tomada de decisão, pois permitem simular e prever áreas potenciais, além de auxiliar na gestão de riscos. Sendo assim, os principais métodos existentes para a avaliação da suscetibilidade serão descritos a seguir, com o objetivo de fornecer uma visão geral de suas potencialidades e limitações.

3.2.1. Métodos com base heurística

Nos métodos com base heurística, a fundamentação é feita a partir do conhecimento de especialistas no assunto, para que se possa avaliar diretamente a suscetibilidade ou para ponderar os seus condicionantes. Eles podem ser divididos em análise geomorfológica e combinação de mapas (FELL et al., 2008).

Na análise geomorfológica, a determinação do grau de suscetibilidade é feita diretamente através dos especialistas, com base em experiências individuais e no raciocínio por analogia (FELL et al., 2008). Os resultados são de difícil reprodução, pelo fato de as regras de decisão serem implícitas e de dependerem de conhecimento tácito. Como consequência, a atualização do mapeamento se torna mais difícil. A identificação dos setores de riscos é feita com base na opinião da equipe durante a realização de trabalhos de campo, auxiliada pela utilização de imagens de satélite, fotografias aéreas e aplicação de fichas. Cerri

et al. (2007) comentam que, apesar da subjetividade, esta técnica permite avaliar de forma rápida e direta, a instabilidade, sendo decisiva na gestão de riscos e para a proposição de intervenções de caráter geral.

Já na combinação de mapas, o conhecimento de especialistas é utilizado na atribuição de valores a um conjunto de variáveis que predispõem o terreno à ocorrência de movimentos de massa (MARCELINO, 2003). As regras de decisão adotadas são explícitas e a possibilidade de reprodução dos resultados é alta. Em Yacin (2008) e Gemitzi et al. (2011), ambos obtiveram resultados satisfatórios na aplicação da referida técnica ao mapearem a suscetibilidade a escorregamentos, com uma concordância de 81,3% e 96,0% respectivamente, entre os registros de ocorrência e os locais classificados como alta suscetibilidade.

Os métodos heurísticos são de fácil aplicação além de permitirem uma avaliação rápida da suscetibilidade. Esses tipos de métodos são aplicados, geralmente, em mapeamentos com escalas pequenas e médias, tendo como objetivo estabelecer zonas de maior suscetibilidade. A partir deles, é possível auxiliar no direcionamento dos mapas quantitativos, otimizando os trabalhos de campo a serem executados (BRITO, 2014).

3.2.2. Métodos com base determinística

Os métodos com base determinística levam em consideração os princípios da teoria clássica de estabilidade de encostas e modelos matemáticos, como modelos hidrológicos, métodos de equilíbrio limite e técnicas de elemento fino (FELL et al., 2008). Segundo Barredo et al. (2000), esses métodos buscam reduzir a subjetividade, através da quantificação dos graus de suscetibilidade em valores absolutos, por meio do cálculo do fator de segurança da encosta.

Vários modelos deterministas têm sido propostos, sendo o SHALSTAB (*SHALlow STABility*), o modelo que mais se destaca, o qual é baseado na combinação de um modelo hidrológico e da equação de talude infinito (CASADEI ET AL., 2003). De acordo com Guimarães et al. (2003), o SHALSTAB foi utilizado para a realização do mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos rasos no maciço do Tijuca, Rio de Janeiro. Os resultados obtidos demonstraram um excelente desempenho do modelo, sendo que quase a totalidade dos escorregamentos pretéritos, localizaram-se nas zonas de alta suscetibilidade.

Zaidan e Fernandes (2009), ressaltam que, apesar de seus benefícios, este modelo não é adequado para áreas com baixa declividades, solos espessos, afloramentos rochosos e áreas

escarpadas. Portanto, sua aplicação é restrita a avaliação de escorregamentos do tipo translacionais rasos, onde esteja bem definido o plano de transição entre solo e rocha (BRITO, 2014).

Mesmo sendo precisos, a aplicação de métodos determinísticos exige que se possua uma ampla compreensão dos mecanismos de ruptura atuantes, além de uma vasta quantidade de dados hidrogeológicos e geotécnicos, sendo necessárias informações de difícil obtenção para áreas extensas como geometria do plano de ruptura, espessura e resistência ao cisalhamento do solo, entre outros. Portanto, os métodos determinísticos não são recomendados para mapeamentos de suscetibilidade em escalas pequenas e médias. Entretanto, eles são os mais adequados quando se trata de áreas pouco extensas ou para o mapeamento de encostas específicas, com condições de terreno relativamente homogêneas (SOETERS e VAN WESTEN, 1996; ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999; AYALEW e YAMAGISHI, 2005).

3.2.3. Métodos com base estatística

Os métodos com base estatística, se fundamentam no relacionamento existente entre os fatores que condicionam a instabilidade e os movimentos de massa pretéritos. A partir dessas relações, é determinado os graus de suscetibilidade para os locais onde não existem registros de movimento de massa, ou seja, assume-se que as condições que poderiam causar instabilidades no passado, correspondem às condições que poderão desencadear futuros eventos (DAI e LEE, 2002; FEEL et al., 2008). Geralmente, os métodos com base estatística são divididos em duas categorias, análise bivariada e análise multivariada.

Na análise bivariada, é feita a combinação de cada fator predisponente com o mapa de distribuição dos movimentos de massa, e pesos baseados na densidade de eventos são calculados para cada fator. Para isso, é utilizado técnicas de inferência como a lógica *fuzzy* e bayesiana (SOETERS e VAN WESTEN, 1996).

Na análise multivariada, é considerado para cada unidade amostral (pixel ou polígono) a presença ou ausência de movimentos de massa, por meio de uma matriz de dados que é exportada e analisada em um pacote estatístico, como a análise discriminante e a regressão múltipla. Este é um método adequado para áreas não ocupadas, zonas homogêneas e áreas com apenas um tipo de movimento de massa (SOETERS e VAN WESTEN, 1996).

Os métodos estatísticos quando comparados com os métodos heurísticos, garantem níveis superiores de reprodutibilidade dos dados, já que as regras de decisão são obtidas a

partir de análises estatísticas e não com base em especialistas (VAN WESTEN et al., 1999). Segundo Carrara et al. (1991), não é possível afirmar que este tipo de análise é mais objetivo, visto que um elevado grau de subjetividade é incorporado, tanto na coleta dos dados de entrada, bem como na seleção dos fatores relevantes para a análise (DAI e LEE, 2002).

Dessa forma, quando se usa os métodos estatísticos, a confiabilidade de mapeamentos depende diretamente da qualidade do mapa inventário e das variáveis selecionadas (ERMINI et al., 2005).

3.3. Avaliação da Suscetibilidade à Escorregamento no Entorno de Barragens e sua Vulnerabilidade

De acordo com Martini et al. (2006), para se realizar uma avaliação no que se diz respeito à suscetibilidade a escorregamentos, não existe apenas uma metodologia que se aplique como modelo para todas as situações, mas existe algumas orientações que podem ser utilizadas. Dessa maneira, afirmam que é possível utilizar uma metodologia que avalie o histórico do local, por meio de levantamentos anteriores, associando-os aos fatores condicionantes, tempo de recorrência e magnitude, para se determinar a suscetibilidade à ocorrência de novos escorregamentos.

Segundo Guzzetti et al. (2007), o termo suscetibilidade tem sido utilizado com diversos significados diferentes em trabalhos sobre o tema. Eles preferem utilizar o termo “risco” para a definição de áreas que têm predisposição à ocorrência de escorregamentos. De acordo com Brito (2014), a suscetibilidade pode ser definida como a predisposição do terreno à ocorrência de um determinado fenômeno em uma área específica no futuro, independentemente de seu período de recorrência e do seu potencial destruidor.

No que se diz respeito ao risco, Tominaga (2007) estabelece que seu mapeamento indica a probabilidade de ocorrência de escorregamentos em função do mapa de suscetibilidade, características de uso do solo e precipitação. Para a ONU (UN-ISDR, 2004), o termo “risco” pode ser definido como a probabilidade da ocorrência de consequências prejudiciais resultante da interação entre perigos naturais (ou induzidos por ação antrópica) e as condições de vulnerabilidade e suscetibilidade. Porém, outros autores definem “risco” como sendo o produto do perigo com a vulnerabilidade dos elementos a eles expostos (população, infraestrutura, atividades econômicas) e suas possíveis consequências (número de mortos, feridos e prejuízos) (GLADE e CROZIER, 2005; FELL et al., 2008).

A avaliação de risco fornece subsídios para se identificar as áreas críticas para a realização de intervenções estruturais e não estruturais, para o monitoramento de áreas

sujeitas a movimentos de massa e para o estabelecimento de ações conjuntas entre a comunidade e o poder público (DI GREGORIO et al., 2012). Podendo também contribuir com ações de caráter logístico no enfrentamento de situações emergenciais, operações de resgate, evacuação da população frente a um desastre eminente e na restauração de áreas afetadas (MARCELINO et al., 2006).

A Figura 5 ilustra o modelo conceitual de risco do referido projeto, sendo possível notar que a determinação de risco é bastante complexa, envolvendo outros componentes.

Figura 5. Relação conceitual entre suscetibilidade, perigo, vulnerabilidade e danos e consequências.



Fonte: (BRITO, 2014)

Quando se trata de perigos (hazards), estes correspondem à probabilidade de um evento natural danoso ocorrer, podendo ser classificados em primários e secundários, sendo que na maioria dos casos, os últimos apresentam ameaças maiores que os primeiros (UN-ISDR, 2004). A avaliação de perigo tem como objetivo, a identificação da probabilidade de ocorrência em uma determinada área, em um determinado período de tempo, visando à proteção das pessoas, por meio de delimitações de áreas onde escorregamentos podem eventualmente ocorrer, por exemplo (UN-ISDR, 2004).

Já a vulnerabilidade, é uma condição que é determinada por processos ou fatores físicos, ambientais, sociais e econômicos, que expõe uma determinada comunidade ao risco (UN-ISDR, 2004). Moura (2011), acredita que a noção de vulnerabilidade é relativa e que normalmente está relacionada à exposição das pessoas a um determinado risco, dependendo da suscetibilidade de uma determinada área a algum desastre.

O mapeamento das áreas vulneráveis é um importante instrumento na análise de risco, uma vez que, baseado nesse mapeamento, o poder público pode tomar uma série de medidas preventivas, como a implantação de obras de engenharia e planejamento do uso do solo, tendo

como objetivo, evitar ou mitigar os danos causados por desastres naturais (MARCELINO et al., 2006).

Quando se trata em gestão de barragens, Fusaro (1999) propôs um sistema de classificação das barragens e suas estruturas associadas vinculada ao seu Potencial de Risco (P) – parâmetro resultado de constantes, e sua Vulnerabilidade (V) – parâmetro variável, visando acompanhar a evolução com o tempo do comportamento das estruturas e suas condições de contorno, podendo distinguir como prosseguir para incrementar a segurança de uma determinada estrutura. O Potencial de Risco (P), é classificado pela soma dos valores atribuídos aos principais parâmetros físicos da barragem (altura, tipo de barragem, volume do reservatório, tipo de fundação e vazão de projeto). Já a classificação, segundo a Vulnerabilidade (V), define as condições atuais da barragem e procura mensurar o quanto as estruturas estão vulneráveis a uma possível ruptura e a extensão dos danos materiais e financeiros daí advindos. Se obtém através da soma da pontuação atribuída aos parâmetros variáveis (idade, confiabilidade dos extravasores, regras operacionais, condição atual das estruturas civis, riscos a jusante).

Portanto, no presente projeto, algumas barragens serão analisadas e será elaborada uma prancha de inspeção de campo para verificar a manutenção das barragens, na qual os principais parâmetros selecionados apresentarão risco potencial de rompimento das mesmas, demonstrando assim a situação de cada barramento em termos de vulnerabilidade.

3.4. Uso da Compartimentação Fisiográfica na Definição da Suscetibilidade à Escorregamento

Para Oliveira (2004), a compartimentação fisiográfica é utilizada para agrupar os elementos constituintes do meio físico de acordo com suas semelhanças e diferenças. Para que se possa agrupar, ou não, um elemento, deve-se primeiro constatar se este elemento apresenta características comuns àquelas do universo em questão. Dessa forma, o processo de compartimentação deve ser precedido por um processo classificatório, onde os elementos que apresentam características mais próximas ou iguais entre si são agrupados.

A compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada região em unidades que apresentam homogeneidade quanto às características dos elementos componentes do meio físico, implicando em um determinado comportamento geotécnico frente às ações e atividades antrópicas. Tal compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas, sendo comum a denominação de "classes" de unidades fisiográficas que englobam

outras (em escalas maiores) ou por outras são englobadas (escalas menores). (VEDOVELLO, 2000).

Vedovello (1993), em trabalho de compartimentação fisiográfica, refere-se à classificação hierárquica entre classes de unidades, como taxonomia e hierarquia. Na taxonomia, a classificação é feita a partir de uma relação natural específica, como as propriedades dos materiais constituintes, entre outros. Em relação à hierarquia, a classificação se baseia na escala e na finalidade do estudo.

Segundo Maretti (1989), na compartimentação fisiográfica existe uma correlação natural entre os elementos constituintes do meio físico, de maneira que a seleção de um ou vários elementos serve para identificar unidades com associações específicas das formas de ocorrência dos vários elementos fisiográficos. Em Rodrigues (2012), após o uso de técnicas de compartimentação fisiográfica, foi possível identificar os processos geológicos existentes em uma determinada área, como cicatriz de escorregamentos, erosão de solo e suscetibilidade a movimentos de massa.

Para uma boa aplicação da análise fisiográfica, é de extrema importância que o fotointérprete possua sólidos conhecimentos derivados da geologia e geomorfologia. O método tem a principal vantagem, a agilidade no processo de levantamento, no que diz respeito aos processos tradicionais, ou de campo, em levantamentos do meio físico. Porém, é necessário que se faça os reconhecimentos e verificações em campo. (PUPIM, 2010).

Em REIS et al. (2014), o mapeamento das unidades fisiográficas foram baseados nos critérios de fotointerpretação propostos por Zaine (2011), que envolvem a análise e a interpretação geológica e geomorfológica de imagens de satélite (LANDSAT), com auxílio de mapas de declividade, de relevo realçado e MDE. E os seguintes critérios para a definição de suscetibilidade de movimentos de massa foram selecionados:

- densidade textural dos elementos de relevo e drenagem;
- análise das formas e características do relevo, incluindo: amplitude local (variações de cota da unidade), declividade, formas de vales e de topos; e,
- análise das estruturas geológicas, utilizando a tropia.

3.5. Modelagem Matemática para Simulação

A utilização de modelos matemáticos tem sido cada vez mais empregada para estudar os fenômenos e processos que ocorrem na natureza, já que estes apresentam uma certa previsibilidade. Segundo Lopes (2006), um modelo pode ser entendido como uma

representação da realidade, de maneira simplificada, de modo a auxiliar nos processos dos quais envolvem a realidade e que se baseiam em uma descrição formal de objetos e processos, permitindo dessa forma a realização de simulações.

Dessa forma, um modelo pode ser usado com o objetivo de estudar um determinado fenômeno ou processo, como por exemplo, na previsão de possíveis impactos gerados por uma corrida de massa em uma determinada bacia hidrográfica. Além disso, os modelos de simulação têm se tornado cada vez mais imprescindíveis, em vista da complexidade dos eventos e da exigência da rapidez na produção de resultados, sobretudo em áreas de conhecimento que envolvam riscos (DOMINGUES, 2012).

De acordo com Rennó (2003), um modelo matemático pode ser definido por um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros. As variáveis podem mudar ao longo do tempo enquanto o modelo estiver sendo executado, por outro lado, os parâmetros mantêm seus valores fixos durante todo o processo estudado, possuindo assim, o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, podendo apenas variar espacialmente.

No que diz respeito ao estudo e compreensão dos processos e dos respectivos modelos de simulação, busca-se encontrar os que apresentam o melhor resultado diante dos dados de entrada que se possui. Dessa forma, o uso de modelagens mais complexas e baseadas em dados quantitativos, se dá quando existe uma certa disponibilidade de dados, gerando dessa forma, resultados mais precisos. Já em situações onde há escassez de dados, é fundamental que sejam utilizados modelos que demandam uma menor quantidade de dados (DOMINGUES, 2012).

Quando se trata em eventos que envolvam escoamento, podem ser classificados cinco tipos de modelos para a simulação desse tipo de evento em ordem crescente de precisão: simplificados, hidrológicos, hidrodinâmicos unidimensional (1D), hidrodinâmicos bidimensionais (2D) e físicos tridimensionais (3D) (LAURIANO, 2009). Tucci (1998) explica que em modelos hidrodinâmicos, são utilizados as equações de continuidade de Saint Venant (conservação do volume hídrico da bacia hidrográfica):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (1)$$

Onde: ∂A – é a área da seção molhada do trecho em m²; ∂Q – a razão do trecho em m/s; ∂x – comprimento do trecho de análise em m; ∂t – intervalo de tempo definido em s; q – é a vazão por unidade de comprimento x lateral em m/s/m.

Já a equação da quantidade de movimento está associada ao balanço que as forças exercem no fluido de volume infinitesimal em ∂x e ∂t (TUCCI, 1998).

$$\underbrace{g \cdot A \cdot S_f}_{\text{Atrito}} = \underbrace{g \cdot A \cdot S_0}_{\text{Gravidade}} - \underbrace{g A \frac{\partial h}{\partial x}}_{\text{Pressão}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) - \frac{\partial Q}{\partial t}}_{\text{Inércia}} \quad (2)$$

Onde: g – é a aceleração da gravidade em m^2/s ; S_0 – declividade do leito do canal em m/m ; S_f – o termo de atrito, relacionado a equação de Manning; ∂h - representando a altura da coluna d'água em m (TUCCI, 1998).

Os modelos bidimensionais são modelos matemáticos que geralmente, utilizam cálculos de diferenças finitas de volumes ou elementos, dos quais representam a bacia de forma bidimensional. Essas equações são desenvolvidas para modelar e analisar o comportamento de rios, lagos e barragens, quando ocorrem eventos extremos, como por exemplo uma onda de cheia induzida pela ruptura de barragem. Vasquez e De Lima (2009) explicam que, os modelos 2D são os que melhor reproduzem os padrões de fluxos em estruturas que não estão perpendiculares ao rio (pontes, dutos) quando comparado com os modelos 1D, já em relação aos modelos em 3D, esses são viáveis para modelagem de fluxos complexos, porém, o tempo de cálculo para grandes trechos de rios pode ser excessivo.

Dessa forma, o modelo hidrodinâmico bidimensional *FLO-2D* foi o *software* escolhido para se iniciar uma análise dos parâmetros de entrada para realização de uma futura simulação de um rompimento de barragem de rejeito em mineração de areia, situada na sub-bacia do Córrego do Monjolo, bacia do Ribeirão do Roque, município de Leme (SP).

3.5.1. Teoria e as equações governantes do modelo *FLO-2D*

Segundo os autores O'Brien, Julien e Fullerton (1993) e Gomes (2006), quando se trata de simulação de enchentes ou de corridas de massa, essa simulação envolve a integração numérica de equações de movimento e de conservação de massa (equação de continuidade) de um volume.

Equação da Continuidade:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h V_x}{\partial x} + \frac{\partial h V_y}{\partial y} = i \quad (3)$$

Equação de movimento em duas dimensões (equação de onda dinâmica):

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_x}{\partial x} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_x}{\partial y} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_x}{\partial t} \quad (4)$$

$$S_{fy} = S_{oy} - \frac{\partial h}{\partial y} - \frac{V_y}{g} \frac{\partial V_y}{\partial y} - \frac{V_x}{g} \frac{\partial V_y}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V_y}{\partial t}$$

Onde: h – é a espessura da corrida; V_x e V_y são as componentes de velocidade ao longo das coordenadas x e y ; i – é a intensidade de chuva excedente; S_{fx} e S_{fy} – são as componentes de atrito da encosta que são descritas como função da inclinação do terreno S_{ox} e S_{oy} ; $\partial h/\partial x$ e $\partial h/\partial y$ são os gradientes hidráulicos.

A não consideração do último termo das equações S_{fx} e S_{fy} , resulta na equação difusiva de onda por aproximação:

$$S_{fx/ly} = S_{ox/oy} - \frac{\partial h}{\partial x/\partial y} - \frac{V_x/V_y}{g} \frac{\partial V_x/\partial V_y}{\partial x/\partial y} - \frac{V_y/V_x}{g} \frac{\partial V_x/\partial V_y}{\partial y/\partial x} \quad (5)$$

Os fluxos hiperconcentrados são geralmente, referidos como fluxo de lama ou escoamentos, de forma que o comportamento destes, é em função das propriedades da matriz fluida, da geometria do canal e da inclinação. Além disso, a matriz fluida é composta por água e por sedimentos finos, quando tem-se concentrações de sedimentos finos suficientemente elevadas, as propriedades do fluido como viscosidade, densidade e tensão do escoamento são alteradas (GOMES, 2006).

A natureza dos fluxos de sedimentos hiperconcentrados pode também ser definida por diversas relações que expressam a concentração de sedimentos. No que diz respeito ao presente projeto, a concentração de sedimentos pelo volume (C_v) é dada por:

$$C_v = \frac{(\text{volume de sedimento})}{(\text{volume de água mais sedimento})} \quad (6)$$

O peso específico da mistura do escoamento (γ_m), é outro termo que merece destaque e que é dado em função da concentração dos sedimentos pelo volume:

$$\gamma_m = \gamma + C_v (\gamma_s - \gamma) \quad (7)$$

Onde: γ – peso específico da água; γ_s – peso específico dos sedimentos; C_v – concentração de sedimentos pelo volume.

De modo similar, a densidade da mistura do escoamento (ρ_m) é dada por:

$$\rho_m = \rho + C_v (\rho_s - \rho) \quad (8)$$

Onde: ρ – densidade específica da água; ρ_s – densidade específica dos sedimentos; C_v – concentração de sedimentos por unidade de volume.

Ou ainda pode ser representada pela equação:

$$\rho_m = \frac{\gamma_m}{g} \quad (9)$$

Onde: g – é a aceleração gravitacional.

Em sedimentos hiperconcentrados, a tensão cisalhante é um resultado da soma de cinco diferentes componentes de tensão. Dessa forma, a tensão cisalhante total (τ) é o resultado da soma da tensão cisalhante coesiva (τ_c), tensão de resistência de Mohr-Coulomb (τ_{mc}), tensão cisalhante de viscosidade (τ_v), tensão cisalhante turbulenta (τ_t) e a tensão dispersiva (τ_d) (O'BRIEN, JULIEN e FULLERTON 1993 e GOMES, 2006).

$$\tau = \tau_c + \tau_{mc} + \tau_v + \tau_t + \tau_d \quad (10)$$

Segundo O'Brien e Julien (1985), a equação acima pode ser escrita em termos de cisalhamento (dv/dy), da seguinte forma:

$$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{dv}{dy} \right) + C \left(\frac{dv}{dy} \right)^2 \quad (11)$$

Na qual a tensão cisalhante do escoamento (τ_y) – equivale a tensão cisalhante coesiva (τ_c) somada a tensão de resistência de Mohr-Coulomb (τ_{mc}):

$$\tau_y = \tau_c + \tau_{mc} \quad (12)$$

E ainda:

$$C = \rho_m l^2 + f(\rho_m, C_v) d_s^2 \quad (13)$$

Onde: η – viscosidade dinâmica; τ_c – tensão coesiva; a tensão de Mohr-Coulomb ($\tau_{mc} = \rho_s \tan \phi$) que depende da densidade aparente (ρ_s) e o ângulo de atrito (ϕ) do material; C – denota o coeficiente de tensão cisalhante inercial, que depende da densidade da massa de mistura (ρ_m), comprimento de mistura de Prandtl (l), tamanho do sedimento (d_s) e uma função da concentração volumétrica de sedimentos (C_v) (GOMES, 2006).

Em Bagnold (1954), o autor definiu o relacionamento da função $f(\rho_m, C_v)$ como:

$$f(\rho_m, C_v) = a_l \rho_m \left[\left(\frac{C^*}{C_v} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (14)$$

Onde: a_j – coeficiente empírico (aproximadamente 0,01) e C^* é a concentração de volume estática máxima para as partículas de sedimentos.

A partir dessas equações, O'Brien, Julien e Fullerton (1993) utilizaram a seguinte aproximação para definir no uso do modelo reológico do FLO-2D, todos os termos das tensões cisalhantes:

$$S_f = S_y + S_v + S_{td} \quad (15)$$

Onde: S_f – somatório das componentes da encosta; S_y – componente de escoamento da encosta; S_v – componente de viscosidade; S_{td} – componente de turbulência-dispersiva.

A componente de escoamento pode ser descrita como:

$$S_y = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} \quad (16)$$

E S_v pode ser descrita como:

$$S_v = \frac{K\eta}{8\gamma_m} \frac{V}{h^2} \quad (17)$$

Onde: K – parâmetro de resistência do fluxo laminar; V – velocidade no meio do fluxo.

Ainda de acordo com os mesmos autores, o valor de K é igual a 24 quando se trata de canais lisos e retangulares, podendo aumentar com a rugosidade e a geometria do canal.

E S_{td} pode ser escrito da seguinte forma:

$$S_{td} = \frac{n_{td}^2 \cdot V^2}{h^{4/3}} \quad (18)$$

Onde: n_{td} – coeficiente de rugosidade equivalente ao de Manning para fluxos

Sendo assim, substituindo todos os termos, S_f pode ser escrito da seguinte forma:

$$S_f = \frac{\tau_y}{\gamma_m h} + \frac{K\eta}{8\gamma_m} \frac{V}{h^2} + \frac{n_{td}^2 \cdot V^2}{h^{4/3}} \quad (19)$$

Os valores de τ_v e η são definidos por O'Brien, Julien e Fullerton (1993) a partir das seguintes equações exponenciais:

$$\tau_y = \alpha_1 e^{\beta_1 C_v} \quad (20)$$

e

$$\eta = \alpha_2 e^{\beta_2 C_v} \quad (21)$$

Onde: α_i e β_i são coeficientes empíricos definidos por experimentos de laboratório.

A viscosidade e a tensão de escoamento variam em função da concentração volumétrica de sedimentos, como por exemplo: argilas, siltes e areias finas, não incluindo alguns materiais mais grosseiros que são transportados nas corridas. O peso específico da matéria fluida também aumenta com o aumento da concentração de sedimentos (O'BRIEN, JULIEN e FULLERTON, 1993).

4. MÉTODOS E ETAPAS DA PESQUISA

4.1. Levantamento Bibliográfico

Foi feito um levantamento bibliográfico a partir dos seguintes temas: a) métodos para avaliação de suscetibilidade à escorregamento; b) métodos e critérios para definir a vulnerabilidade e suscetibilidade de escorregamento em barragens; c) caracterização dos principais condicionantes de escorregamento; d) uso da compartimentação fisiográfica na definição da suscetibilidade de escorregamento; e) características fisiográficas e de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque; f) uso de modelagem matemática para simulação de ondas de cheia.

As principais bases de dados utilizadas para esta etapa foram: Banco de dados bibliográficos Athena (UNESP) – Acervo Geral; Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da UNESP = PARTHENON; e de outras instituições de pesquisa; Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Ministério da Ciência e Tecnologia; Portal de periódicos da Capes; Scientific Electronic Library Online (SciELO); Science Classic; Academic Search Premier; Academic Search Complete; GeoScienceWorld; Scopus; e outra importante para a pesquisa bibliográfica.

Os materiais de interesse obtidos foram separados nos temas relacionados a este projeto, de acordo com os títulos e resumos dos trabalhos. Foram organizados por meio de uma ficha padronizada, que contém a listagem dos trabalhos, os títulos, autores, dados específicos (ano, número, série, volume), local de disponibilidade do trabalho (físico ou eletrônico), e classificação do trabalho.

4.2. Organização e Gerenciamento do Banco de Dados

A base cartográfica utilizada foram as seguintes: Araras: Folha SF-23-Y-A-II-3; Leme: Folha SF-23-Y-A-II-1; e Corumbataí: Folha SF-23-Y-A-I-2, na escala 1:50.000 e ano 1969 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Utilizou-se o software *ArcGis® 10.1* para gerenciar a base cartográfica e imagens da área de estudo, a partir de imagens aéreas mais recentes disponíveis e dos dados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto.

4.3. Definição da Suscetibilidade a Escorregamentos

Para avaliar a suscetibilidade de ocorrência de escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque, foi utilizada a metodologia proposta por Reis et al. (2014), aplicada a escorregamentos, tal metodologia consiste em estabelecer uma sequência metodológica com a finalidade de definir classes de potencialidades de ocorrência de escorregamentos, denominado como Grau de Possibilidade Total (GPT). Para a definição do GPT foram considerados os condicionantes naturais (fisiográficos e/ou morfométricos) e antrópicos (uso e ocupação do solo).

O procedimento metodológico usado para a definição do Grau de Possibilidade Total é apresentado a seguir:

4.3.1. Determinação do Grau de Possibilidade Natural (GPN)

Define classes de potencialidades a partir da avaliação do terreno, considerando atributos intrínsecos do meio físico, associados a propriedades e características geológico-geotécnicas (litologia/materiais e relevo; densidade textural de drenagem; amplitude local; declividade predominante do terreno; formas de vale e topo e formas de encostas), detalhados na Quadro 3. Os parâmetros foram obtidos através de atividades de campo e de escritório, com elaboração do Mapa de Compartimentação Fisiográfica pelo método de Zaine (2011). Para a classificação final do Grau de Possibilidade Natural (GPN), foi adotado o critério de registro de maior número de atributos classificados em uma determinada classe (Baixo, Médio ou Alto) em cada Unidade Fisiográfica. Sendo assim, por exemplo, uma unidade que apresenta 4 atributos com classe média e 2 atributos com classe baixa, recebe Médio Grau de Possibilidade Natural (GPN). Quando ocorre empate, é considerada a classe com maior Grau de Potencialidade Natural (GPN), já que é importante priorizar aspectos de segurança.

Quadro 3: Parâmetros para Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Natural (GPN).

FATORES		ATRIBUTOS	GRAU DE POSSIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS		
			BAIXO	MEDIO	ALTO
Naturais / Intrínsecos (Meio Físico)	Propriedades e Características Geológico-Geotécnicas	Denominação (Litologia / materiais e Relevo)	Afloramento rochoso e elúvio; Solo argiloso e pouco espesso (< 2 m)	Solo arenoso-argiloso, com espessuras médias (2 a 5 m).	Solo arenoso e areno-siltoso espesso (> 5 m); Depósitos com blocos rochosos (tálus) e colúvio
		Densidade Textural	Domínio de escoamento laminar em áreas dispersoras de água. Planícies aluviais amplas, com terraços fluviais; Baixa densidade de drenagem.	Linhas de concentração de fluxo de água reduzido.	Domínio de escoamento concentrado com formação de canais preferenciais e incisão do talvegue; Áreas saturadas ou presença de surgências d'água; Alta densidade de drenagens.
		Amplitude Local	Baixa (0 a 100 m).	Média (100 a 300 m).	Alta (> 300 m).
		Declividade	Baixa / Suave (< 10°) em altos topográficos e baixadas.	Intermediária (10 a 30°) e setores de drenagem localizados em meia encosta.	Alta (> 30°) em meia encosta ou cabeceiras de drenagens.
		Formas de Vale e Topo	Vales abertos e topos aplainados.	Vales abertos e topos arredondados.	Vales fechados e topos angulosos.
		Formas de Encostas	Convexas dispersoras ou superfícies planas	Retilíneas e côncavas dispersoras.	Côncavas concentradoras e convexas concentradoras

Fonte: adaptado de Reis et al, 2014.

4.3.2. Determinação do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA)

Estabelece classes de potencialidade a partir da avaliação e mapeamento de classes de uso e ocupação do solo, considerando as seguintes classes: campo sujo, mata, água (reservatórios e drenagens), cultura perene (plantio de eucalipto, café, laranja, etc), cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, soja, milho, etc), pastagem, área urbana e solo exposto (minerações e terraplanagem), detalhados no Quadro 4. Os parâmetros foram obtidos por meio de atividades de campo e de escritório, com elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo, elaborado por Reis et al. (2014). Os critérios para a classificação final do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) de cada Unidade Fisiográfica, estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros para Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA).

FATORES	ATRIBUTOS	GRAU DE POSSIBILIDADE ANTRÓPICO À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
Uso e Ocupação da Terra		Mata (fragmentos florestais) e cultura perene (plantio de eucalipto, laranja, café, etc)	Pastagens, cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, milho, soja, etc) e área urbana consolidada com crescimento urbano ordenado e campo sujo	Solo exposto e terraplanagem, áreas de mineração e lixões e área urbana periférica com crescimento desordenado, barramentos e drenagens

Fonte: adaptado de Reis et al., 2014.

4.3.3. Determinação do Grau de Possibilidade Total (GPT)

Estabelece a potencialidade final em quatro classes (Baixo, Médio, Alto e Muito Alto), por meio da integração do Grau de Possibilidade Natural (GPN) e Grau de Possibilidade Antrópico (GPA), levando em conta que as alterações impostas pelo uso e ocupação do solo, são determinantes para a ocorrência dos processos de escorregamento, quando comparadas à suscetibilidade natural do meio físico. Diante deste conceito, adotou-se os seguintes critérios:

- o Grau de Possibilidade Total (GPT) é MUITO ALTO sempre que o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) e o Grau de Possibilidade Natural (GPN) forem, ambos, definidos como ALTO;
- quando o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) for ALTO, o Grau de Possibilidade Total (GPT), é, no mínimo, ALTO;
- o Grau de Possibilidade Total (GPT) é ALTO quando o Grau de Possibilidade Natural (GPN) for ALTO e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) for MÉDIO;
- o Grau de Possibilidade Total (GPT) é MÉDIO quando o Grau de Possibilidade Natural (GPN) for BAIXO e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) for MÉDIO, ou vice-versa; quando o Grau de Possibilidade Natural (GPN) e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA), ambos, forem MÉDIO; e quando o Grau de Possibilidade Natural (GPN) for ALTO e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) for baixo;
- o Grau de Possibilidade Total (GPT) é BAIXO quando o Grau de Possibilidade Natural (GPN) e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA), ambos, forem BAIXO.

O Quadro 5 elucida as possíveis combinações para a definição do Grau de Possibilidade Total (GPT) para escorregamento.

Quadro 5: Possíveis Combinações para a Determinação de Classes do Grau de Possibilidade Antrópico (GPT).

Grau de Possibilidade Natural (GPN)	Grau de Possibilidade Antrópica (GPA)	Grau de Possibilidade Total (GPT)
BAIXO	BAIXO	BAIXO
BAIXO	MÉDIO	MÉDIO
MÉDIO	BAIXO	MÉDIO
MÉDIO	MÉDIO	MÉDIO
ALTO	BAIXO	MÉDIO
BAIXO	ALTO	MÉDIO
MÉDIO	ALTO	ALTO
ALTO	MÉDIO	ALTO
ALTO	ALTO	MUITO ALTO

Fonte: adaptado de Reis et al., 2014

4.3.4. Compartimentação Fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque

A bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque está situada na Depressão Periférica Paulista, na faixa de afloramento de rochas paleozoicas e mesozoicas na Bacia Sedimentar do Paraná, abrange parte dos municípios de Leme, Santa Cruz da Conceição, Araras, Rio Claro, Corumbataí e Pirassununga, na região centro-leste Paulista.

A compartimentação fisiográfica da Bacia do Ribeirão do Roque, elaborada por Reis et al. (2014) foi dividida em 11 unidades, conforme relacionado a seguir (Figura 6):

- Unidade I: Planície Aluvial com sedimentos aluvionares (areias, cascalhos e argilas);
- Unidade II: Terraços Fluviais com materiais predominantemente arenosos;
- Unidade III: Coberturas Cenozoicas com colúvios e coberturas com solos lateríticos em relevos colinosos;
- Unidade IV: Arenitos da Formação Itaqueri com arenitos em topos de Cuestas;
- Unidade Va: Arenitos da Formação Botucatu e Basaltos da Formação Serra Geral com arenitos e basaltos em relevo de escarpas;
- Unidade Vb: Depósito de Tálus com materiais inconsolidados provenientes de intemperismo e ação da gravidade no sopé de Cuestas;
- Unidade VI: Diabásio correlatos à Formação Serra Geral com diques em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes, Tálus e colúvios associados;
- Unidade VII: Arenitos e solos arenosos das Formações Pirambóia e Botucatu em relevo de encostas suaves;

- Unidade VIII: Arenitos e solos arenosos da Formação Pirambóia em relevo de meia encosta;
- Unidade IX: Siltitos e argilitos da Formação Corumbataí em relevo de meia encosta;
- Unidade X: Folhelhos, calcários e sílex da Formação Irati e siltitos e arenitos da Formação Tauí em relevo de meia encosta.

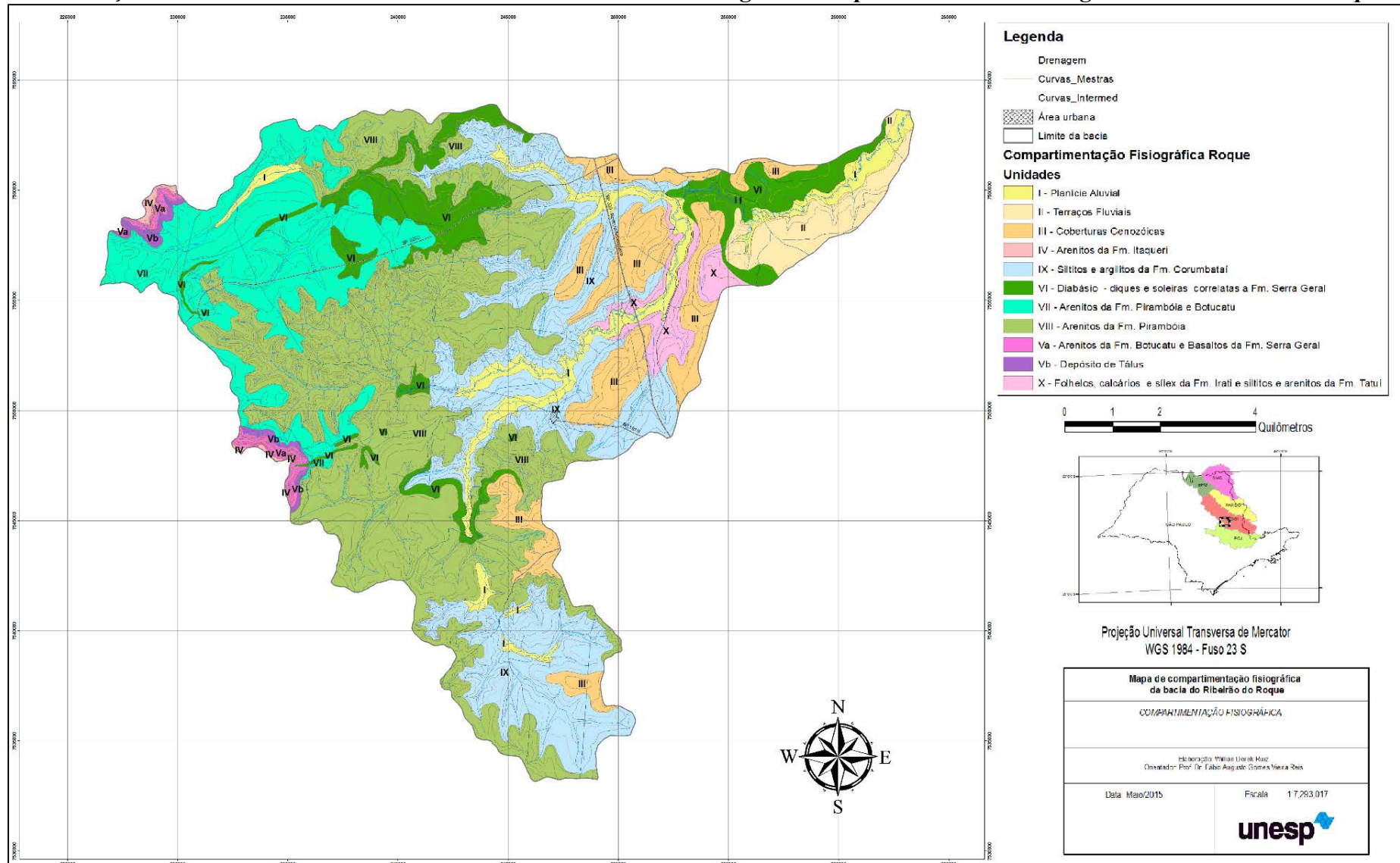
A distribuição espacial das unidades fisiográficas ao longo da bacia hidrográfica, pode ser observado no Quadro 6.

Quadro 6. Descrição das Características dos Atributos de Cada Unidade Fisiográfica Mapeada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.

Unidade de análise	Subsuperfície (Geologia)	Denominação (Litologia/materiais e Relevo)	Unidades de Compartimentação Fisiográfica														
			Fotoanálise							Fotointerpretação (Propriedades e atributos geotécnicos interpretados)						Observações de campo	
			Drenagem e Relevo	Formas de Relevo				Estrutura	Feições Particulares	Permeabilidade	Espessura do Manto de Alteração	Resistência à erosão natural (dureza)	Potencialidade a movimentos gravitacionais	Composição e Estrutura	Afloramentos e Blocos Rochosos	Processos geológicos	Vegetação e Uso do solo
				Densidade Textural	Amplitude Local	Declividade	Formas de Vale e Topo	Formas de encostas									
I	Planície Aluvial	Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais	Baixa	Baixa	Baixa (plana)	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada	Meandros e depósitos de assoreamento	Alta	Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão fluvial e assoreamento	Mata ciliar
II	Terraços Fluviais	Materiais predominantemente arenosos em terraço fluvial	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Superfícies planas	Não orientada	-	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
III	Coberturas cenozóicas	Colúvios e coberturas com solos lateríticos em relevos colinosos	Baixa	Baixa	Baixa	Vales Abertos e superfícies planas	Convexas	Não orientada	-	Alta	Alta a Média	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IV	Arenitos da Fm. Itaqueri	Arenitos em topos de Cuestas	Baixa	Baixa a média	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Côncavas	Não orientada	Voçorocas	Média	Média	Baixa	Baixa a média	Homogênea	Ausentes	Erosão	Agricultura
Va	Arenitos da Fm. Botucatu e Basaltos da Fm. Serra Geral	Arenitos e Basaltos em relevos de escarpas	Média a alta	Alta	Alta	Vales fechados	Retilíneas	Não orientada	Escarregamento blocos	Baixa a média	Baixa	Alta a Média	Alta	Homogênea	Presentes	Rastejo, Escorregamento e queda de blocos	Vegetação Nativa
Vb	Depósito de Talus	Material inconsolidado proveniente de intemperismo e ação da gravidade no sopé de Cuestas	Média	Média	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Convexas	Não orientado	Ravinas	Média	Média a Baixa	Baixa	Alta a Média	Homogênea	Raros	Erosão	Pasto e Cana
VI	Diabásio – diques e soleiras correlatas a Fm. Serra Geral	Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes Talus e colúvios associados	Média	Alta	Alta	Vales Abertos e topos angulosos a arredondados	Côncavas e retilíneas	Orientada (diques)	Cristas orientadas Escorregamento	Média	Baixa a alta	Alta	Alta a Média	Homogênea a Heterogênea	Presentes	Rastejo e Escorregamento e queda de blocos	Pasto
VII	Arenitos das Fm. Pirambóia e Botucatu	Arenitos e solos arenosos em relevo de encostas suaves	Baixa	Baixa	Baixa	Vales abertos e topos arredondados	Convexas	Não orientada	Ravinas e Voçorocas	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Homogênea	Ausentes (raros)	Erosão	Pasto e Cana
VIII	Arenitos da Fm. Pirambóia	Arenitos e solos arenosos em relevo de meia encosta	Média	Média	Baixa a Média	Vales Fechados e topos arredondados	Côncavas e retilíneas	Não orientada	Ravinas	Alta a média	Média a Baixa	Média a Baixa	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Erosão	Pasto e Cana
IX	Siltitos e argilitos da Fm. Corumbataí	Siltitos e argilitos em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada	-	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana
X	Folhelhos, calcários e sílex da Fm. Irati e siltitos e arenitos da Fm. Tatui	Folhelhos, calcários e sílex da Fm. Irati e siltitos e arenitos da Fm. Tatui em relevo de meia encosta	Média a alta	Baixa	Baixa a Média	Vales abertos e topos arredondados	Convexas e Côncavas	Não orientada	-	Baixa	Baixa a média	Média	Baixa	Heterogênea	Ausentes	Empastilhamento	Pasto e Cana

Fonte: adaptado de Reis et al., 2014

Figura 6. Descrição das Características dos Atributos de Cada Unidade Fisiográfica Mapeada na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



Fonte: adaptado de Reis et al., 2014

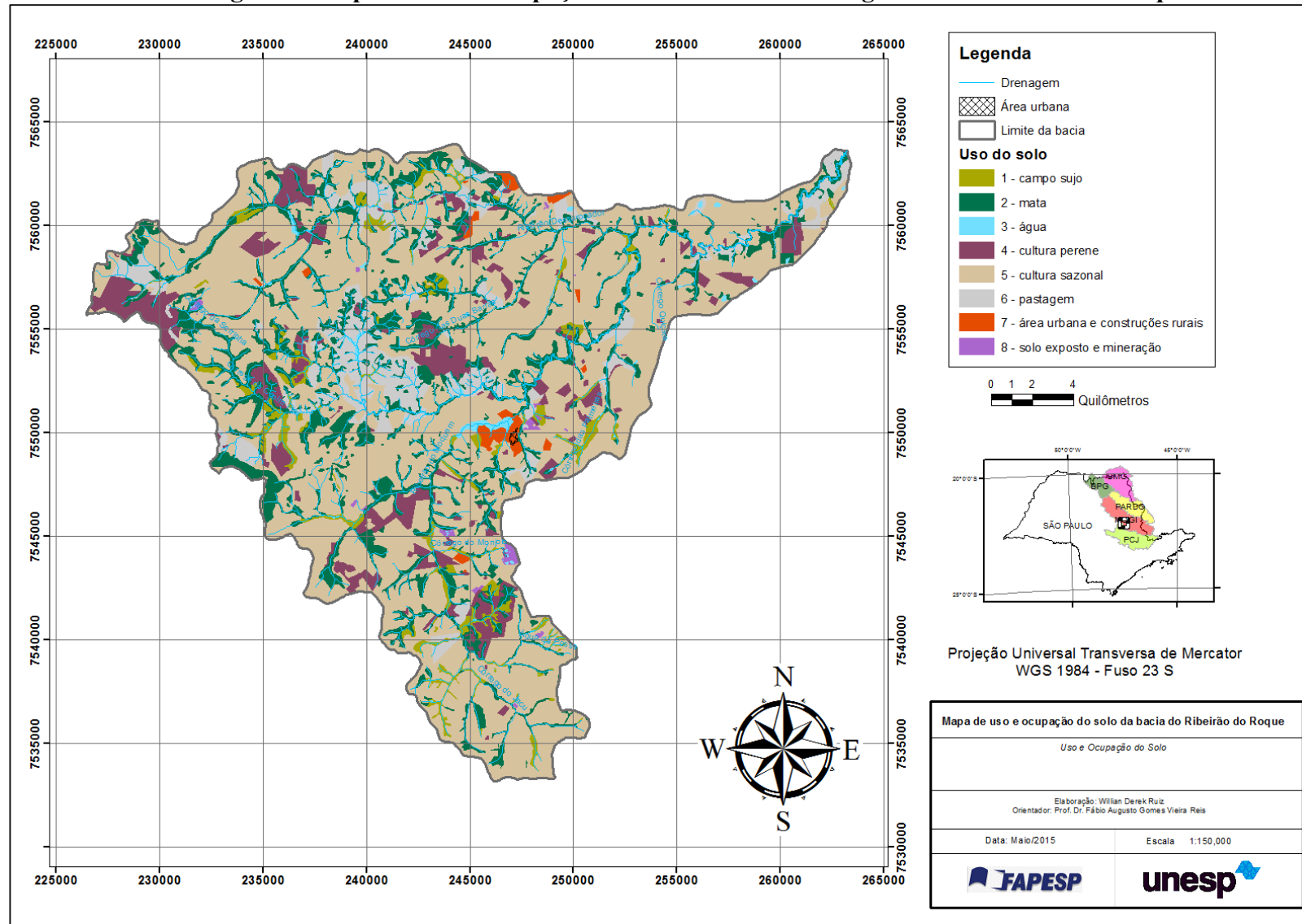
4.3.5. Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque

Com o objetivo de avaliar as intervenções antrópicas na bacia em questão, utilizado o mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Roque, na escala 1:50.000, desenvolvido por Reis et al. (2014).

As classes de uso estabelecidas no presente projeto consideram as características e suas suscetibilidades à ocorrência dos processos de escorregamentos e foram as seguintes: campo sujo, mata, água (drenagens e reservatórios), cultura perene, cultura sazonal, pastagem, área urbana e construções rurais e solo exposto (incluindo terraplanagem e minerações).

É possível analisar as classes estabelecidas no mapa em questão na Figura 7.

Figura 7. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



Fonte: adaptado de Reis et al., 2014

É possível notar que há um predomínio de cultura sazonal, que apresenta em determinados meses do ano o solo exposto a processos erosivos devido ao período após as colheitas. A classe de áreas urbanas e construções rurais representam uma pequena porcentagem de ocupações na bacia, assim como as minerações em encostas, que possuem um alto risco em termos de rompimento de barragens de rejeito.

4.4. Levantamento das Barragens Existentes na Bacia Hidrográfica

Nesta etapa, utilizou-se imagens aéreas e de satélite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque, com a finalidade de atualizar a situação da presença de barragens na área de estudo.

As barragens outorgadas foram localizadas a partir dos dados obtidos no DAEE, já as barragens não outorgadas foram identificadas pela análise detalhada de cada curso d'água nas imagens aéreas. Destaca-se, ainda, que no projeto coordenado por Reis et al. (2014) já foi realizado um levantamento preliminar da presença de barragens nessa bacia hidrográfica, contudo, os dados foram devidamente atualizados e verificados em campo, conforme etapa de campo descrita a seguir nesse projeto. Foi feita uma separação dos reservatórios identificados nas imagens em: barragem, tanque (situados fora da drenagem), áreas de extração mineral e lagoa natural.

4.5. Mapa Preliminar de Suscetibilidade a Escorregamentos

A partir da correlação do mapa das unidades fisiográficas, após a análise da suscetibilidade de cada unidade mapeada em relação a geração de movimentos de massa, com os mapas de localização das barragens outorgadas e não outorgadas pelo DAEE e de uso e ocupação do solo da área de estudo, foi possível pelo método multicriterial, estabelecer zonas que apresentam maior potencialidade aos processos de escorregamentos que podem afetar as barragens.

Nesse sentido, foram estabelecidas três classes de suscetibilidade (Baixa, Média e Alta), a partir dos fatores naturais (características fisiográficas) e antrópicas (uso e ocupação do solo) descritos.

4.6. Levantamento de Campo e Elaboração do Mapa de Suscetibilidade

A partir dos resultados obtidos no mapa de suscetibilidade preliminar, foram selecionadas as barragens que se encontram em áreas com classes de suscetibilidade a escorregamentos mais altas (Média a Alta), presença de barragens em sequência na mesma drenagem e ausência de outorga da barragem.

A realização do levantamento de campo teve como objetivo analisar as situações das referidas barragens, analisando se há ou não a possibilidade de rompimentos das mesmas. Os seguintes critérios foram analisados para a caracterização de cada barramento: situação do vertedouro da barragem; situação dos taludes e do maciço da barragem; tipo de uso e ocupação do solo e relevo no entorno do reservatório e presença de processos erosivos no maciço, entorno e no reservatório.

Foi elaborada uma ficha de campo (**Apêndice 1**) para a orientação e padronização do trabalho de campo. As fichas de campo são divididas em cinco tópicos principais: Caracterização da barragem, que aborda as condições do vertedouro, do nível de água em relação ao topo da barragem e condições do maciço; Uso e ocupação do solo, que aborda o tipo de vegetação e construção nas margens e no entorno do reservatório; Processos erosivos e escorregamentos, que aborda a presença desses fatores no maciço, no reservatório e no entorno e a vulnerabilidade de cada barramento, avaliando o risco de rompimento e sua vulnerabilidade.

4.7. Critérios para Definição da Vulnerabilidade das Barragens

Com as informações coletadas nas etapas anteriores, foi feita a comparação entre os dados das áreas com maior suscetibilidade a ocorrência de processos de escorregamentos com os dados de caracterização das barragens outorgadas e não outorgadas, além de dados de campo. Dessa forma, foi possível identificar quais barragens ou sequência de barragens possuem maior vulnerabilidade a escorregamento, sendo assim, será elaborado o Mapa de Vulnerabilidade das Barragens a Escorregamento na Bacia Hidrográfica do Roque.

Para tanto, os critérios definidos foram fundamentados da presença de uma ou mais barragens em cadeia no mesmo corpo d'água; na suscetibilidade a ocorrência de escorregamentos, considerando as características do uso e ocupação do solo e das unidades fisiográficas e na manutenção das barragens e suas situações em termos de outorga.

4.8. Análise das Etapas Iniciais do Processo de Simulação no software FLO-2D

Nesta etapa do projeto foi feita a análise dos principais dados de entrada para simulação, com o uso do software FLO-2D, com o intuito de verificar quais os *inputs* necessários para que se simule o rompimento de uma barragem.

Para realizar a referida análise do programa de simulação, foi definido como área de estudo a sub-bacia do Córrego do Monjolo, devido a ocorrência do rompimento de algumas barragens de rejeito na mineração, com o objetivo de comparar os resultados da simulação com os dados obtidos durante o estudo do evento com as referidas barragens de rejeito.

Além disso, o *software* FLO-2D foi escolhido para a realização das análises das etapas iniciais do processo de simulação devido a sua aplicabilidade tanto na simulação de processos de onda de cheia, corridas de massa e trocas entre águas superficiais e subterrâneas (FLO 2D, FLO 2D Pro, Overview, 2012) e também, pelo fato de possuir uma versão gratuita para teste de suas funcionalidades.

Antes de começar a utilizar o FLO-2D, os seguintes dados foram necessários para realizar o processo de simulação:

- Base cartográfica (cartas topográficas, imagens de satélites e fotografias aéreas);
- Dados hidrológicos, em forma de hidrogramas de cheia (*vazão versus tempo*).

Os dados hidrológicos utilizados no projeto foram baseados levando em conta a linearidade do comportamento da ruptura das barragens, aplicado na vazão de pico ocasionado pela brecha de uma das barragens.

- Dados referentes ao meio físico (coeficiente de rugosidade, permeabilidade e uso e ocupação do solo). Tais dados podem ser obtidos por meio de produtos de sensoriamento remoto ou trabalhos de campo. Ainda que esses dados não impossibilitam a execução da simulação, a ausência deste torna o modelo incompatível com as reais condições físicas da área estudada.

O *software* FLO-2D trabalha em forma de módulos, no módulo GDS (*Grid Developer System*) é onde os dados de entrada são manipulados, sendo possível configurar todas as informações necessárias para a realização da simulação, além de carregar os módulos responsáveis pela simulação (FLO-2D) e visualização dos dados obtidos com a simulação (Mapper).

4.8.1. Importação de dados de elevação

A partir das curvas de nível e pontos cotados, extraídos da carta topográfica do Córrego do Jacu, em escala 1:10.000, gerou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT), por meio do interpolador do *ArcGis 10.1*, utilizando-se a ferramenta *Topo to Raster*.

Em seguida, converteu-se os dados matriciais contidos no MDT em pontos, por meio da ferramenta *Raster to Point*. Dessa forma, este arquivo pôde ser importado pelo FLO-2D.

4.8.2. Definição da malha (GRID)

Definiu-se a densidade de malha para o cálculo da simulação. Quanto mais densa a malha for, melhor será a resolução espacial do modelo. Porém, deve ser levado em conta o tempo de processamento da simulação. O *software* indica a utilização de um número em que a razão entre a vazão de pico e a área de uma unidade de malha, seja inferior a 1 cm/m². Foi utilizado um grid de 100 metros no presente projeto.

4.8.3 Determinação do domínio computacional

Para que se faça a simulação, é necessário definir o domínio computacional, que será a área a ser considerada na simulação do *software*. De modo simplificado, seria desenhar um polígono contornando a área alvo a ser estudada.

Foi utilizada a seguinte ferramenta para desenhar o polígono do domínio computacional: *Grid* → *Setup Computational Domain* → *Define Domain with Polygon*.

4.8.4. Interpolação dos dados de elevação e malha

Nessa etapa, foi realizado a interpolação entre os dados de elevação (MDT) e da malha computacional (*Grid*), com o objetivo de atribuir valores de elevação para cada célula da malha, que se encontra dentro do domínio computacional.

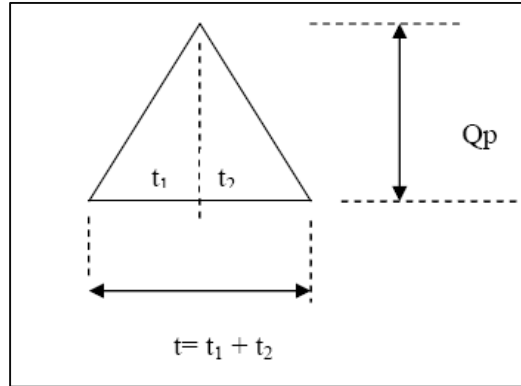
Foi utilizada a seguinte ferramenta para realizar a interpolação: *Grid* → *Interpolate Elevation Points* → *Solid*.

4.8.5. Especificação dos dados para geração do hidrograma

Nesta etapa foi atribuído os dados das barragens que se romperam, para que se pudesse calcular tanto o tempo da formação da brecha, quanto a vazão de pico, utilizando o método do hidrograma triangular simplificado.

Conforme (Usace, 1997), tal hidrograma de falha de barragem pode ser estimado por um hidrograma de ruptura triangular simplificado, conforme observado na Figura 31.

Figura 8. Hidrograma de Ruptura Triangular Simplificado.



Fonte: USACE, 1997

Onde: Q_p – vazão de pico ocasionada pela brecha (m^3/s); t – tempo de esvaziamento da barragem (min), que é a soma do tempo de formação de brecha t_1 com o tempo descendente t_2 .

Dependendo da estrutura a ser analisada, devem ser considerados para fins de modelação, o menor período de intervalos de tempo para formação da brecha e ruptura.

Conforme Froehlich (1995), foi utilizada a seguinte equação para o cálculo do tempo de formação da brecha (22):

$$tf = 0.1524V^{0.53}/h^{0.90} \quad (22)$$

Onde: V – volume do reservatório; h = altura do reservatório.

Já para o cálculo da vazão de pico ocasionada pela brecha na barragem, dentre muitas fórmulas empíricas existentes na bibliografia, para o presente projeto foi escolhida a fórmula conforme o trabalho de Santos *et al.*, 1997 citando Lempérièri, 1996:

$$Q_p = h^{0.5}(h^2 + V^{0.5}) \quad (23)$$

Onde: V – volume do reservatório; h – altura máxima da barragem.

Por fim, para calcular o tempo necessário para que ocorra o esvaziamento da barragem, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$t = (2V)/(Q_p 60) \quad (24)$$

Onde: V – volume do reservatório; Q_p – vazão de pico ocasionada pela brecha (m^3/s).

As características das barragens rompidas foram retiradas do trabalho de REIS et al., 2014, e podem ser vistas no Quadro 7.

Quadro 7: Características Principais das Barragens Simuladas.

BARRAGEM	CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS
Barragem Montante	Cota do nível de água = 754,86 m
	Área do reservatório = 19.300,00 m^2
	Altura do barramento média (superficial) = 10,00 m
	Profundidade média do reservatório = 20,00 m
	Volume de Reservação Aproximado = 400.000,00 m^3
	Largura média do topo do barramento (usada como estrada interna da mineração) = 12,00 m
	Inclinação do Talude Montante = 1:1
	Inclinação do Talude Jusante = 1:1,5
	Solo areno-argilo e areno-siltoso da Formação Pirassununga (depósito cenozoico) usado para construir o barramento, sem a implantação de filtros verticais e horizontais. Sem maiores informações sobre o método construtivo
Barragem Jusante	Cota do nível de água = 747,99 m
	Área do reservatório = 8.445,00 m^2
	Altura do barramento média (superficial) = 4,00 m
	Profundidade média do reservatório = 10,00 m
	Volume de Reservação Aproximado = 85.000,00 m^3
	Largura média do topo do barramento (usada como estrada interna da mineração) = 7,00 m
	Inclinação do Talude Montante = 1:2
	Inclinação do Talude Jusante = 1:1,5
	Solo areno-argilo e areno-siltoso da Formação Pirassununga (depósito cenozoico) usado para construir o barramento, sem a implantação de filtros verticais e horizontais. Sem maiores informações sobre o método construtivo

Fonte: Reis et al, 2014

Dessa forma, inseriu-se os dados no *software* FLO-2D, na célula onde se encontra a barragem que se rompeu, utilizando a seguinte ferramenta: *Botão direito* → *In/Out Condition for Element* → *Infow Element with hidrograph*. Como não houve medição da ruptura da barragem em campo, adotou-se a situação mais crítica, que seria uma brecha com a mesma altura da barragem.

Além disso, importou-se a imagem aérea do local e o *shape* de drenagem da sub-bacia. Sendo necessário desenhar o canal, para que se simule o evento, a seguinte ferramenta foi utilizada para desenhar o canal: *Tools* → *Create Channel Segment with a Polyline*. Adotou-se para todo o canal, largura de 10 metros e profundidade de 3 metros.

Vale destacar que as referidas fórmulas utilizadas, são aplicadas para barragens de água, que não é o caso do presente projeto, porém, como se trata de apenas um estudo dos *inputs* que são inseridos para a simulação, não interferiu nas análises realizadas. Sendo assim, o hidrograma gerado representou apenas vazão *versus* tempo.

4.8.6. Atribuição dos coeficientes de Manning

Nesta etapa, os valores de rugosidade são bastante significativos na confiabilidade dos dados calculados. O coeficiente de Manning depende de um grande número de fatores como: vegetação, irregularidades da superfície, forma do canal, obstrução e etc.

De acordo com Fread (1998), quando se trata de inundações, o valor da rugosidade de Manning é consideravelmente maior do que quando o rio está confinado no seu curso normal. As obstruções temporárias geradas pela alta velocidade da água e os resíduos levados pela onda de enchente, provocam um aumento desse coeficiente.

Após a consulta de diversas bibliografias, foram atribuídos valores de coeficientes de manning para diferentes regiões (pastagem (0,13), terra cultivada com resíduo (0,19), solo com muita vegetação rasteira (0,80), fragmentos florestais (0,40), terra sem cultura (0,01) e solo exposto (0,04).

4.8.7. Processo inicial de simulação com o FLO-2D

Para a realização do processo inicial de simulação, foi necessário definir alguns parâmetros como: tempo de simulação (3 horas), intervalo de saída (0,01 horas), coeficientes de courante (0,6) entre outros. Os valores utilizados nesta etapa foram baseados nos tutoriais disponíveis junto à documentação do *software*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Ficha Padronizada dos Trabalhos Acadêmicos Encontrados no Levantamento Bibliográfico

Os trabalhos julgados de maior relevância foram separados nos temas relacionados a este projeto, de acordo com os títulos e resumos dos trabalhos. Em seguida, foram organizados através de uma ficha padronizada (Apêndice 2) que contém a listagem dos trabalhos, os títulos, autores, dados específicos (ano, número, série, volume), local de disponibilidade do trabalho (físico ou eletrônico), e classificação do trabalho.

5.2. Caracterização das Barragens na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque

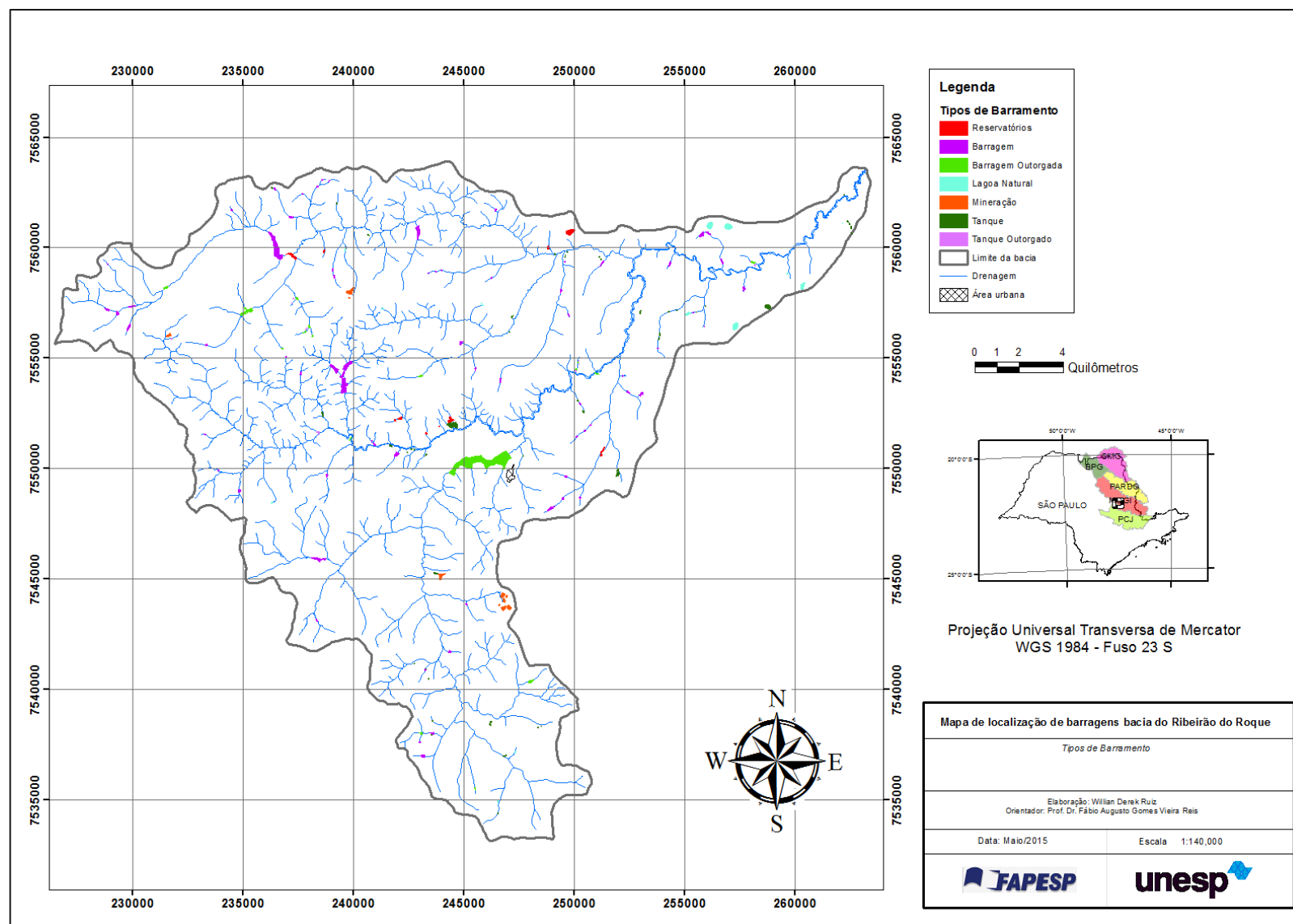
Através de imagens aéreas e de satélite da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque, usando o banco de imagens disponíveis no software *Google Earth Pro 4.2* e *ArcGis 10.1*, fez-se uma análise visual detalhada de cada curso d'água a fim de localizar os barramentos existentes na bacia de interesse.

As barragens outorgadas foram identificadas através dos dados obtidos pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), porém, constatou-se que a maioria dos barramentos existentes na bacia, não possuem outorga. Os reservatórios identificados foram separados da seguinte forma:

- *Barragem*, 75 barragens não outorgadas pelo DAEE
- *Barragem outorgada*, 20 barragens outorgadas pelo DAEE
- *Lagoa natural*, 14 lagoas naturais
- *Mineração*, 18 barragens de rejeitos de mineração
- *Tanque*, 87 tanques que não possuem outorga
- *Tanque outorgado*, 16 tanques que possuem outorga

Segundo Paschoalin Filho (2002), a proliferação de barragens de pequeno e médio porte é cada vez maior, portanto, existe uma grande negligência no que tange o projeto das mesmas, sendo este, limitado a instrução de manuais técnicos, apostilas didáticas e recomendações empíricas. Podemos constatar que tal proliferação não foi acompanhada pela intensificação de fiscalização das outorgas, já que na bacia de estudo foi constatado que 78,95% das barragens de terra de pequeno e médio portes não possuem outorga no Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A identificação de cada barramento pode ser analisada por meio da Figura 9.

Figura 9. Mapa de Levantamento de Barragens e Reservatórios da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



5.3. Mapa Preliminar de Suscetibilidade a Escorregamentos

A seguir, serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia proposta por Reis et al. (2014) na escala de semi-detalhe (1:50.000) para a elaboração do mapa preliminar de suscetibilidade a escorregamentos.

Nesse sentido, será apresentado o resultado da definição do Grau de Possibilidade Total (GPT) para escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.

5.3.1. Grau de Possibilidade Total (GPT) à Ocorrência de Escorregamentos

Conforme descrito anteriormente, o Grau de Possibilidade Total (GPT) à ocorrência de escorregamentos foi calculado pela reação entre o Grau de Possibilidade Natural (GPN) e o Grau de Possibilidade Antrópico (GPA), considerando vários critérios pré-estabelecidos e estabelecendo as seguintes classes de potencialidade: Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

Os resultados serão apresentados da seguinte forma: o Quadro 8 apresenta o Grau de Possibilidade Natural (GPN) para escorregamentos de cada unidade fisiográfica mapeada na Bacia do Ribeirão do Roque. Enquanto os mapas com as classes do GPN são apresentados na Figura 10, GPA na Figura 11 e do GPT na Figura 12.

Quadro 8. Grau de Possibilidade Natural (GPN) para Escorregamentos para Cada Unidade fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.

FATORES		ATRIBUTOS	GRAU DE POSSIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS		
			BAIXO	MÉDIO	ALTO
Naturais / Intrínsecos (Meio Físico)	Propriedades e Características Geológico-Geotécnicas	Denominação (Litologia / materiais e Relevô)	Va; IX; X	II; IV; VII; VIII	I; III; Vb; VI
		Densidade Textural	I; II; III; IV	Vb; VI; VIII	Va; IX; X
		Amplitude Local	I; II; III; VII; IX; X	IV; Vb; VIII	Va; VI
		Declividade	I; II; III; IV; Vb; VII	VIII; IX; X	Va; VI
		Formas de Vale e Topo	I; II; III	IV; Vb; VI; VII; IX; X	Va; VIII
		Formas de Encostas	Va; II; III; Vb; VII	Va; VI; VIII	IV; IX; X

Fonte: adaptado de Reis et al, 2014

Figura 10. Mapa com os Graus de Possibilidade Natural (GPN) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.

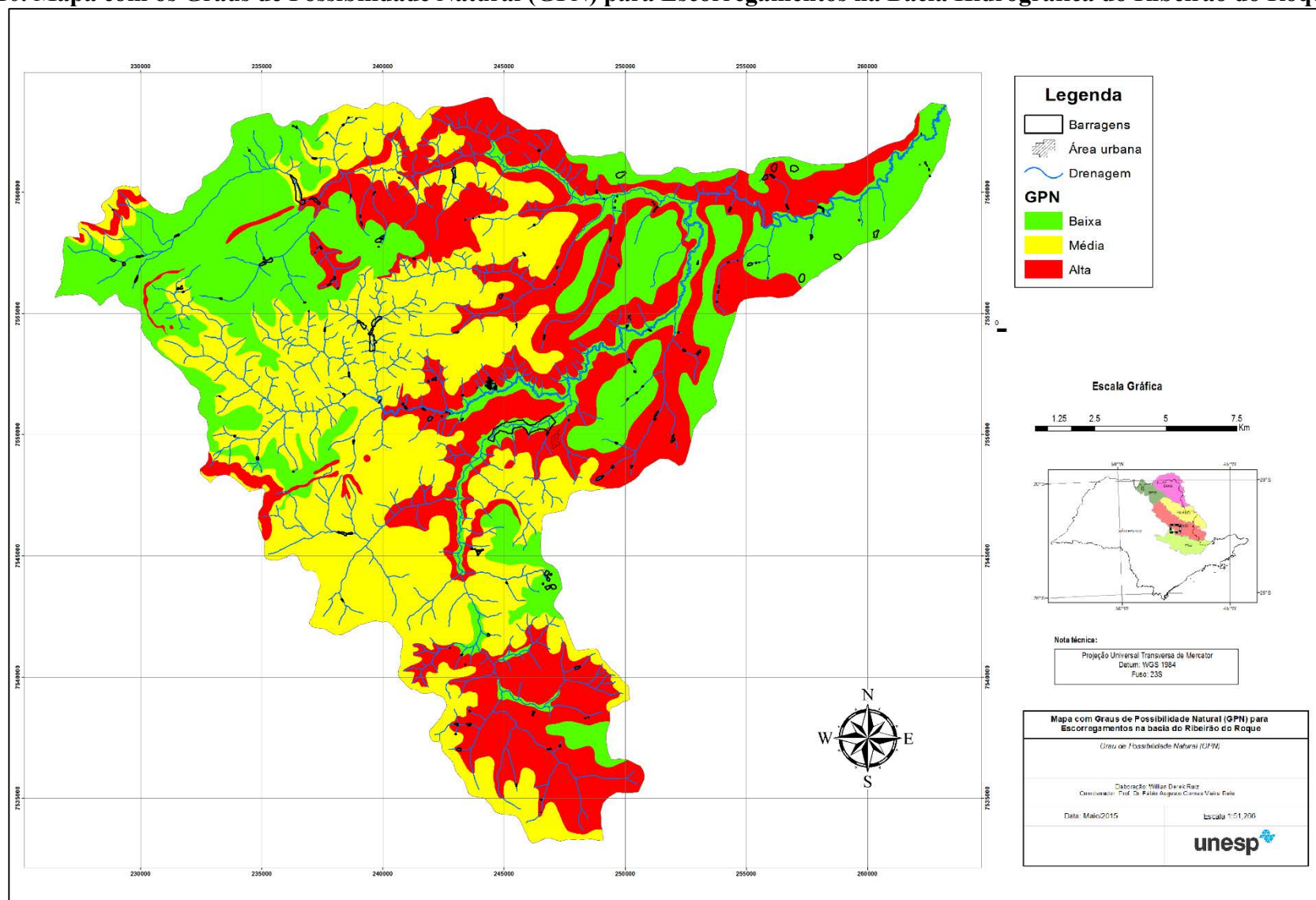


Figura 11. Mapa com os Graus de Possibilidade Antrópica (GPA) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.

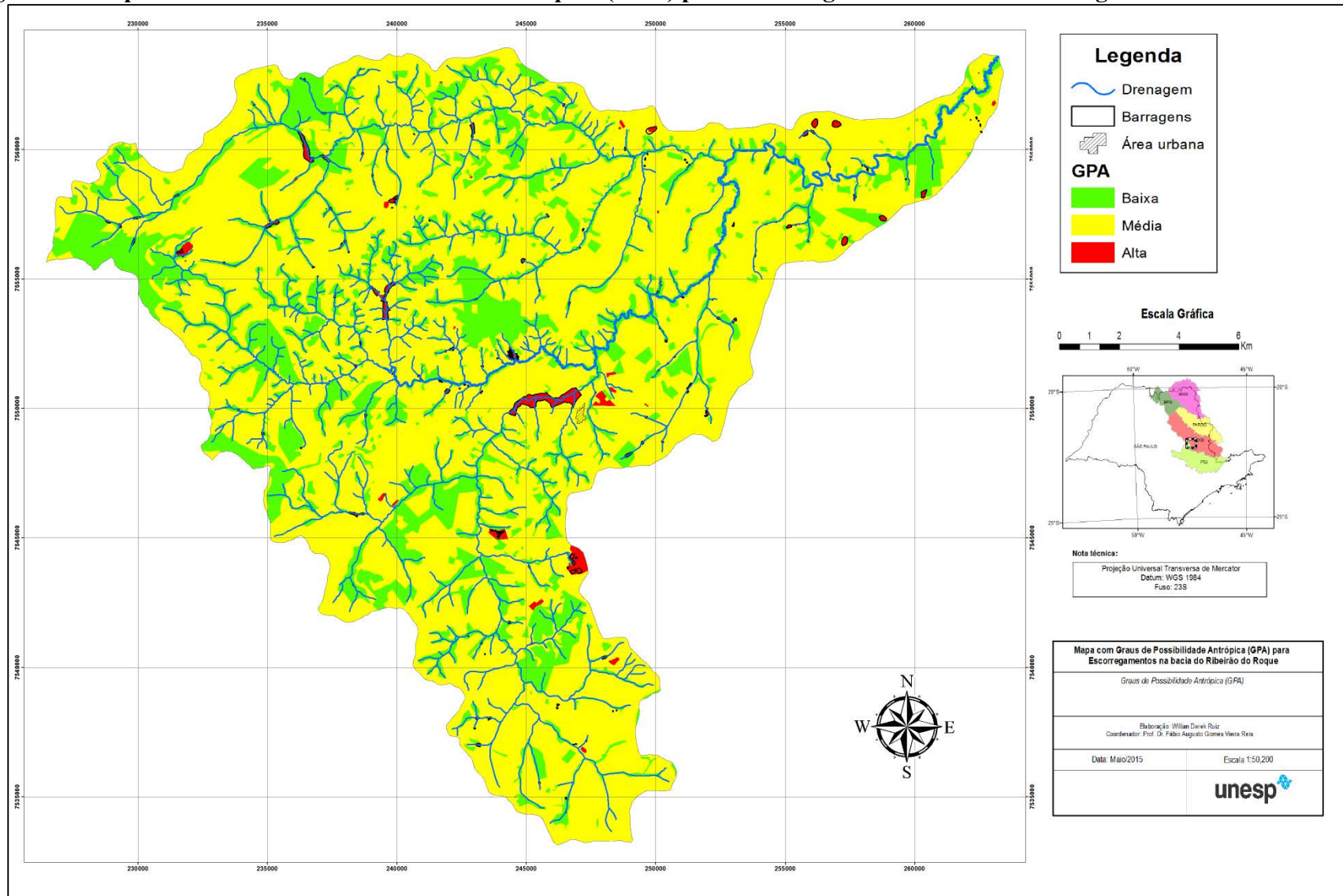
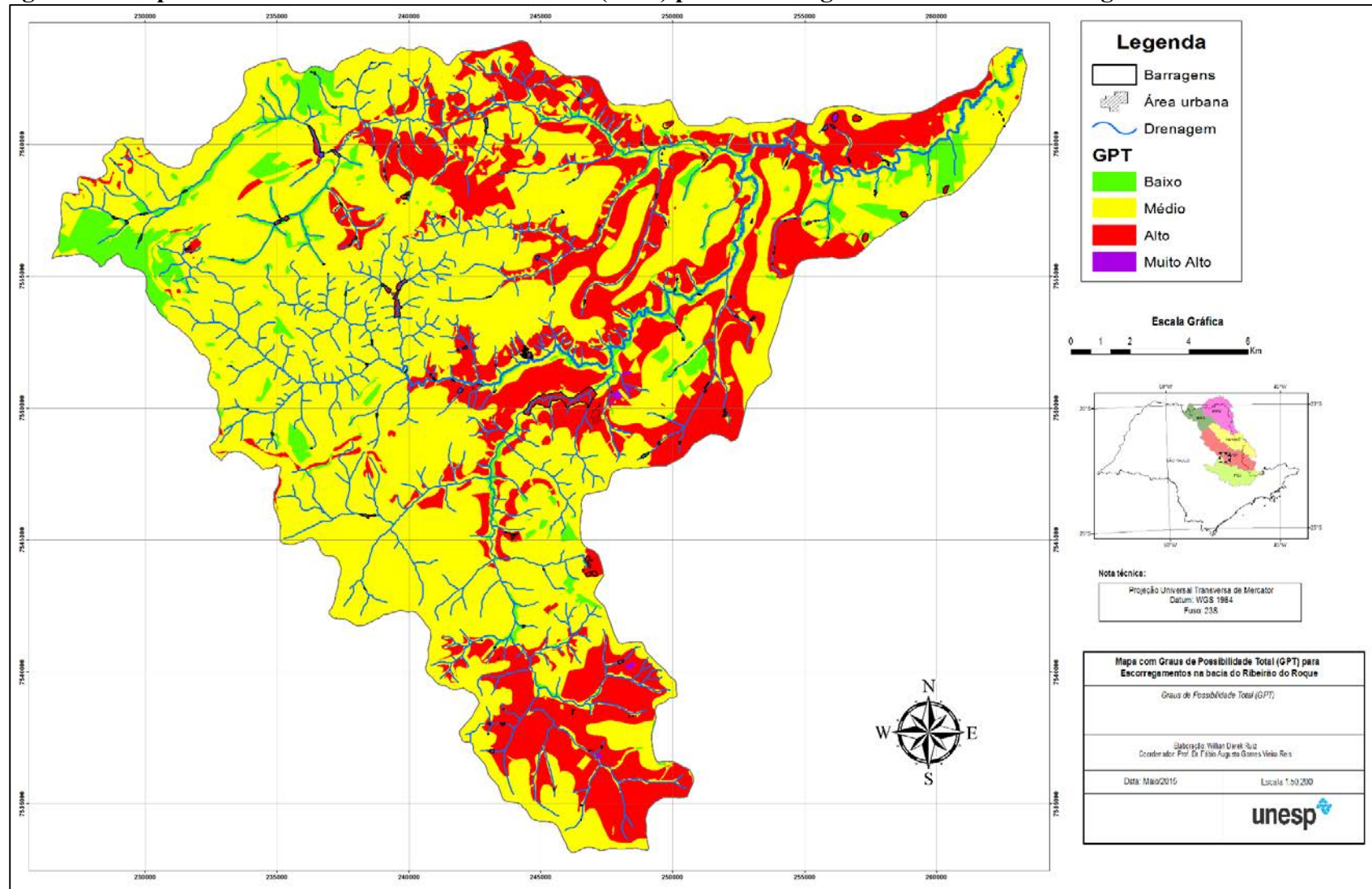


Figura 12. Mapa com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



Em relação aos resultados obtidos com o Mapa de Grau de Possibilidade Natural (GPN), as barragens se apresentam bastante distribuídas, localizando-se em áreas de baixa, média e alta possibilidade a escorregamentos. Já o Mapa de Grau de Possibilidade Antrópica (GPA), apresenta uma predominância de áreas de média possibilidade.

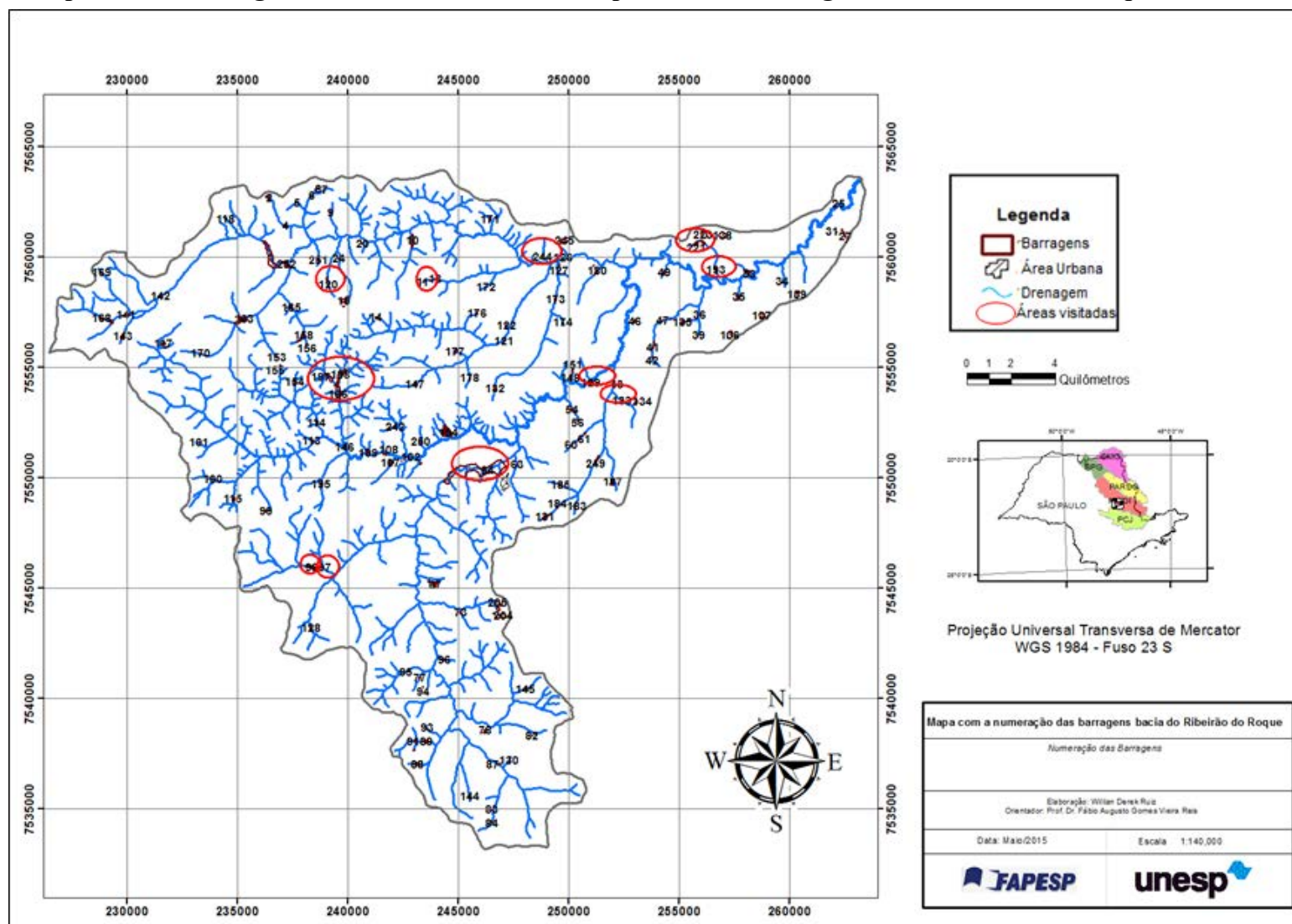
Por fim, o Mapa de Grau de Possibilidade Total (GPT), apresenta um considerável número de barragens localizadas em áreas de alta possibilidade, já que é resultado tanto da combinação das características do relevo, quanto do uso antrópico do mesmo. O que resulta na necessidade de uma análise mais detalhada, em campo, dessas referidas áreas.

5.4. Levantamento de Campo e Elaboração do Mapa de Suscetibilidade

A realização do levantamento de campo foi realizada no mês de julho de 2015. A maioria das barragens da referida bacia hidrográfica se encontram em propriedades particulares de acesso restrito, o que acaba dificultando e até impossibilitando o acesso a elas. Foram realizados dois dias de campo, com o objetivo de visitar o maior número de barragens, dando preferência para as barragens em áreas de alta suscetibilidade a escorregamentos e barragens em sequência, na mesma drenagem. Foi elaborada uma ficha de campo para cada barragem analisada, contendo as características mais relevantes de cada barramento, as fichas se encontram no **Apêndice 1** deste relatório.

Na Figura 13, é possível verificar todas as barragens da referida bacia hidrográfica com suas respectivas numerações, é possível também observar quais os barramentos foram analisados no levantamento de campo. É importante enfatizar que houve uma grande dificuldade de acesso a algumas barragens selecionadas, pois se encontrava, em propriedades particulares.

Figura 13. Mapa com as Barragens e Áreas Visitadas em Campo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



A importância de se analisar barragens em sequência, se dá pelo fato de que caso ocorra o rompimento de uma barragem a montante, as barragens que se encontram a jusante poderão ser impactadas. Além disso, barragens de terra de pequeno porte são construídas, seguindo critérios menos rigorosos quando comparadas com grandes barragens, sendo frequente os casos de barragens que não suportam cheias decenais. Sendo assim, o rompimento destes reservatórios acaba provocando ondas de cheias, que sozinhas podem não ser significativas, mas quando se encontram em sequência, pode resultar em um efeito de maior magnitude do que a vazão de projeto calculada inicialmente. (MENDES, 2008).

Apesar de ser pequena a quantidade de barragens analisadas quando comparada ao total de barragens presentes, a Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque não apresenta grandes elevações de terreno. É possível verificar se o mapa preliminar de suscetibilidade a escorregamentos está ou não condizente. Com relação aos barramentos verificados durante a realização de campo, foram geradas pranchas, subdividindo a bacia hidrográfica em seis sub-bacias, para auxiliar na análise visual, inseridas no **Apêndice 3** deste relatório. Procurou-se visitar todas as barragens localizadas nas áreas de maior vulnerabilidade. Inclusive, em uma área de mineração que já houve rompimento, porém, não foi possível pois se trata de uma propriedade particular.

No que se trata de área rural, a maior parte das barragens tem como finalidade, o armazenamento de água para piscicultura ou irrigação. Portanto, a maioria das barragens se encontram em áreas de cultura sazonal ou perene.

As barragens de número 196, 197 e 198 possuem uma sequência de grandes reservatórios. Porém, se encontram em uma propriedade particular da qual não foi possível ter acesso, sendo possível apenas ter uma análise geral à distância (Figura 14). Notando que existe uma boa manutenção do maciço, uso e ocupação do solo é de pastagem e o entorno apresenta encostas suaves, retilíneas com baixa declividade e com algumas construções no entorno dos reservatórios.

Figura 14. Levantamento de Campo nas Barragens 196, 197 e 198.



É possível notar o maciço bem conservado, baixa declividade no entorno e construções no entorno do reservatório.

Na análise das barragens 97 e 98, que se encontram na formação geológica de arenitos da Formação Pirambóia, nota-se a presença de plantações de eucaliptos no entorno da barragem 98 (Figura 15) e a falta de mata ciliar no entorno, além de assoreamento na parte a jusante do talude e presença de vegetação arbórea de grande porte. O maciço se encontra em bom estado, porém, não existe manutenção do mesmo. Pelas características da barragem, e visto que o reservatório apresenta uma boa capacidade de armazenamento.

Figura 15. Levantamento de Campo na Barragem 98.



É possível notar um vertedouro conservado e uma grande capacidade de armazenamento, assoreamento no talude e presença de vegetação arbórea e ausência de mata ciliar no entorno.

Já a barragem 97 (Figura 16), se encontra rompida, apresentando evidências de que o maciço servia como estrada e intenso assoreamento no antigo reservatório. Apesar de estar rompida, as características ambientais no entorno não são suscetíveis a escorregamentos e movimentos de massa, já que o relevo é caracterizado por um relevo pouco inclinado, o que mostra a importância de se fazer um planejamento nas construções de barragens. Há plantações de cultura sazonal no entorno e é possível notar a ausência de mata ciliar no local onde ficava o reservatório.

Figura 16. Levantamento de Campo na Barragem 97.



Há evidências de rompimento da barragem, assoreamento intenso e ausência de mata ciliar e plantação de cultura sazonal.

Ao redor do reservatório da barragem 120 (Figura 17), existe uma mata ciliar bastante estreita que possui construções rurais bem próximas.

É possível notar a presença de leve assoreamento no reservatório, o que indica a falta de manutenção do mesmo, o relevo no entorno é basicamente plano e não apresenta sinais de erosão.

Figura 17. Levantamento de Campo na Barragem 120.



Maciço que foi aumentado devido a construção da estrada, assoreamento intenso e ausência de mata ciliar e plantação de cultura sazonal.

A barragem 11 (Figura 18) se encontra em uma propriedade rural particular, sendo possível fazer sua análise apenas à distância. O reservatório é de tamanho pequeno e tem em seu entorno, uma encosta de perfil convexo e mata ciliar estreita.

A região a jusante da barragem é praticamente composta por mata e pastagem e apresenta uma alta declividade com vegetação arbórea de grande porte. Apesar de não ser possível a análise minuciosa, por se tratar de uma área com acesso restrito, o maciço da barragem, aparentemente, apresenta um bom estado de conservação.

Figura 18. Levantamento de Campo na Barragem 11.



Maciço aparentemente em boas condições, reservatório de pequeno porte com estreita mata ciliar no seu entorno e alta declividade com vegetação arbórea a jusante da barragem.

A barragem 193 (Figura 19) é dividida em dois reservatórios e é usada para piscicultura. Os dois maciços apresentam boa conservação e o relevo no entorno dos reservatórios é bem suave (convexo-retilíneo) e não apresenta a ocorrência de processos de dinâmica superficial.

O talude a jusante da segunda barragem apresenta bastante vegetação arbórea e inclusive bambu, já o vertedouro da primeira barragem apresenta indícios de processos de erosão em solo argiloso.

Como existem construções no entorno dos reservatórios e sabendo que o seu uso é para a piscicultura, é evidente que existe uma preocupação com a manutenção das barragens.

Figura 19. Levantamento de Campo na Barragem 193.



Vista geral dos dois reservatórios com maciço da primeira barragem em boas condições, maciço da segunda barragem com vegetações de grande porte a jusante, vertedouro apresentando bom estado de conservação e processos de erosão ao final do vertedouro.

A barragem 222 (Figura 20) tem em seu entorno um relevo bem suave (plano), devido à proximidade do divisor de águas e devido ao intemperismo diabásio, há ocorrência de solo argiloso no local. O maciço não possui qualquer tipo de manutenção e apresenta presença de vegetação arbórea, além de bambu, que provavelmente foi plantado para um possível controle de processos erosivos no talude a jusante.

O vertedouro da barragem foi mal dimensionado e apresenta um intenso assoreamento, no reservatório, é possível notar um assoreamento intenso e uma estreita mata ciliar e monocultura sazonal no seu entorno. O nível de água no reservatório está até um metro abaixo do nível do maciço, o que indica que mesmo assoreado, ainda passa água pelo vertedouro.

Existe uma pequena barragem em sequência da mesma, porém, não foi possível analisá-la devido as condições do terreno.

Figura 20. Levantamento de Campo na Barragem 222.



Maciço sem vegetação e presença de vegetação de grande porte, reservatório apresentando intenso assoreamento e mata ciliar estreita no seu entorno e vertedouro mal dimensionado com sinais de assoreamento intenso.

A barragem 129 (Figura 21) é usada para a captação de água bruta para o abastecimento do município de Leme. A barragem possui um vertedouro de topo que se encontra em bom estado e possui um maciço de concreto, que também se encontra em bom estado.

Nas margens do reservatório é possível notar construções para a realização da captação de água e uma mata ciliar estreita. Já o reservatório, apresenta uma leve erosão em

sua margem e no seu entorno, o uso e ocupação do solo se dá basicamente por mata e pastagem.

O relevo no entorno do reservatório apresenta encostas bem suaves, retilíneas e com baixa declividade. Na realização de campo, não se notou evidências de dinâmica superficial.

Figura 21. Levantamento de Campo na Barragem 129.



Erosão leve nas margens do reservatório, vertedouro e maciço em bom estado de conservação.

A barragem 64 (Figura 22) se encontra em uma área de afloramento de diabásio e está dentro do perímetro de área urbana, é uma barragem de grande porte (o maior reservatório da bacia), com boa manutenção e estruturas adequadas. Pode ser considerada como barragem modelo, pois apresenta estruturas de segurança, como: controle de drenagem pluvial no maciço, com canaleta e escada para conduzir o fluxo de água; cobertura de blocos de rocha (rachão) no talude montante para proteger de ondas para que não ocorra erosão; piezômetros e vertedouro de topo lateral em bom estado.

O maciço está em boas condições e serve como avenida, o talude a jusante do reservatório apresenta boa conservação, porém, com algumas vegetações arbóreas. O ponto negativo da barragem é a ausência de mata ciliar na APP do reservatório. No entorno, predomina áreas pavimentadas e construções urbanas.

Como se trata de uma barragem planejada e bem conservada, não existe evidências de assoreamento no reservatório e nem evidências de dinâmica superficial de solo em seu entorno.

Figura 22. Levantamento de Campo na Barragem 64.



Vista geral do reservatório de grande porte, enrocamento para proteger de ondas, partes do maciço e talude a jusante em bom estado e vertedouro bem conservado.

A barragem 133 (Figura 23) possui encostas no seu entorno de perfil retilíneos-convexos e apresenta leves erosões lineares na parte direita do seu reservatório. O maciço apresenta bom estado de conservação. O vertedouro de topo lateral a montante está em bom estado, já o seu vertedouro a jusante, apresenta sinais de erosão.

No entorno do reservatório, o uso e ocupação da terra é de pastagem e não há presença de mata ciliar, é possível notar sinais de leve erosão em sua margem. O talude a jusante apresenta alta inclinação, tendo uma relação próxima de alguns pontos acima de 1:1.

Figura 23. Levantamento de Campo na Barragem 133.



Maciço com sinais de boa conservação, talude a jusante acentuado e vista geral do reservatório com ausência de mata ciliar.

A barragem 134 (Figura 24) se encontra dentro de uma propriedade rural privada, de acesso restrito, porém, mesmo à distância foi possível fazer algumas observações da mesma. O seu maciço apresenta uma largura bastante estreita e os taludes a jusante possuem vegetação intensa, dessa forma, a vegetação pode estar afetando os taludes, além de que o entorno é muito próximo do divisor de águas.

O relevo no entorno é de encostas suaves e convexas-retilíneas e não apresenta processos de dinâmica superficial. O tipo de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório se dá basicamente por pastagem e monocultura sazonal, além disso, há evidências de que possivelmente já houve rompimento no reservatório.

Figura 24. Levantamento de Campo na Barragem 134.



Evidências de possível rompimento no reservatório e parte da mata ciliar e monocultura sazonal do entorno do reservatório.

A barragem 244 (Figura 25) se encontra em um relevo de vale um pouco mais encaixado com encostas de perfil convexo a montante. A sua localização é bem próxima da rodovia, podendo o reservatório, estar recebendo água do sistema pluvial da rodovia. O maciço não possui nenhum tipo de manutenção e há presença de vegetação arbórea em seu eixo, o vertedouro a montante apresenta sinais de erosão e o vertedouro a jusante está totalmente assoreado.

No entorno do reservatório, o uso e ocupação do solo se dá pelo cultivo de monocultura sazonal e nas suas margens, não há presença de vegetação arbórea. O talude a jusante apresenta alta declividade e erosão.

Figura 25. Levantamento de Campo na Barragem 244.



Maciço com falta de manutenção e vegetação arbórea em seu eixo, vista geral do reservatório e talude com alta declividade e erosão.

Do levantamento de campo realizado, é possível observar que a maioria das barragens analisadas estão localizadas em regiões de monocultura de cana-de-açúcar. O restante das barragens presentes na referida bacia, ou se encontram em propriedades rurais privadas das quais não foi possível o acesso, ou não possuem muita relevância para o estudo. As barragens de número 36, 39, 41, 42, 47, 135, 125, 126, 127, 138, 245 por exemplo, ou são muito pequenas, ou são tanques. Não possuindo grande relevância para o presente estudo.

5.5. Mapa Final de Suscetibilidade a Escorregamentos

Com a realização do levantamento de campo, verificou-se que há a necessidade de uma pequena alteração no mapa preliminar de suscetibilidade a escorregamentos (Figura 12). Visto que a barragem 64, possui uma construção adequada, justamente para evitar acidentes. Além disso, se encontra em uma área urbana bem consolidada, que dificilmente existe a possibilidade de ocorrer processos de escorregamento.

A barragem 97, que se encontra rompida, mesmo estando em uma área de média suscetibilidade, nos mostra que é necessário fazer um planejamento na construção de barragens. Pois mesmo em um relevo aplainado, se não houver um planejamento adequado, pode ocorrer o rompimento de barragens, podendo resultar na liberação descontrolada de volume armazenado, podendo ter consequências sócio-ambientais e econômicas.

A barragem 134, que apresentou evidências de um possível rompimento, se encontra em uma área de alta suscetibilidade, o que condiz com o mapa preliminar gerado. Porém, atualmente, há evidências que existe uma manutenção constante na mesma, o que se é esperado que aconteça com todos os barramentos construídos, principalmente os que se situam em área de média a alta suscetibilidade.

Na referida bacia hidrográfica, a característica predominante é a de média suscetibilidade, que está associada com áreas em que se tem a ocorrência de arenitos em relevos de encostas suaves e com uso e ocupação de solo sendo de cultura sazonal, o que se mostra condizente com os outros parâmetros utilizados na elaboração do mapa.

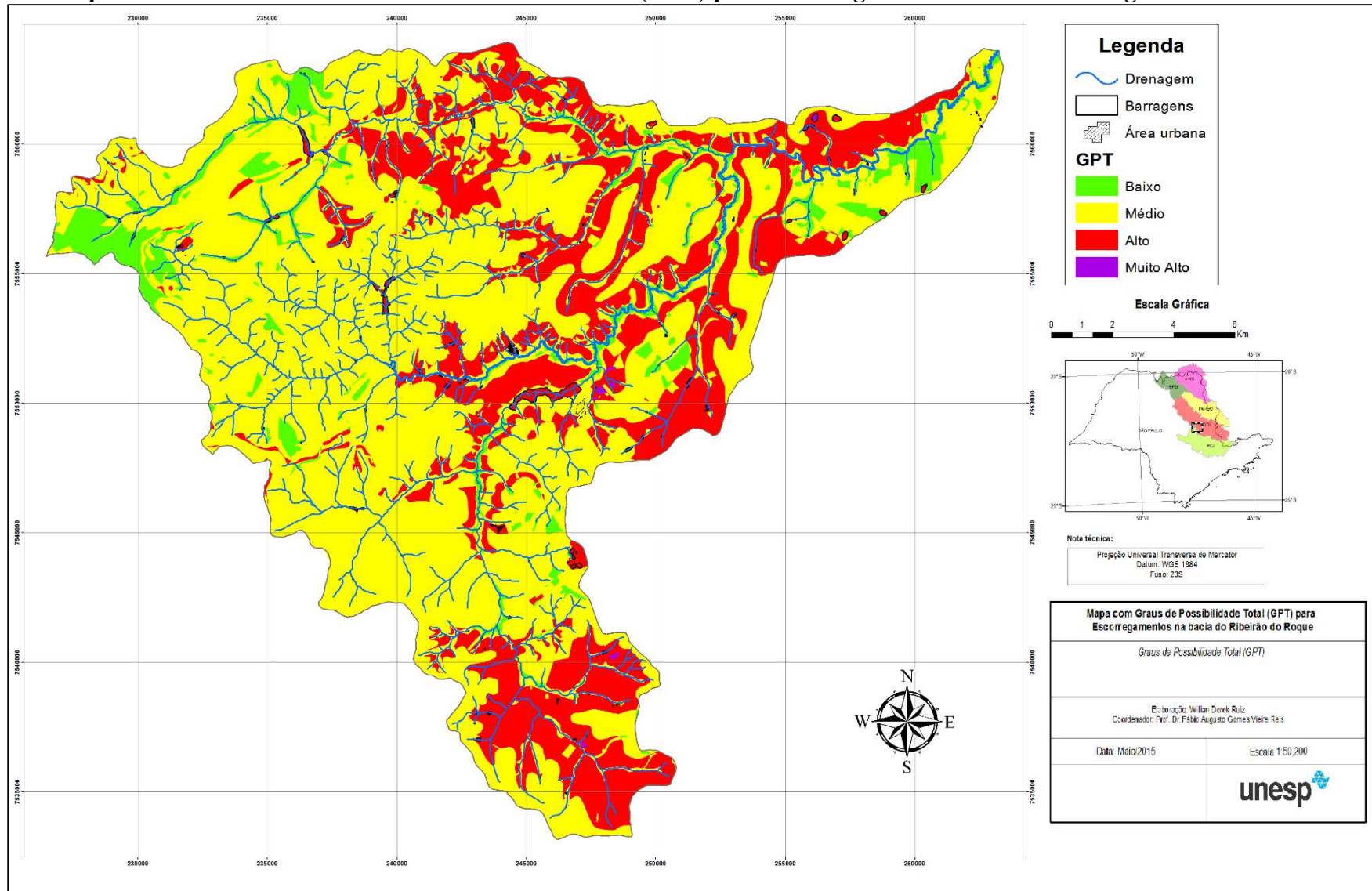
Portanto, o mapa de suscetibilidade a escorregamento foi ajustado. Alterando a classificação para o Uso e Ocupação do Solo, passando a considerar área urbana consolidada

como baixa suscetibilidade a escorregamentos (Quadro 9). Os demais atributos continuam com as mesmas classes. Gerando dessa forma, um novo mapa de classes de GPT (Figura 26).

Quadro 9: Nova Classificação do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA).

Quadro 3: Nota Classificação do Grau de Possibilidade Antrópica (GPA).				
FATORES	ATRIBUTOS	GRAU DE POSSIBILIDADE ANTRÓPICO À OCORRÊNCIA DE ESCORREGAMENTOS		
		BAIXO	MÉDIO	ALTO
Uso e Ocupação da Terra		Mata (fragmentos florestais) e cultura perene (plantio de eucalipto, laranja, café, etc) e área urbana consolidada com crescimento urbano ordenado	Pastagens, cultura sazonal (plantio de cana de açúcar, milho, soja, etc) e campo sujo	Solo exposto e terraplanagem, áreas de mineração e lixões e área urbana periférica com crescimento desordenado, barramentos e drenagens

Figura 26. Mapa Atualizado com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



5.6. Critérios para Definição da Vulnerabilidade das Barragens

Após a construção de barragens, é necessário que se exista uma manutenção e inspeção adequadas após seu funcionamento. Segundo o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), todas as barragens devem ser submetidas periodicamente a uma reavaliação de suas condições de segurança, de acordo com sua classificação quanto às consequências de ruptura. Caso contrário, podem ocorrer falhas e acidentes nas barragens.

De acordo com o Manual de Segurança e Inspeção de Barragens (2002), a reavaliação da segurança de barragens deve ser executada em intervalos de tempo regulares, para a barragem e suas estruturas associadas, incluindo: planos de operação, manutenção, inspeção e de emergência, com o objetivo de se determinar se estes são seguros em todos os aspectos e, caso não o sejam, determinar as melhorias necessárias para a segurança da barragem. A primeira reavaliação de segurança de uma barragem, quando se trata de uma barragem nova, deve ser completada em até 5 anos após o enchimento inicial.

Em 2004, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), por meio da Resolução CNRH nº 37, estabeleceu as diretrizes para outorga de recursos hídricos para implantação de barragens em corpos d'água dos Estados, Distrito Federal ou da União. Em 20 de setembro de 2010 foi promulgada a Lei Federal no 12.334, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Essa legislação criou, ainda, o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional (CERRI et al, 2011). Contudo, essa política é direcionada à barramentos de médio e grande portes, pois, aplica-se as barragens destinadas à acumulação de água e disposição de rejeitos e resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características: I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros); II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos); III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6º (BRASIL, 2010).

No Estado de São Paulo é o DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica) que emite as outorgas, e as define como “a outorga de direito de uso ou interferência de recursos hídricos é um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder

Público faculta ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo, finalidade e condição expressa no respectivo ato, constitui-se num instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos”. Quando uma barragem é construída sem outorga, significa que a mesma não teve uma fiscalização adequada, o que a deixa mais vulnerável aos riscos de possíveis acidentes.

Cerri et al. (2011) ressaltam que as barragens de pequeno porte apresentam uma proliferação cada vez maior pelo país, fortemente condicionada pelo atual crescimento econômico e a expansão das fronteiras agrícolas. Contudo, o aumento desse tipo de barragem não foi acompanhado por uma intensificação da fiscalização das outorgas e, principalmente, do monitoramento e fiscalização desses empreendimentos. Destaca-se, ainda, ausência de estudos científicos que abordem de forma mais sistemática os procedimentos operacionais, de monitoramento e manutenção de pequenos barramentos, demonstrando a real situação desse tipo de empreendimento pelo país.

Quando se trata de barragens de terra, dentre os possíveis modos de ruptura, destacam-se dois casos específicos devido à atuação da água: entubamento (piping) e galgamento (overtopping). A ruptura por entubamento (piping) ocorre por erosão regressiva de jusante para montante, formando um tubo (piping), com carreamento de partículas de solo pelo maciço, devido ao fato do fluxo de água descontrolado de montante para jusante. Nesse caso, ocorre deslocamento de partículas do barramento, que desestabiliza o equilíbrio de forças na matriz do solo e o respectivo estado de tensões no maciço por onde ocorre este fluxo, este fenômeno é progressivo até a formação de brecha e colapso da estrutura (LADEIRA, 2007).

Para monitorar a possibilidade de erosão interna e outros problemas que podem ocorrer em barragens, é necessária a instalação de instrumentos para a análise das condições de segurança de barragem, como por exemplo, vertedouros. De acordo com Ladeira (2007), os vertedouros devem ser projetados com ampla margem de segurança, para que possa suportar o maior volume possível de água, de acordo com a estimativa de volume de precipitação máxima provável, ou para descargas máximas com elevados tempos de retorno.

Outro fator importante para a segurança das barragens, é a presença de mata ciliar. Segundo Jorge (1984), quando se trata do entorno do reservatório, a vegetação presente nas suas margens, tende a reduzir tanto a erosão quanto o escoamento superficial, reduzindo seus efeitos e consequências para as encostas. O autor ainda afirma que os escorregamentos que ocorrem nas encostas marginais, podem afetar o reservatório, aumentando o assoreamento ou podendo formar ondas de cheia, comprometendo a segurança da barragem.

Contudo, quando se trata do maciço da barragem, árvores e matas devem ser removidas, podendo ser substituídas por gramados, especialmente para pequenas barragens, a fim de protegê-las contra os seguintes riscos em potencial: redução da borda livre, redução na seção transversal da barragem e erosão interna (piping) originada pelo apodrecimento de raízes de árvores mortas. (CBDB, 1999).

Para tanto, elaborou-se um quadro com os fatores apresentados, para avaliar a vulnerabilidade das barragens da bacia hidrográfica em questão (Quadro 10). Definiu-se seis critérios que influenciam na vulnerabilidade das barragens: outorga; vertedouro; processos erosivos no maciço; mata ciliar; vegetação no maciço da barragem e área do reservatório. Os atributos possuem o mesmo peso de influência, pois todos possuem igual importância quando se trata de comprometer a segurança de barragens.

Foram determinadas três classes para cada fator, cada classe possuindo um valor, sendo 1 para baixa vulnerabilidade, 2 para média vulnerabilidade e 3 para alta vulnerabilidade.

Para cada barragem analisada, será feito o cálculo da vulnerabilidade. Destaca-se que o valor mínimo é de 6 e o valor máximo é de 18.

Quadro 10: Critérios para Cálculo da Vulnerabilidade das Barragens.

ATRIBUTOS	CRITÉRIOS PARA CÁLCULO DA VULNERABILIDADE DAS BARRAGENS		
	BAIXO (1,0)	MÉDIO (2,0)	ALTO (3,0)
Outorga	Barragem outorgada	-	Barragem não outorgada
Vertedouro	Em bom estado de conservação	Estado mediano, com erosões leves	Sem manutenção, com erosão ou rompimento
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	Erosão mediana	Erosão intensa
Mata ciliar	Presente	Faixa estreita	Ausente
Vegetação no maciço	Com grama	Arbustos	Árvores
Área do Reservatório referente a lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	15.000,00 a 50.000,00	> 50.000,00
Total (valores mínimos e máximos da somatória de cada atributo)	Valor mínimo = 6,0		Valor máximo = 18,0

Fonte: adaptado de Reis et al., 2014

Os cálculos da vulnerabilidade de cada barragem analisada em campo, são apresentados no **Apêndice 4** deste relatório. As barragens foram classificadas de acordo com sua respectiva vulnerabilidade, conforme apresentado no Quadro 11.

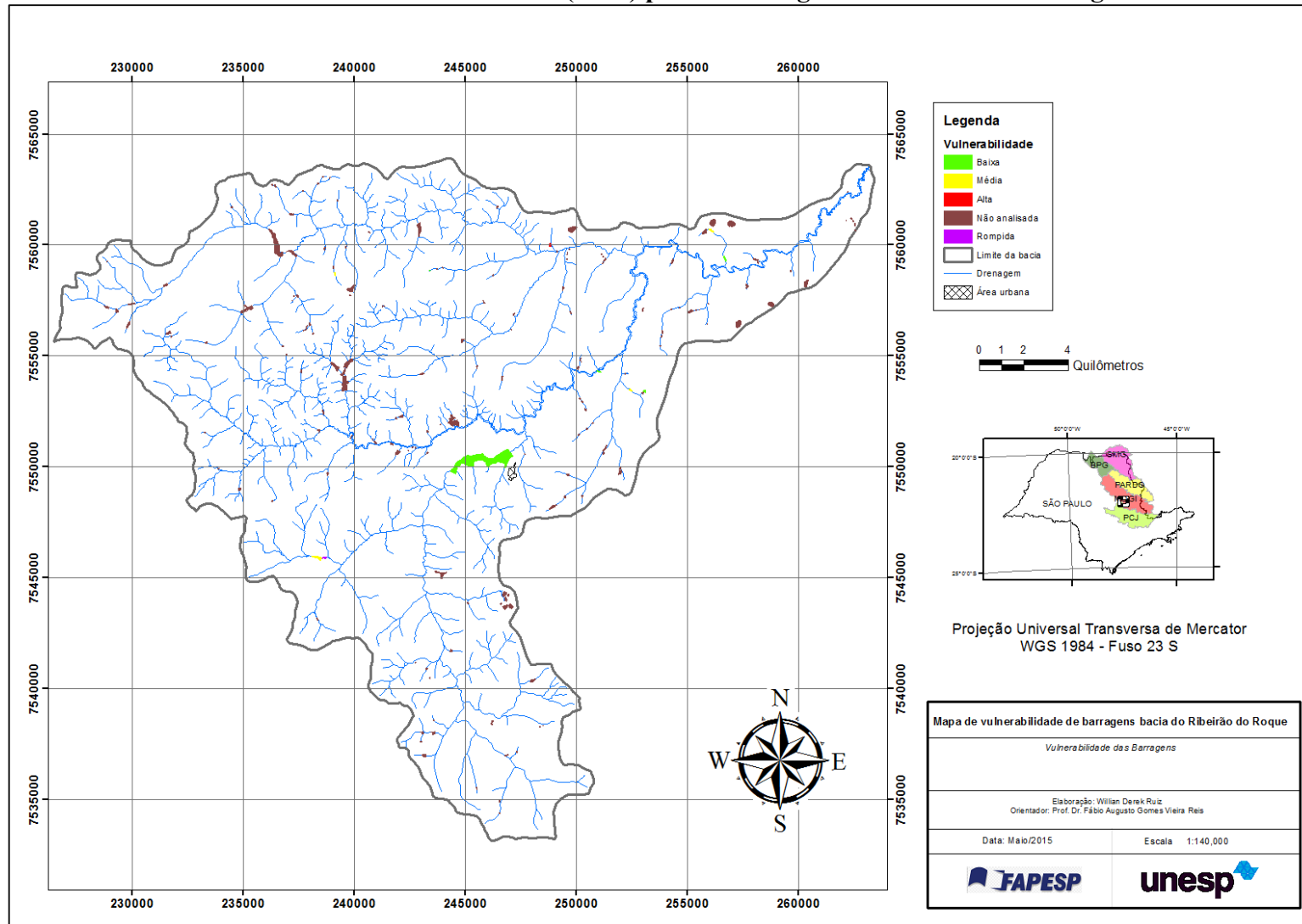
Quadro 11: Classes da Vulnerabilidade das Barragens.

VULNERABILIDADE DAS BARRAGENS		
BAIXA	MÉDIA	ALTA
6 A 10	11 A 13	14 A 18

Fonte: adaptado de Reis et al, 2014

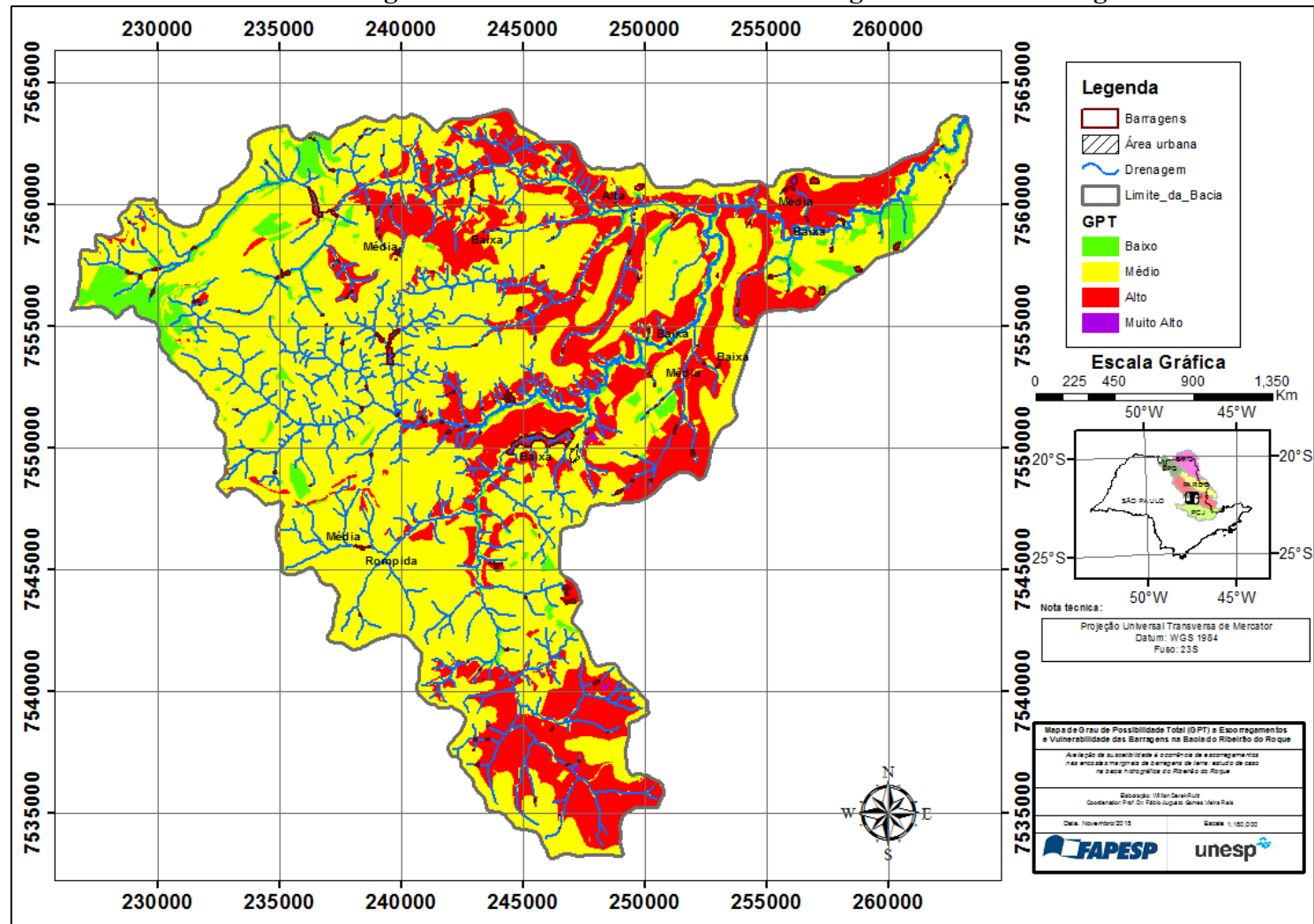
Não foi calculado a vulnerabilidade da barragem 97, pois a mesma se encontra rompida. De todas as barragens analisadas, apenas uma apresentou alta vulnerabilidade (barragem nº 244), sendo que as barragens de número 98, 120, 222 e 133 apresentaram média vulnerabilidade e as barragens de número 11, 193, 129, 64 e 134, apresentaram, vulnerabilidade baixa. Dessa forma, foi gerado um mapa de vulnerabilidade das barragens analisadas, correlacionando com suas respectivas classes (Figura 27).

Figura 27. Mapa Atualizado com os Graus de Possibilidade Total (GPT) para Escorregamentos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



O resultado final desse estudo, foi gerar um mapa final que relaciona a suscetibilidade a processos de escorregamento com a vulnerabilidade de barragens da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque (Figura 28). Auxiliando assim, no que se trata de gestão de barragens.

Figura 28. Mapa Final de Suscetibilidade a Escorregamentos e Vulnerabilidade das Barragens na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.



5.7. Análise das Principais Funcionalidades do FLO-2D

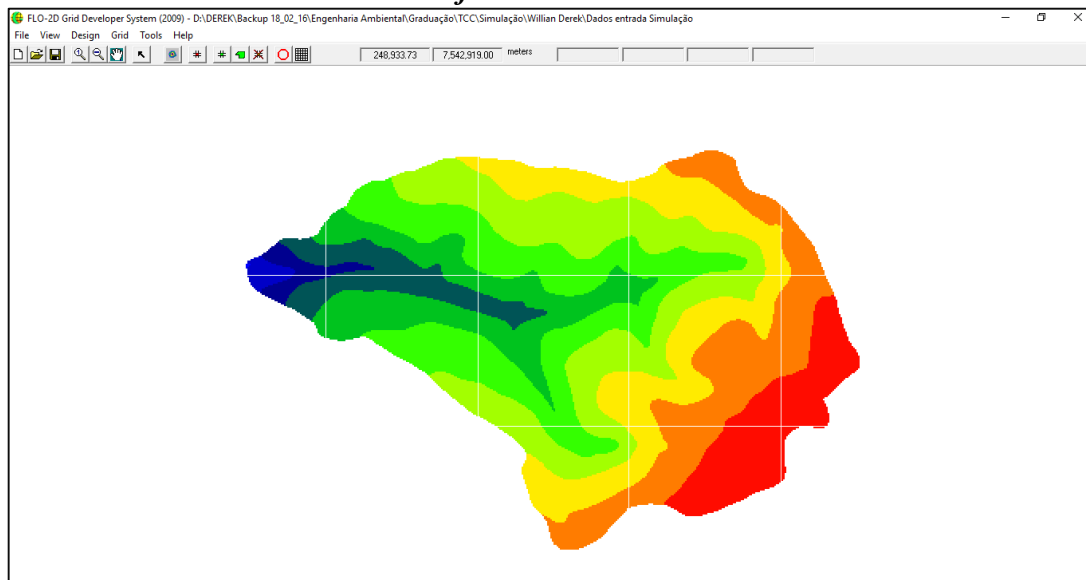
Nessa etapa do projeto, apresenta-se os resultados iniciais obtidos no processo de simulação com o *software* FLO-2D na sub-bacia do Córrego do Monjolo.

A seguir, será feita uma descrição de quais etapas foram realizadas e analisadas dentro do *software* FLO-2D.

5.7.1. Importação de dados de elevação

Após realizar a importação dos dados de elevação no *software* FLO-2D (Figura 29), a imagem apresentou diferentes colorações, o que representa diferentes valores de elevação.

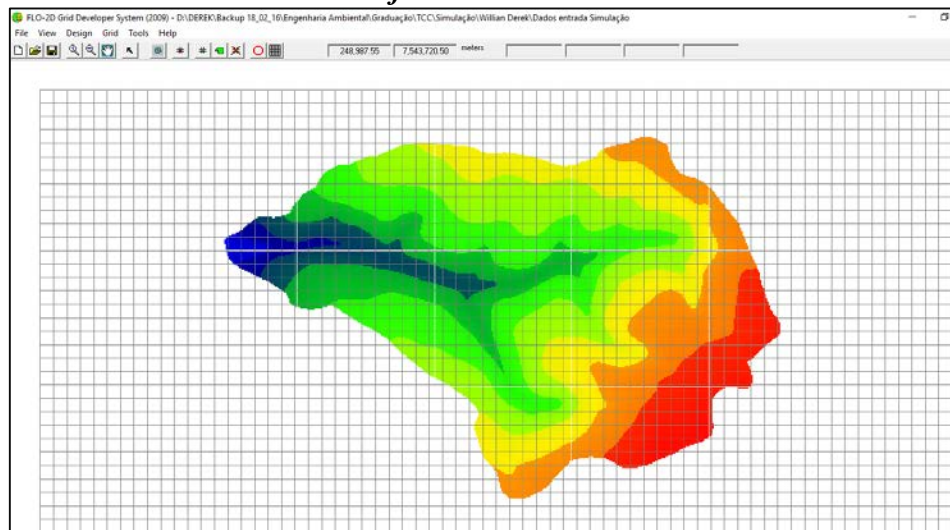
Figura 29. Produto da Importação dos Dados de Elevação do Córrego do Monjolo no *Software* FLO-2D.



5.7.2. Definição da Malha (GRID)

Após definir o grid de 100 metros (Figura 30), é possível atribuir valores para cada grid criado na imagem.

Figura 30. Grid de 100 Metros Introduzido nos Dados do Córrego do Monjolo no Software FLO-2D.



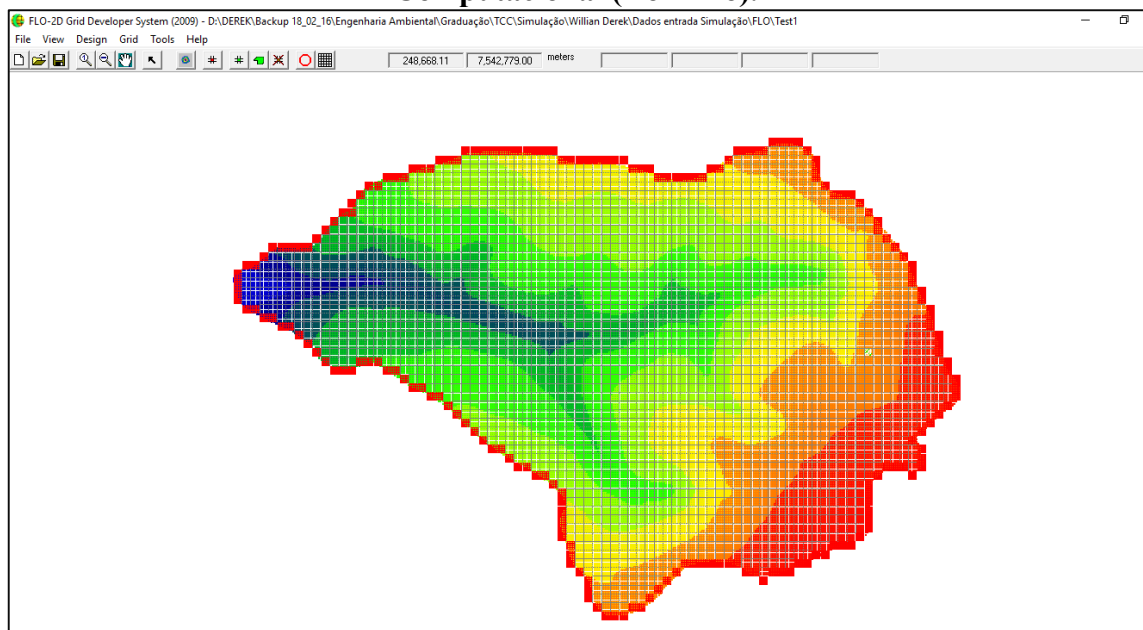
5.7.3. Determinação do domínio computacional

O resultado do domínio computacional foi praticamente o contorno da sub-bacia em questão.

5.7.4. Interpolação dos dados de elevação e malha

É possível analisar o resultado da interpolação entre os dados de elevação (MDT) e da malha computacional (*Grid*) na Figura 31.

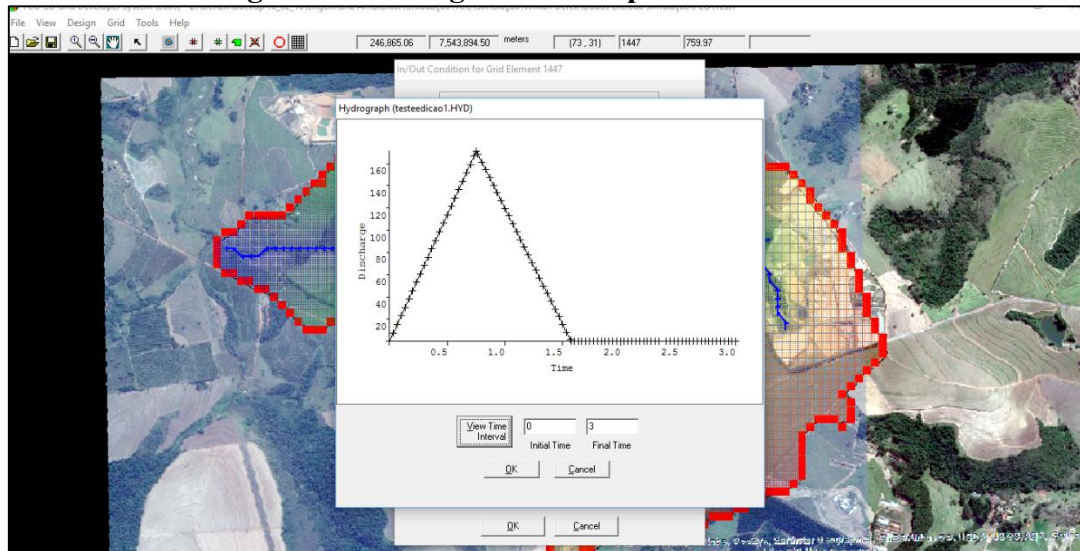
Figura 31. Resultado da Interpolação Entre os Dados de Elevação e Malha Computacional (Domínio).



5.7.5. Especificação dos dados para geração do hidrograma

Após atribuir os valores das barragens simuladas, aplicando o método do hidrograma de ruptura triangular simplificado, gerou-se o hidrograma de ruptura de entrada que pode ser observado na Figura 32.

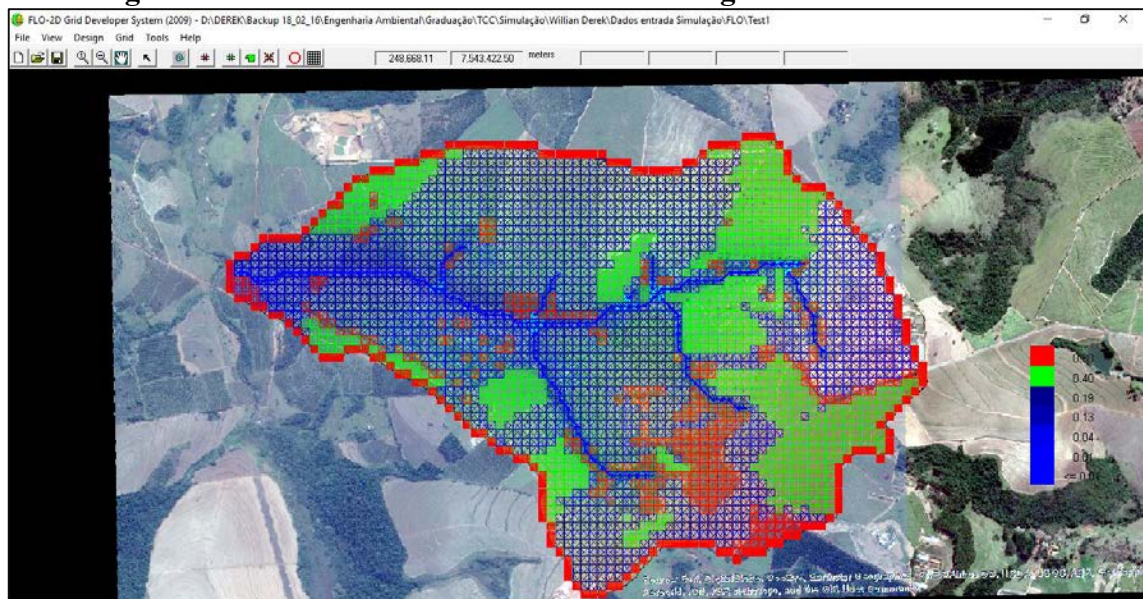
Figura 32. Hidrograma de Ruptura de Entrada.



5.7.6. Atribuição dos coeficientes de Manning

É possível verificar os valores de coeficiente de manning atribuídos para cada região na Figura 33.

Figura 33. Valores de Coeficientes de Manning e Canais da Sub-bacia.



5.8.7. Processo inicial de simulação com o FLO-2D

A Figura 34 ilustra a etapa em que se define os parâmetros de entrada para que se inicie o processo de simulação.

Uma vez definido os dados de entrada, é possível executar a simulação. Se selecionado, é possível analisar a simulação em uma interface gráfica do *software*, que ilustra o produto da simulação em tempo real (Figura 35).

Figura 34. Dados de Entrada (*Input*) para a Realização da Simulação.

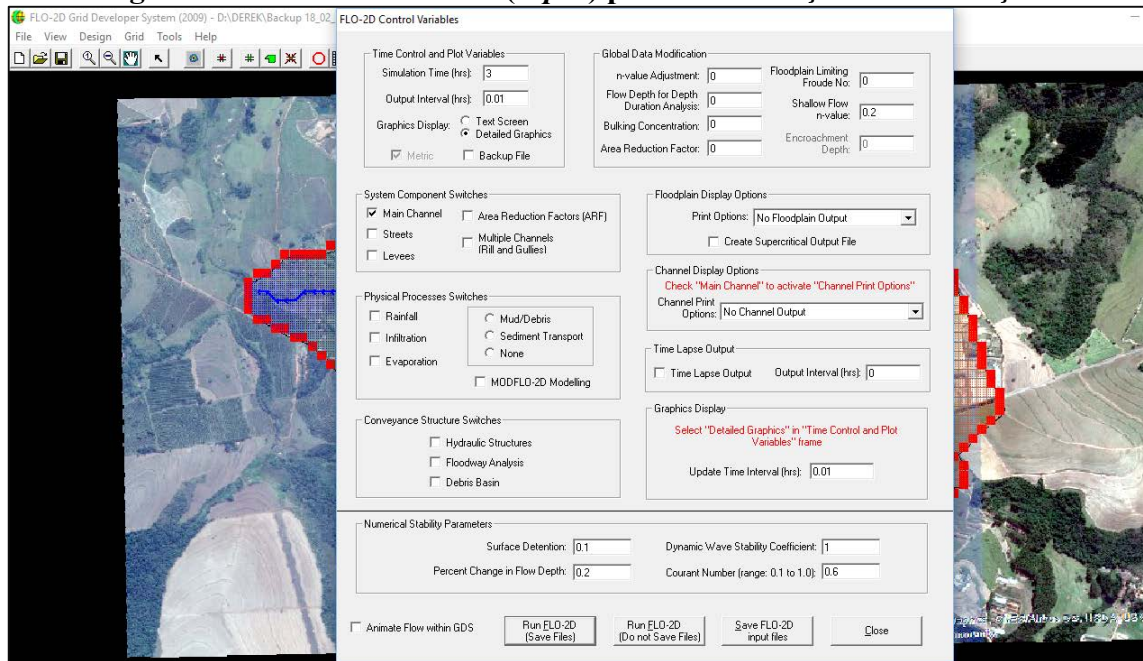
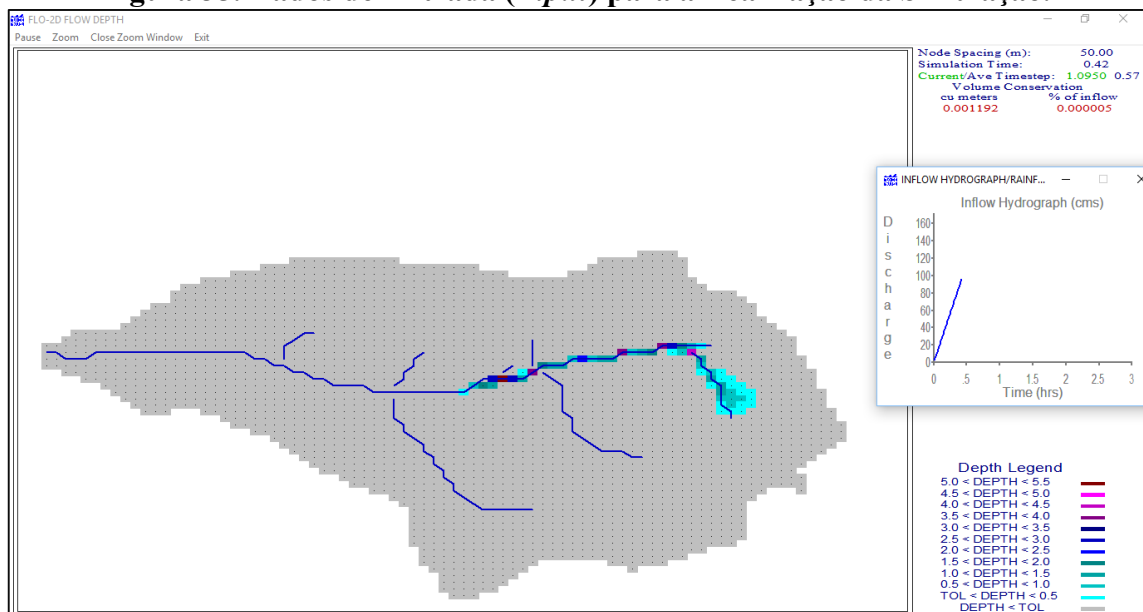
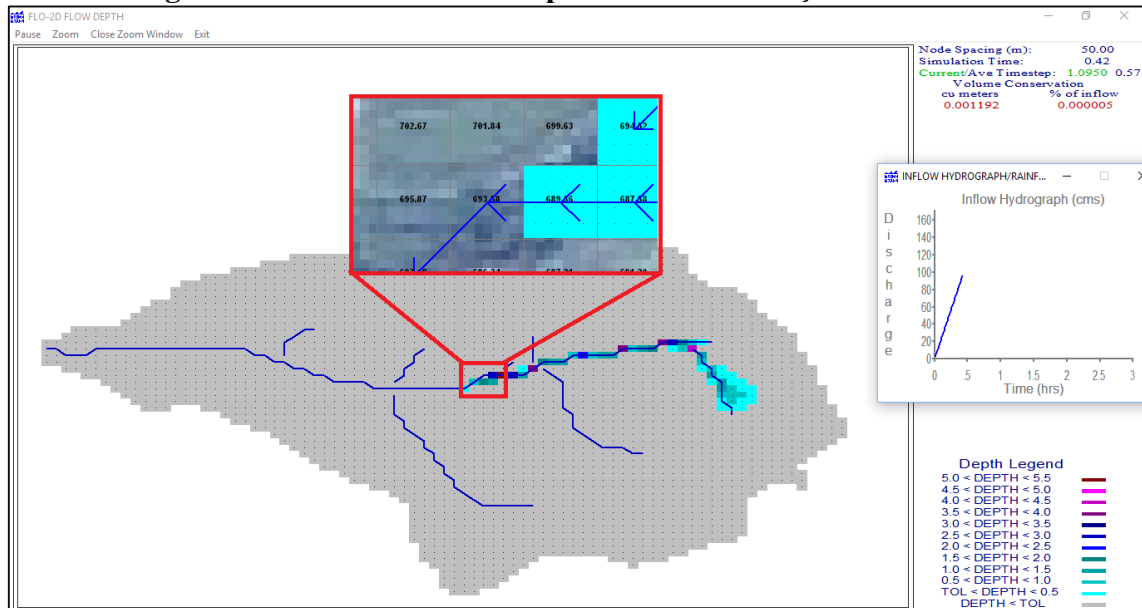


Figura 35. Dados de Entrada (*Input*) para a Realização da Simulação.



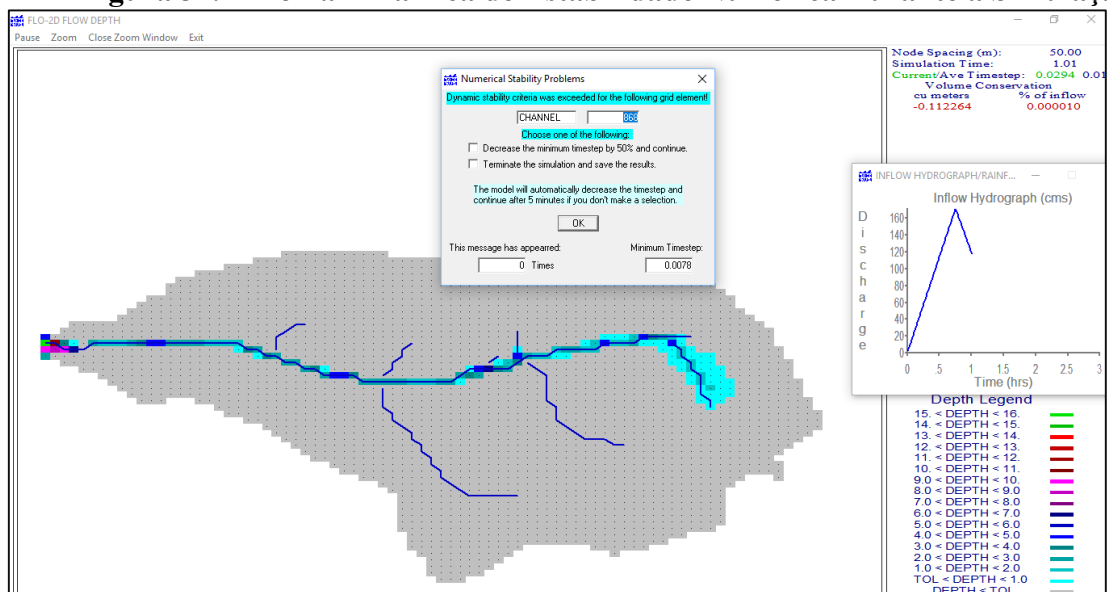
A primeira análise realizada do processo de simulação, foi tentar entender o motivo pelo qual em determinado ponto do canal, o fluxo muda de direção, preferindo não seguindo o fluxo do canal. Fez-se uma análise criteriosa e foi constatado uma incoerência nos dados de elevação, já que houve um aumento da elevação no percurso do canal como pode ser observado na Figura 36.

Figura 36. Trecho do Canal Apresentando Elevação em seu Percurso.



Durante o processo de simulação, ocorreu um comportamento anormal na dinâmica de estabilidade, impedindo que a simulação ocorresse sem uma intervenção como pode ser observado na Figura 37.

Figura 37. Erro na Dinâmica de Estabilidade Numérica Durante a Simulação.



Além disso, ao final do canal, a onda de cheia apresentou um comportamento que se distancia do real ocorrido, o que mostra que os *inputs* iniciais escolhidos precisam ainda serem analisados e estudados com mais vigor, para que possa ser feito a calibração do referido modelo.

Dessa forma, para a realização de simulação de rompimento de barragens no *software* FLO-2D, é necessário possuir em mãos, no mínimo, os *inputs* descritos acima. Vale ainda dizer que o processo de simulação, serve como um instrumento de apoio para o detalhamento da vulnerabilidade de barragens, pois além de ser preciso ter o conhecimento bem detalhado do terreno em questão, é possível identificar a magnitude do evento, caso uma barragem venha a se romper.

6. CONCLUSÃO

A metodologia do Grau de Possibilidade Total (GPT) aplicada aos processos de escorregamentos se mostrou eficaz, já que foi condizente com os parâmetros fisiográficos e de uso e ocupação do solo, com a realização de campo, onde foram analisadas as condições de cada barramento, foi necessário realizar apenas uma alteração do Mapa Preliminar de Suscetibilidade.

A alteração foi feita na classificação do Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) que está diretamente relacionado com o Mapa de Uso e Ocupação do Solo, no qual a área urbana consolidada passou de Médio para Baixo Grau de Possibilidade Antrópico (GPA) de escorregamentos, já que as obras de engenharia nessas áreas dão mais estabilidade geotécnica para a ocupação.

No levantamento de campo, houve bastante dificuldade para ter acesso aos barramentos selecionados, visto que as barragens em sua maioria, se localizam em propriedades rurais privadas, das quais o acesso é restrito. Recomenda-se que se faça uma comunicação com os proprietários das áreas antes de selecionar as barragens que se pretende investigar, pois dessa maneira, é possível saber de antemão se será ou não possível ter acesso as barragens selecionadas.

Foram coletadas informações de 11 barragens da referida bacia hidrográfica, das quais, elaborou-se fichas de campo padronizadas com as informações detalhadas da situação de cada uma (**Apêndice 1**). As barragens que possuíam outorga, apresentaram baixa vulnerabilidade, evidenciando dessa forma, a importância da outorga quando se trata de barramentos, já que são exigidos projetos de engenharia para a outorga, obrigando os proprietários a buscar profissionais qualificados para sua elaboração. Contudo, a baixa fiscalização desses empreendimentos pelos órgãos competentes, seja na fase de instalação, mesmo para aqueles com outorga, como durante sua operação, ocasiona a total falta de manutenção e monitoramento pelos proprietários, que desrespeitam muitas vezes os próprios projetos que contrataram. Nesse sentido, a fiscalização efetiva e constante das barragens possibilitaria uma mudança de atitude dos proprietários e seria até uma ação educativa na direção de maior segurança para as pequenas barragens.

Quando se trata na gestão de barragens, o Mapa Final de Suscetibilidade a Escorregamento é instrumento mais do que fundamental, pois além de ser possível analisar quais as áreas são suscetíveis aos processos de escorregamento, é possível saber a

vulnerabilidade de cada barramento. Direcionando assim, atenção a áreas que se mostram prioritárias nesse tipo de gestão.

Portanto, recomenda-se o uso dessa metodologia como auxílio na gestão de barragens de terra de pequeno a médio porte.

No que diz respeito ao estudo do processo de simulação do rompimento de barragens na sub-bacia do Córrego do Monjolo situada na bacia hidrográfica do Ribeirão do Roque, devido à complexidade do processo, disponibilidade de dados e cronograma de estudo, tal estudo teve que ser simplificado, sendo assim, não foi considerado no hidrograma de entrada (*input*) a concentração volumétrica de sedimentos que varia com a vazão e consiste em um fator que influencia nas características do referido processo.

Além disso, o processo de simulação mostrou-se se um processo sistemático, que além de demandar bastante tempo, é totalmente influenciado pela disponibilidade de dados de entrada (*input*), dados estes que são cruciais para a execução da simulação, como a topografia da área por exemplo, que apresentou incongruência.

Dentre as inúmeras vantagens do *software* FLO-2D, destacam-se a capacidade de interação do usuário a todo momento, podendo alterar os parâmetros e variáveis, além de poder exportar dados de outros programas como *Excel* e *ArcGIS*. Já as desvantagens, é necessário mencionar que o *software* foi bastante instável durante o seu uso, travando várias vezes. Além de que, a interface do *software* não é intuitiva e falta documentos de tutoriais que expliquem a sua funcionalidade.

Todavia, recomenda-se o uso de programas de simulação para análise de possíveis rompimentos de barragens em áreas consideradas com alta potencialidade de processos de escorregamentos. Porém, é fundamental ressaltar que é necessário mais estudos para que se possa entender mais a fundo a funcionalidade do programa e a influência dos dados de *inputs*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP.** 2005. 390 f. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 58, n. 1, p. 21- 44, 1999.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de taludes. In: OLIVEIRA, A. M. D. S.; BRITO, S. N. A. D. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. 2ª ed. São Paulo: ABGE, 2004. p. 243-269.
- AUGUSTO FILHO, O. **Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica.** In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 1., 1992, Rio de Janeiro/RJ. Anais... Rio de Janeiro: 1992, v. 2, p. 721- 733.
- AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco de escorregamento: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ilha Bela, SP.** São Paulo, 1994. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- AVANCINI, C. S. DE A.; TÔSTO, S. G.; VALLADARES, G. S. **Uso e Cobertura das terras do Município de Araras.** Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Circular Técnica On-line nº 14 - Campinas/SP - 2008. 12p. Disponível em: <http://www.cnpem.embrapa.br/biblioteca/publicacoes.htm>. Acesso em: 14 de fevereiro de 2015.
- AYALEW, L.; YAMAGISHI, H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. **Geomorphology**, v. 65, n. 1-2, p. 15-31, 2005.
- BARREDO, J., BENAVIDES, A., HERVAS, J., VAN WESTEN, C.. **Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain.** International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2, 2000, p. 9 – 23.
- BIGARELLA, J. J. BECKER, R. D.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1996 v. 2. 875 p.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E.; **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2003 v. 3 (p.877-1436).
- BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS.** Ottawa: Pergamon, 1996. 398 p.
- BRITO, M. M. **Geoprocessamento aplicado ao mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos no município de Porto Alegre, RS.** Porto Alegre, 2014. 167 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BRUBACHER, J. P. OLIVEIRA, G. G & GUASSELLI, L. A. **Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. Anais... Rio Grande do Sul: UFRGS, 2011.

CAMPOE, L. **Relatório 2**. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Engenharia Civil. Laboratório de Geoprocessamento. 2010. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABXOUAA/analise-morfometrica>>. Acesso em: 04 fev de 2015.

CARRARA, A.; CARDINALI, M.; DETTI, R.; GUZZETTI, F.; PASQUI, V.; REICHENBACH, P. GIS techniques and statistical models in evaluation landslide hazard. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 16, n. 5, p. 427-445, 1991.

CASADEI, M.; DIETRICH, W. E.; MILLER, N. L. Testing a model for predicting the timing and location of shallow landslide initiation in soil-mantled landscapes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 28, n. 9, p. 925-950, 2003.

CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO E. S.; AUGUSTO FILHO, O. **Mapeamento de Risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP)**. São Paulo, UNESP, Geociências, 2007, v. 26, n. 2, p. 143 – 150.

CERRI, L. E. da S.; REIS, F.A.G.V; GIORDANO, L. do C. Diretrizes para a elaboração de plano de operação de barragens de terra de pequenas dimensões. IN: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, AL, 2011. 18p.

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens. **Guia básico de segurança de barragens**. Comissão Regional de Segurança de Barragens - São Paulo: 1999.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção projeto**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996. 648 p.

DAI, F. C.; LEE, C. F. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. **Geomorphology**, v. 42, n. 3-4, p. 213-228, 2002.

DENGHUA, Z.; YUEFENG, S.; MINGCHAO, L. **Dam break threshold value and risk probability assessment for an earth dam**. Natural Hazards, 2011, Volume 59, Number 1, p. 129-147. Artigo publicado na web em 23 de fevereiro de 2011. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-011-9743-6>. Acesso em 14 de fevereiro de 2015.

DI GREGORIO, L. T.; SOARES, C. A. P.; FEITOSA, F. F.; NERY, T. BODART, M. Aplicabilidade dos mapeamentos de suscetibilidade, perigo (hazard) e risco na redução de desastres naturais. In: Congresso Brasileiro sobre Desastres Naturais, 1., Rio Claro. **Anais...** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 2012.

DIAS, F. P.; HERRMANN, M. L. de P. Susceptibilidade a deslizamentos: estudo de caso no bairro Saco Grande, Florianópolis – SC. **Caminhos de Geografia**, v. 3, n. 6, p. 57-73, 2002.

DOMINGUES, L.S.V. **Análise comparativa de softwares de simulação de onda de cheia e corridas de massa**. 2012. 26. f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) -Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2012.

ERMINI, L.; CATANI, F.; CASAGLI, N. Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. **Geomorphology**, v. 66, n. 1-4, p. 327-343, 2005.

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C. CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. Joint Technical Committee on landslides and engineered slopes, JTC-1. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3-4, p. 99-111, 2008.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. E CUNHA, S. B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003. cap. 3, p. 123-194.

FERREIRA, M. V; RIEDEL, P. S.; LOPES, E. S. S.; MERINO, E. R. Comparação entre diferentes critérios para elaboração de mapas de suscetibilidade aos escorregamentos. Exemplos do município de Cubatão, Serra do Mar Paulista. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 60, p. 385-400, dez. 2008.

FIORI, A. P.; BORCHARDT, N. (1997) Influência da vegetação na estabilidade de taludes naturais. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 45, p. 43 – 58,.

FIORI, A. P.; CARMIGNANI L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: aplicações na estabilidade de taludes**. 2. Ed. Curitiba: Ed. UFPR, 2009. 604p.

FUSARO, T. C. (1999). Um programa de segurança de barragens no setor elétrico privatizado. **XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens**, Belo Horizonte – MG, anais volume I – p. 45 – 56.

FLO 2D FLO-2D. **FLO-2D Pro**. Overview. [2012]. Disponível em:<<http://www.flo-2d.com/flo-2d-pro/>>. Acesso em: 20 Setembro 2016.

FREAD, D. L., LEWIS, J. M. **NWS FLDWAV model: theoretical description and user documentation**. Maryland: National Weather Service, 1998.

FROEHLICH, D. C. Embankment dam breach parameters revisited. **In: Water Resources Engineering**. ASCE. p. 887-891, 1995.

GEMITZI, A.; FALALAKIS, G.; ESKIOGLOU, P.; PETALAS, C. Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS. **Global NEST Journal**, v. 13, n. 1, p. 28-40, 2011.

GOMES, R.A.T. **Modelagem de Previsão de Movimentos de Massa a Partir da Combinação de Modelos de Escorregamentos e Corridas de Massa**. 2006. (Tese de Doutorado em Geografia - Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação Em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro). 2006.

GLADE, T.; CROZIER, M. J. The nature of landslide hazard impact. In: GLADE, T.; ANDERSON, M.; CROZIER, M. J. (Eds.) **Landslide Hazard and Risk**. John Wiley and Sons, Chichester: 2005. cap 2., p. 43-74.

GUIDICINI, G.; IWASA, O. Y. (1976) **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. São Paulo: IPT, 48 p. (Relatório n. 1080).

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 196 p.

GUIMARÃES R. F.; MONTGOMERY D. R.; GREENBERG H. M.; FERNANDES N. F.; GOMES R. A. T.; CARVALHO JÚNIOR O. A. Parameterization of soil properties for a model of topographic controls on shallow landsliding: application to Rio de Janeiro. **Engineering Geology**, v. 69, n. 1-2, p. 99-108, 2003.

GUZZETTI, F.; PERUCCACCI, S.; ROSSI, M. Rainfall thresholds for the initiation of landslides in Central and Southern Europe. **Meteorology and Atmospheric Physics** (online version), v. 98, n.2, p.239-267, 2007.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. **Ocupação de encostas**. Coord. Cunha, M. A. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1991.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Material de Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. São Paulo, 2004, 122p.

JORGE; F. N. DE. **Mecanismos dos Escorregamentos em Encostas Marginais de Reservatórios**. 1984, 146 p. Dissertação (Mestrado em Geotécnica) - Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1984.

KOZCIAK, S. **Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

KURIAKOSE, S. L.; VAN BEEK, L. P. H; VAN WESTEN C. J. (2009). **Parameterizing a physically based shallow landslide model in a data poo region**. *Earth Surface Processes and Landsforms* 34, 867-881.

LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos O caso UHE – São Simão**. Belo Horizonte, 2007. 210 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.

LAN, H. X., ZHOU, C. H., WANG, L. J., ZHANG, H. Y., LI, R. H. **Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China**. *Engineering Geology* (76): 109-128, 2004.

LAURIANO, A. W. **Estudo de Ruptura de Barragem de Funil: comparação entre os modelos FLDWAY e HEC-RAS**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009, 203 p.

LOPES, E. S. S.. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.00**. 2006. 276 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

MACHADO, A. S. V. **Geotecnia na Avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa no município de Várzea Paulista (SP)**. 2011, 120 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Geografia), Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2011.

MACEDO, E.S.; Roteiro de cadastro de risco de áreas com escorregamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 10., 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: IPT, 2002, p. 1-16.

Manual de Segurança e Inspeção de Barragens – Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2002. 148p.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBİYAMA, M. Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 17, p. 72-84, 2006.

MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamento no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. 2003. 230 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

MARETTI, C.C. **Exemplos de geologia aplicada a um processo de planejamento costeiro:** cartas geológico-geotécnicas da região estuarino-lagunar de Iguape e Cananéia e da Ilha Comprida. 1998. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MARTINI, L.C.P.; UBERTI, A.A.A.; SCHEIBE, L.F.; COMIN, J.J.; OLIVEIRA, M.A.T. Avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa: decisão multicriterial suportada em sistemas de informações geográficas. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 1, p. 41-52, Jul. 2006.

MELO, A. V. **Análises de risco aplicadas a barragens de terra e enrocamento: estudo de caso de barragens da CEMIG GT**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014.

MENDES, T. A. **Assessing the vulnerability of dams to the breaking of small reservoirs located upstream**. Goiânia, 2008. 102p. Dissertação (Mestrado) – EEC – UFG – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás.

MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, M. S. O.; BRITO, S. N. A. (Org.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. Cap. 5, p. 70-85.

MOURA, E.F. **Percepção de risco em áreas de população vulnerável a desastres naturais do município do Guarujá – SP**. 2011. 88p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2011.

O'BRIEN, J. S., and Julien, P. Y. **"Physical properties and mechanics of hyperconcentrated sediment flows."** Proc., ASCE Specialty Conf. on the Delineation of Landslides, Flash Floods and Debris Flow Hazards in Utah, Utah Water Research Lab., Univ. of Utah at Logan, Utah, 260-279. 1985.

O'BRIEN, J.S e JULIEN, P. Y, FULLERTON, W.T . Two- dimensional water flood and mudflow simulation. **Journal of Hydraulics Engineering**, 119 (2), pp. 224-259. 1993.

OLIVEIRA, T. A. **Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos: subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia-SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2004.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives.** , Genebra – Suíça: Inter-agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), 2004. 398p. e anexos. Disponível em: http://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf. Acesso em 14 fev. 2015

PAIVA JÚNIOR, H. B. **Efeitos do rompimento da barragem de Camará na área urbana do município de Alagoa Grande – PB.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

PANIKKAR, S. V.; SUBRAMANYAN, V. A geomorphic evaluation of the landslides around Dehradun and Mussoorie, Uttar Pradesh, India. **Geomorphology**, v. 15, p. 169 – 181, 1996.

PASCHOALIN FILHO, J. A. **Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequeno porte.** 2002. 171 f. Dissertação (Mestrado em Construções), Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas (Unicamp). Campinas: 2002.

PERINI, D. S. **Estudo dos processos envolvidos na análise de riscos de barragens de terra.** Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Publicação G.DM-180/09, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009. 128p.

PEROTTO-BALDIVIEZO, H. L.; THUROW, T. L.; SMITH, C. T.; FISHER, R. F.; WU, X. B. **GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steep lands, southern Honduras.** Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 103, p. 165 – 176, 2004.

PILACHEVSKY, T. **Zoneamento Geoambiental do município de São João da Boa Vista (SP).** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2013.

PUPIM, F. N. **Aspectos fisiográficos do município de Rio Claro – SP.** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 2010.

RAGHUVANSHI, T.K.; IBRAHIM, J.; AYALEW, D. **Slope stability susceptibility evaluation parameter (SSEP) rating scheme – An approach for landslide hazard zonation.** Journal of African Earth Sciences, United Kingdom, mai 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.05.004>. Acesso em 23 fev de 2015.

RAHN, P. H. 1986. Engineering geology: an environmental approach. Englewood Cliffs, New Jersey. 539p.

RAMÍRES, F. Elementos conceptuales para el estudio social de los desastres. In: MASKREY, Andrew (Ed.) **Terremotos em el trópico húmedo.** [S.I.]: LA RED, 1996. 328 p.

REIS, F.A.G.V.; CERRI, L.E. da S.; ZAINÉ, J.E.; AUGUSTO FILHO, O.; GIORDANO, L. do C. Metodologia para avaliação de áreas sujeitas à ocorrência de ondas de cheia e corridas de massa/detritos: Estudo piloto no duto OSBRA no Estado de São Paulo. **Relatório Técnico 4. FUNDUNESP/PETROBRAS**. 2014. 246p.

RENNÓ, C.D. S. **Sistema de análise e simulação hidrológica aplicado a bacias hidrográficas**. 119f. Tese (doutorado em sensoriamento remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos. 2003.

RODRIGUES, B. B. **Inventário e análise de susceptibilidade aos escorregamentos de massa gravitacionais e erosão na região de Águas de Lindóia - SP – Escala 1:10.000**. São Carlos, 1998. 163p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos.

RODRIGUES, F.H. **Análise integrada aplicada ao mapeamento geológico – geotécnico na escala de 1:20.000 da estrada de castelhanos, Ilhabela – SP**. 2012, 181 p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2012.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. In: Revista do Departamento de Geografia, nº8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994

RODRIGUES, C. S. **Mapeamento da Suscetibilidade a escorregamentos de Nova Friburgo – RJ por meio de inferência Fuzzy e elaboração de cenários de alerta com uso do TERRAMA2**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2013.

SAFAEI, M.; OMAR, H.; HUAT, B. K.; YOUSOF, Z. B. M. Deterministic rainfall induced landslide approaches, advantage and limitation. **Electronic Journal of Geotechnical Engineering**, v. 16, n. 1, p. 1619 – 1650, 2012.

SAITO, F. **Estudo analítico da suscetibilidade a escorregamentos e quedas de blocos no maciço central de Florianópolis – SC**. 2004. 133 f. Dissertação Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v 37, n. 4, 2007.

SANTOS, MARIA ALZIRA et al. **Risco e gestão de crises em vales a jusante de barragens**. Laboratorio Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal, 1997 151 p.

SHERARD, J. L.; WOODWARD, R. J.; GIZIENSKI, S. F.; CLEVINGER, W. A. **Earth and Earth-Rock Dams**. New York: John Wiley & Sons, 1963, 725 p.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope stability: recognition, analysis and zonation. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L. **Landslides investigation and mitigation**. Washington: Transportation Research Board, National Research Council – Special Report, 247. Cap. 8, 1996. p. 129 – 177.

TAGLANI, C. R. A. Técnicas para avaliação da vulnerabilidade de ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, MG. **Anais em CD-ROM ...** Belo Horizonte: INPE - SELPER, p. 1657-1664

TOMINAGA, L.K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP.** 2007. 240p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2007.

TOMINAGA, L.K.; FERREIRA, C.J.; VEDOVELLO, R.; TAVARES, R.; SANTORO, J. – **Ocupação humana e risco a processos de movimentos de massa no Litoral Norte de São Paulo: Avaliação dos fatores geoambientais.** In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, São Paulo, 2005, p.1143-1159.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos.** Editora da UFRGS. ABRH. 1998.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). **Hydrology Engineering Requeriments for Reservoirs.** Washington - DC, 1997.

UN-ISDR. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. United Nations. Genebra, Suíça: UN, 2004. 457p. Disponível em: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657> . Acesso em: 31 out. 2015.

VALERIANO, M. M. **Topodata:** guia para utilização de dados geomorfológicos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. 72 p. (INPE-15318-RPE/818). Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP8W/33EPEBL>>. Acesso em 12 jan de 2015.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata:** Processamento dos dados SRTM. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/05.10.18.42>>. Acesso em 02 dez de 2014.

VAN WESTEN, C. J., ABELLA, E. C.; KURIAKOSE, S. L. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3 – 4, p. 112 – 131, 2008.

VAN WESTEN, C. J. SEIJMONSBERGEN, A. C.; MANTOVANI, F. Comparing landslide hazard maps. **Natural Hazards**, v. 20, n. 2-3, p. 137-158, 1999.

VARGAS, M. Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos na Serra do Mar. **Boletim Solos e Rochas** (ABMS e ABGE), v. 22, n. 1, p. 53 – 83, 1999.

VASQUEZ, J. A.; DE LIMA, G. **Modelagem Numérica Bidimensional Aplicada a Hidráulica de Pontes.** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2009. 20 p.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana.** 1993. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência – Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009.

ZÊZERE, J. L. **Dinâmica de vertentes e riscos geomorfológicos**. Relatório nº 41. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Área de Geografia Física e Ambiente, 2005.

YALCIN, A. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. **CATENA**, v. 72, n. 1, p. 1-12, 2008.

APÊNDICE 1

Fichas de Campo das Barragens

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 1	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 251051 E / 7554329 N	Barragem nº: 129	Unidade Fisiográfica: I
Caracterização Geológica-Geotécnica: Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☒ Vertedouro de Topo ☐ Vertedouro "Lateral"	☒ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☒ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☒ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☒ Concreto ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):		No Entorno:
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☒ Construções de Captação do Município ☒ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa		☐ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☒ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☒ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☐ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto		☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
O entorno apresenta encostas bem suaves, retilíneas com baixa declividade. Não apresenta evidências de processos de dinâmica superficial.		



Foto 1. Estação de captação de água bruta da cidade de Leme.



Foto 2. Vista de uma parte do reservatório.



Foto 3. Vista do reservatório, com vertedouro de topo em bom estado de conservação



Foto4. Vista do entorno do reservatório (pastagem e mata ciliar estreita).

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 2	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 252393 E / 7553520 N	Barragem nº: 133	Unidade Fisiográfica: X
Caracterização Geológica-Geotécnica: Folhelhos, calcários e sílex da Formação Irati e siltitos e arenitos da Formação Tatui em relevo de meia encosta.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☒ Com Sinais de Erosão a Jusante ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☒ Até 1 m Abaixo do Maciço ☐ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☒ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):		No Entorno:
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções de Captação do Município ☐ Mata Ciliar Estreita ☒ Sem Mata Ciliar ☐ Mata Ciliar Espessa		☐ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☒ Erosão Leve no Talude a Jusante ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☒ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☒ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto		☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
As encostas no entorno são de perfis retilíneos-convexos, há leves erosões lineares na parte direita do reservatório. O talude a jusante apresenta alta inclinação em uma relação próxima e alguns pontos acima de 1:1.		



Foto 5. Vista do maciço em bom estado e reservatório à esquerda.



Foto 6. Vista do reservatório e seu entorno, composto por pastagem.



Foto 7. Talute com alta inclinação à jusante do reservatório.



Foto 8. Vertedouro de topo lateral montante em bom estado.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 3	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 253072 E / 7553450 N	Barragem nº: 134	Unidade Fisiográfica: X
Caracterização Geológica-Geotécnica: Folhelhos, calcários e sílex da Formação Irati e siltitos e arenitos da Formação Tatuí em relevo de meia encosta.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☒ Não Foi Possível Observar	☒ Até 1 m Abaixo do Maciço ☐ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☒ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções de Captação do Município ☒ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa	☐ Monocultura Perene ☒ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude a Jusante ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☒ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:	VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:	
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
Não foi possível o acesso, porém, há indícios de que já houve rompimento. Apesar de apresentar uma largura de maciço estreita, os taludes à jusante possuem vegetação arbórea intensa. A vegetação pode estar afetando os taludes e o entorno é muito próximo do divisor de águas, com encostas suaves e convexas-retilíneas, sem processo de dinâmica superficial.		



Foto 8. Evidência de que possivelmente já houve rompimento no reservatório.



Foto 9. Pastagem no entorno do reservatório.



Foto 10. Abundância de vegetação arbórea no talude a jusante.



Foto 11. Parte da mata ciliar e monocultura sazonal no entorno do reservatório.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.		
	Ficha nº. 4		
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek			Data: 13/07/2015
UTM: 256648 E / 7559373 N	Barragem nº: 193	Unidade Fisiográfica: VI	
Caracterização Geológica-Geotécnica: Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes, talus e colúvios associados.			

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☒ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☒ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☒ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):		No Entorno:
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☒ Construções Rurais ☐ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa		☐ Monocultura Perene ☒ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☐ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☒ Erosão Leve no Talude ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☒ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
☐ Baixo ☒ Médio ☐ Alto		☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
Barramento dividido em dois reservatórios, utilizado para piscicultura. O talude a jusante da 2ª barragem é bem acentuado e apresenta muita vegetação de grande porte, inclusive bambu. O relevo é bem suave (convexo-retilíneo), sem evidências de ocorrência de processos de dinâmica superficial. Apesar disso, o final do vertedouro apresenta indícios de processos de erosão em solo argiloso.		



Foto 12. Vista dos dois reservatórios, apresentando um maciço em bom estado de conservação.



Foto 13. Maciço da segunda barragem e construções rurais no entorno.



Foto 14. Vegetação arbórea de grande porte a jusante do segundo reservatório.

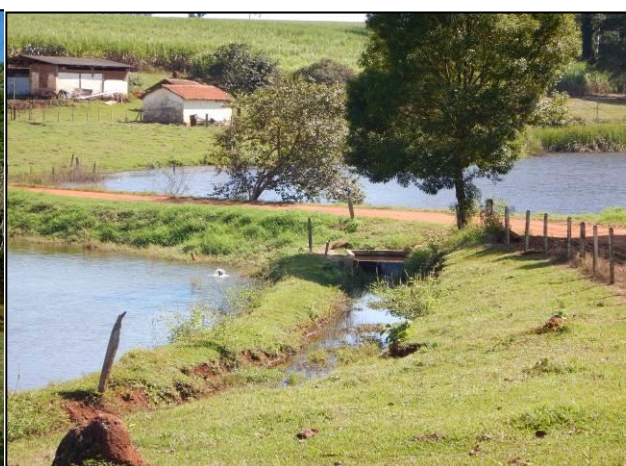


Foto 15. Vertedouro apresentando sinais de boa conservação.



Foto 16. Processos de erosão ao final do vertedouro.



Foto 17. Talude a jusante da segunda barragem, com vegetação de grande porte.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque.		
	Ficha nº. 5		
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek			Data: 13/07/2015
UTM: 256212 E / 7560550 N	Barragem nº: 222	Unidade Fisiográfica: VI	
Caracterização Geológica-Geotécnica: Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes, talus e colúvios associados.			

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☒ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☒ Até 1 m Abaixo do Maciço ☐ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☐ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☒ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções Rurais ☒ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa	☐ Monocultura Perene ☒ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☐ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude	☒ Erosão Moderada no Talude	☐ Erosão Intensa no Talude
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem	☐ Erosão Moderada na Margem	☐ Erosão Intensa na Margem
☐ Assoreamento Leve	☐ Assoreamento Moderado	☒ Assoreamento Intenso
No Entorno:		
☒ Erosão Leve	☐ Erosão Moderada	☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão
☐ Feições de Rastejo	☐ Feições de Escorregamentos	☐ Feições de Corrida de Massa
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
☐ Baixo ☒ Médio ☐ Alto	☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
O vertedouro foi mal dimensionado e apresenta assoreamento intenso. Há vegetação no maciço, com presença de bambu, devido a um possível controle de processos erosivos no talude a jusante. O relevo do entorno é bem suave (plano), devido à proximidade do divisor de águas. Há ocorrência de solo argiloso devido ao intemperismo diabásio. Não foi verificado processos de dinâmica superficial, existe uma outra barragem bem próxima da qual não foi possível ter acesso.		



Foto 18. Maciço apresentando falta de manutenção e presença de vegetação.



Foto 19. Reservatório com assoreamento intenso. presença de vegetação.



20. Vertedouro mal dimensionado com sinais de assoreamento intenso.



Foto 21. Vegetação de grande e bambu presentes no maciço.



Foto 22. Vista do relevo aplainado da Bacia do Ribeirão do Roque aplainado com ausência de morros.



Foto 23. Vista do relevo aplainado da Bacia do Ribeirão do Roque com presença de cuestas basálticas ao fundo.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 6	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 248920 E / 7560012 N	Barragem nº: 244	Unidade Fisiográfica: I
Caracterização Geológica-Geotécnica: Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☒ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☒ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☐ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☒ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções Rurais ☐ Mata Ciliar Estreita ☒ Sem Vegetação Arbórea ☐ Mata Ciliar Espessa	☐ Monocultura Perene ☒ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☐ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude ☐ Erosão Moderada no Talude ☒ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☒ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☒ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☐ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:	VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:	
☐ Baixo ☐ Médio ☒ Alto	☐ Baixo ☒ Médio ☐ Alto	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
O reservatório está localizado muito próximo da rodovia, podendo estar recebendo água do sistema pluvial da rodovia. O vale é um pouco mais encaixado, com encostas de perfil convexas na parte à montante. Não apresenta sinais de dinâmica superficial		



Foto 24. Maciço com falta de manutenção e apresentando vegetação arbórea em seu eixo.



Foto 25. Reservatório com ausência de vegetação arbórea no seu entorno.



Foto 26. Tubo de emergência presente na parte a jusante do reservatório.



Foto 27. Talude apresentando erosão intensa.



Foto 28. Vertedouro a jusante totalmente assoreado.



Foto 29. Talude apresentando alta declividade e erosão.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 7	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 248920 E / 7560012 N	Barragem nº: 11	Unidade Fisiográfica: VI
Caracterização Geológica-Geotécnica: : Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes, talus e colúvios associados.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
() Vertedouro de Fundo	() Bom Estado de Conservação	(X) Até 1 m Abaixo do Maciço
() Vertedouro de Topo	() Com Sinais de Erosão	() Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço
(X) Vertedouro de Topo "Lateral"	() Erosão Intensa	() Mais que 3 m Abaixo do Maciço
	() Vertedouro Rompido	
Maciço:		
(X) Largura até 5 m	(X) Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada	
() Largura de 5 m até 10 m	() Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva	
() Largura maior que 10 m	() Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):		No Entorno:
() Estrada Pavimentada / de Terra		() Monocultura Perene (X) Monocultura Sazonal
() Construções Rurais		(X) Mata () Área Urbana
(X) Mata Ciliar Estreita		() Solo Exposto (X) Pastagem
() Mata Ciliar Espessa		() Construções Rurais () Mineração
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
() Erosão Leve no Talude	() Erosão Moderada no Talude	() Erosão Intensa no Talude
No Reservatório:		
() Erosão Leve na Margem	() Erosão Moderada na Margem	() Erosão Intensa na Margem
(X) Assoreamento Leve	() Assoreamento Moderado	() Assoreamento Intenso
No Entorno:		
() Erosão Leve	() Erosão Moderada	() Erosão Intensa (X) Sem Erosão
() Feições de Rastejo	() Feições de Escorregamentos	() Feições de Corrida de Massa
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
(X) Baixo () Médio () Alto		(X) Baixo () Médio () Alto
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
O talude a jusante apresenta característica 1:1. O reservatório é de tamanho pequeno tendo seu entorno uma encosta de perfil convexo, sem sinais de dinâmica superficial. Há uma declividade alta, a jusante, após leito da drenagem.		

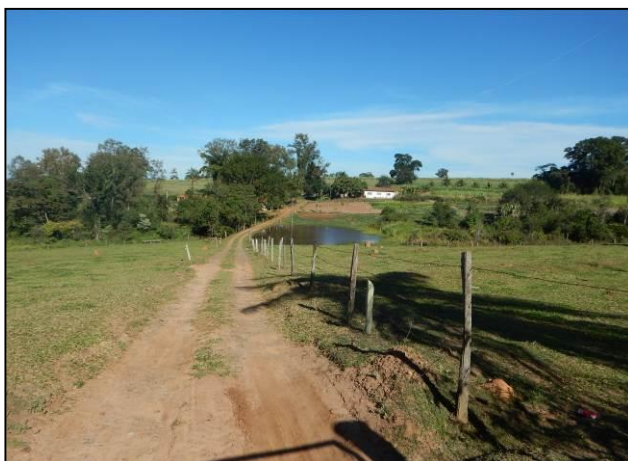


Foto 30. Maciço aparentemente apresentando bom estado de conservação.



Foto 31. Região a jusante do reservatório, com pastagem e mata.



Foto 32. Alta declividade a jusante do reservatório e vegetação arbórea de grande porte.



Foto 33. Mata ciliar estreita no entorno do reservatório.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 8	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 239100 E / 7558813 N	Barragem nº: 120	Unidade Fisiográfica: VI
Caracterização Geológica-Geotécnica: Diabásio em relevo de morrotes alinhados e encostas íngremes, talus e colúvios associados.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☐ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☒ Assoreado ☐ Vertedouro Rompido	☒ Até 1 m Abaixo do Maciço ☐ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☐ Largura até 5 m ☒ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☐ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☒ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens dos Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções Rurais ☒ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa	☐ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☒ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☒ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☒ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☐ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:	VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:	
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
A largura do maciço aumentou com a construção da estrada, já que a estrada é uma parte do maciço.		



Foto 34. Reservatório apresentando construções rurais no seu entorno.



Foto 35. Mata ciliar estreita nas margens do reservatório.



Foto 37. Maciço que foi aumentado devido à construção de uma estrada.

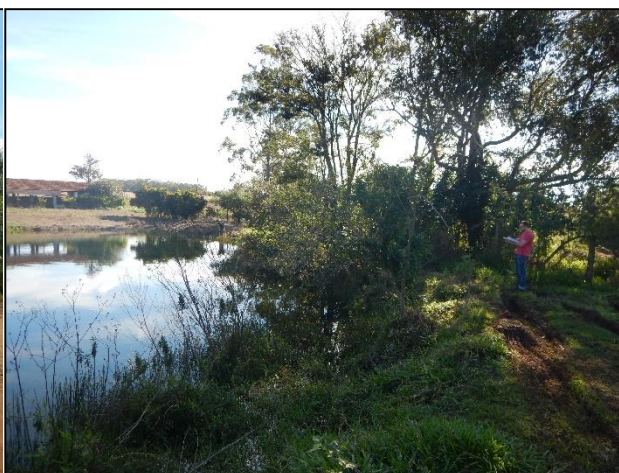


Foto 38. Reservatório apresentando leve assoreamento.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 9	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 24/07/2015
UTM: 238364 E / 7545927 N	Barragem nº: 98	Unidade Fisiográfica: VIII
Caracterização Geológica-Geotécnica: Arenitos e solos arenosos em relevo de meia encosta.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☒ Vertedouro de Topo ☐ Vertedouro "Lateral"	☒ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☒ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☐ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☒ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):		No Entorno:
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções de Captação do Município ☐ Mata Ciliar Estreita ☒ Sem Mata Ciliar ☐ Mata Ciliar Espessa		☒ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☒ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☐ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:		VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto		☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
O reservatório apresenta uma boa capacidade de armazenamento, ou seja, é uma barragem que foi construída de forma planejada. Possui plantações de eucaliptos em seu entorno e apresenta assoreamento no talude na parte a jusante.		



Foto 39. Vista do maciço em bom estado e com falta de manutenção.



Foto 40. Vista do entorno do reservatório (monocultura perene).



Foto 41. Vista do entorno do reservatório, sem mata ciliar.



Foto 42. Talude a jusante apresentando intenso assoreamento.



Foto 43. Reservatório com vertedouro de topo em bom estado.



Foto 44. Talude a jusante com vegetação de grande porte.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 10	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 24/07/2015
UTM: 238634 E / 7545914 N	Barragem nº: 97	Unidade Fisiográfica: VIII
Caracterização Geológica-Geotécnica: Arenitos e solos arenosos em relevo de meia encosta.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☐ Vertedouro de Topo "Lateral"	☐ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☐ Vertedouro Rompido	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☐ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☒ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☐ Largura maior que 10 m	☐ Conservado, Eixo com Grama ou Terra Compactada ☒ Rompido ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☐ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções de Captação do Município ☐ Mata Ciliar Estreita ☒ Sem Mata Ciliar ☐ Mata Ciliar Espessa	☒ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☐ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☒ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude a Jusante ☐ Erosão Moderada no Talude ☒ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☒ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☒ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☐ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:	VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:	
☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto ☒ Rompido	☐ Baixo ☐ Médio ☐ Alto ☒ Rompido	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
A barragem está rompida, leves sulcos erosivos no entorno.		



Foto 45. Vista do entorno da barragem que foi rompida com erosão leve.



Foto 46. Ausência de mata ciliar no local onde ficava o antigo reservatório.



Foto 47. Evidências de rompimento de barragem.



Foto 48. Assoreamento intenso no antigo reservatório.

	Avaliação da Suscetibilidade à Ocorrência de Escorregamentos nas Encostas Marginais de Barragens de Terra: Estudo de Caso na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Roque. Ficha nº. 11	
Equipe: Fábio Reis e Willian Derek		Data: 13/07/2015
UTM: 246776 E / 7550010 N	Barragem nº: 64	Unidade Fisiográfica: I
Caracterização Geológica-Geotécnica: Areias, cascalhos e argilas em planícies fluviais.		

CARACTERIZAÇÃO DA BARRAGEM		
Vertedouro:		Nível de Água em relação ao topo da barragem:
☐ Vertedouro de Fundo ☐ Vertedouro de Topo ☒ Vertedouro de Topo "Lateral"	☒ Bom Estado de Conservação ☐ Com Sinais de Erosão ☐ Erosão Intensa ☒ Não Foi Possível Observar	☐ Até 1 m Abaixo do Maciço ☒ Entre 1 m e 3 m Abaixo do Maciço ☐ Mais que 3 m Abaixo do Maciço
Maciço:		
☐ Largura até 5 m ☐ Largura de 5 m até 10 m ☒ Largura maior que 10 m	☒ Conservado, Asfaltado ☐ Com Pouca Manutenção, Eixo com Vegetação Arbustiva ☐ Sem Manutenção Nenhuma, Vegetação Arbórea no Eixo	
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO		
Nas Margens do Reservatórios (APPs):	No Entorno:	
☒ Estrada Pavimentada / de Terra ☐ Construções de Captação do Município ☐ Mata Ciliar Estreita ☐ Mata Ciliar Espessa	☐ Monocultura Perene ☐ Monocultura Sazonal ☐ Mata ☒ Área Urbana ☐ Solo Exposto ☐ Pastagem ☐ Construções Rurais ☐ Mineração	
PROCESSOS EROSIVOS E ESCORREGAMENTOS		
No Maciço:		
☐ Erosão Leve no Talude a Jusante ☐ Erosão Moderada no Talude ☐ Erosão Intensa no Talude		
No Reservatório:		
☐ Erosão Leve na Margem ☐ Erosão Moderada na Margem ☐ Erosão Intensa na Margem ☐ Assoreamento Leve ☐ Assoreamento Moderado ☐ Assoreamento Intenso		
No Entorno:		
☐ Erosão Leve ☐ Erosão Moderada ☐ Erosão Intensa ☒ Sem Erosão ☐ Feições de Rastejo ☐ Feições de Escorregamentos ☐ Feições de Corrida de Massa		
RISCO DE ROMPIMENTO DA BARRAGEM:	VULNERABILIDADE DA BARRAGEM:	
☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	☒ Baixo ☐ Médio ☐ Alto	
OUTRAS OBSERVAÇÕES:		
É o maior reservatório da bacia, foi projetado e é bastante conservado pois se encontra em uma área urbana. É situado em uma área de afloramento adiabásio e o talude a montante possui um enroncamento, para proteger de ondas, para que não ocorra erosão.		



Foto 49. Vista do reservatório com construções urbana no seu entorno.



Foto 50. Vertedouro de topo lateral em bom estado.



Foto 51. Enrocamento construído no reservatório funcionando como proteção contra a erosão das ondas.



Foto 52. Talude a jusante do reservatório, apresentando boa conservação.



Foto 53. Parte a jusante do reservatório, com vegetação de grande porte.



Foto 54. Obra de engenharia a jusante do reservatório.

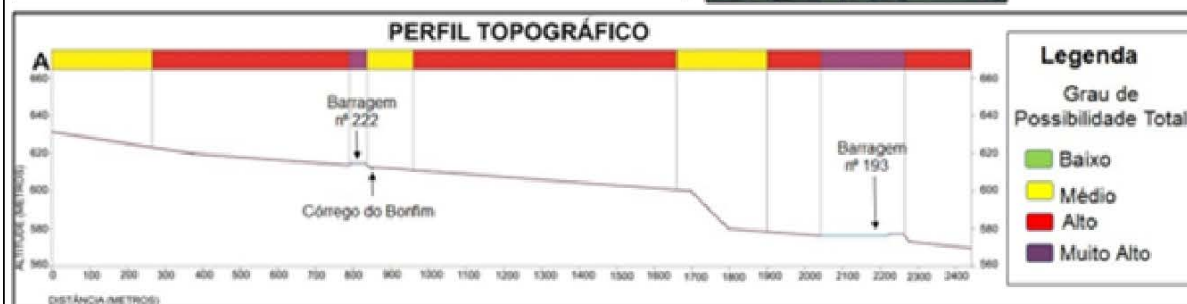
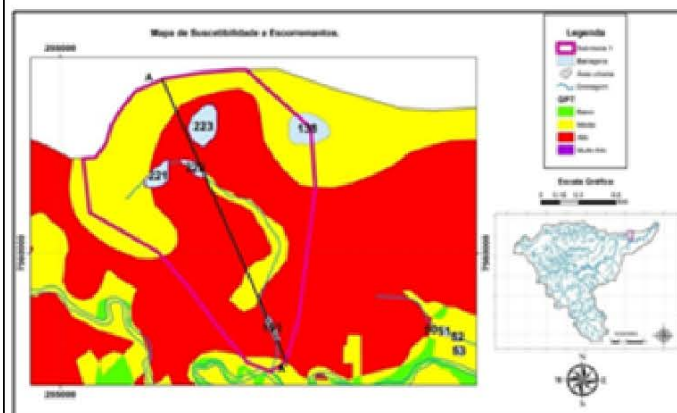
APÊNDICE 2

Ficha Padronizada dos Principais Trabalhos Acadêmicos Encontrados no Levantamento Bibliográfico

Título	Autores	Dados específicos	Local de disponibilidade	Classificação do trabalho quanto à contribuição
Movimentos de massa gravitacionais – Proposta de um sistema de previsão: Aplicação na área urbana de Campos do Jordão – SP	Ahrendt, A.	Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.	Eletrônico: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/td-e-06102006-090547/pt-br.php	Suscetibilidade a escorregamentos (fatores condicionantes).
Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS	Bonham-Carter, G. F	Ottawa: Pergamon, 1996. 398 p.	Eletrônico: https://www.researchgate.net/publication/44565572_Geographic_information_systems_for_geoscientists_modelling_with_GIS_Grame_F._Bonham-Carter	Avaliação de suscetibilidade à escorregamento.
Dam break threshold value and risk probability assessment for an earth dam	Denghua, Z.; Yuefeng, S.; Mingchao, L.	Natural Hazards, 2011, Volume 59, Number 1, p. 129-147	Eletrônico: http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11069-011-9743-6	Risco e vulnerabilidade de barragens.
Um programa de segurança de barragens no setor elétrico privatizado	Fusaro, T. C.	XXIII Seminário Nacional de Grandes Barragens, Belo Horizonte – MG, anais volume I – p. 45 – 56.	Eletrônico: http://www.cbdb.org.br/1-41/XXIII%20SEM IN%C3%81RIO%20NACIONAL%20DE%20GRANDES%20BARRAGENS%20Belo%20Horizonte%200%20MAR%C3%87O%20DE%201999/63	Classificação de riscos e vulnerabilidade de barragens.
Análise Determinística da Estabilidade de Vertentes na Bacia do Rio Marumbi – Serra do Mar – Paraná	Kozciak, S.	Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.	Eletrônico: http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/3877	Caracterização dos principais condicionantes aos escorregamentos.
Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives	ONU – Organização das Nações Unidas	Genebra – Suíça: Inter-agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), 2004. 398p.	Eletrônico: http://www.unisdr.org/files/657_lwr1.pdf	Métodos e critérios para definir vulnerabilidade e suscetibilidade de escorregamentos em barragens.
A geomorphic evaluation of the landslides around Dehradun and Mussoorie, Uttar Pradesh, India	Panikkar, S. V.; Subramanyan, V.	Geomorphology, v. 15, p. 169 – 181, 1996.	Eletrônico: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X9500121K?np=y	Suscetibilidade a escorregamentos (caracterização dos principais condicionantes).
B. GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras	Perotto-Baldiviezo, H. L.; Thurow, T. L.; Smith, C. T.; Fisher, R. F.; Wu, X. B.	Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 103, p. 165 – 176, 2004.	Eletrônico: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880903003931	Caracterização dos principais condicionantes aos escorregamentos.

APÊNDICE 3

Pranchas das Barragens das Sub-bacias da Bacia do Ribeirão do Roque

PRANCHA Nº 01 – BARRAGENS DA SUB-BACIA 1 DA BACIA DO RIBEIRAO DO ROQUE


Maciço em bom estado de conservação

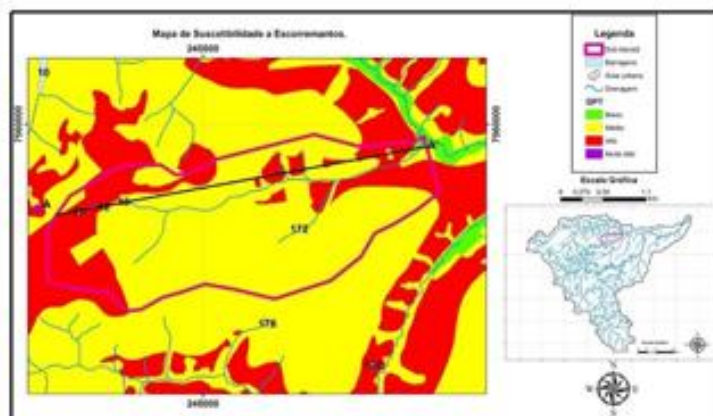


Construções no entorno

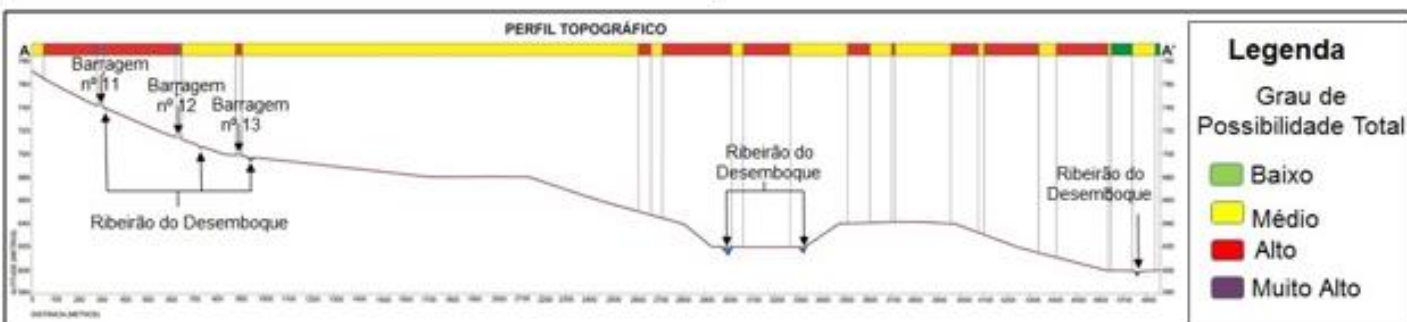
Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
138	III	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
193	VI	Relevo suave (convexo-retilíneo)	Cultura Sazonal	Ausentes	Barramento dividido em dois reservatórios, possui vertedouro de topo lateral em bom estado. Maciço conservado, eixo com grama e terra compactada.	Sem Outorga
221	VI	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
222	VI	Relevo suave (plano)	Cultura Sazonal	Ausentes	Possui vertedouro de topo lateral com sinais de erosão. Maciço sem manutenção, com vegetação arbórea no eixo.	Sem Outorga
223	VI	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga

* Não foi possível analisar.

PRANCHA Nº 02 – BARRAGENS DA SUB-BACIA 2 DA BACIA DO RIBEIRÃO DO ROQUE



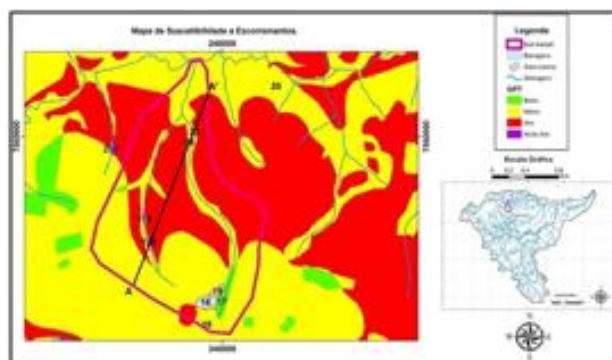
Maciço aparentemente em bom estado



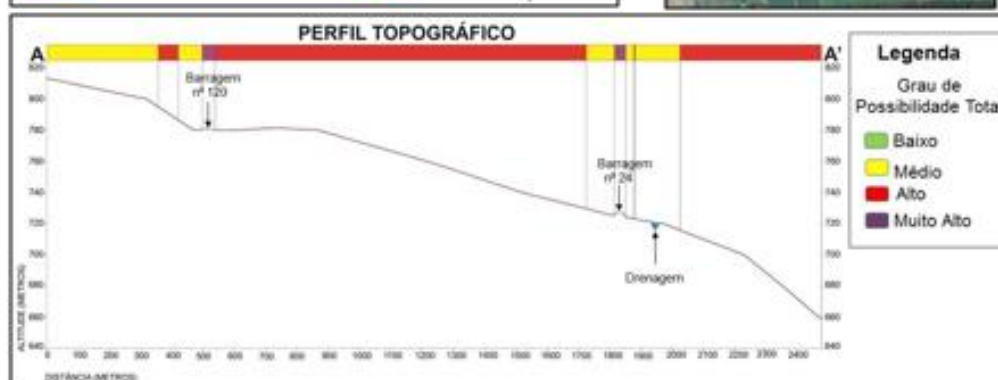
Alta declividade a jusante do reservatório

Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
11	VI	Perfil convexo	Cultura Sazonal e Pastagem	Ausentes	Reservatório de tamanho pequeno sem sinais de dinâmica superficial. Há uma declividade alta a jusante, após leito de drenagem.	Sem Outorga
12	VIII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
13	VIII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
172	VIII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga

*Não foi possível analisar.

PRANCHA Nº 03 – BARRAGENS DA SUB-BACIA 3 DA BACIA DO RIBEIRAO DO ROQUE


Construções no entorno

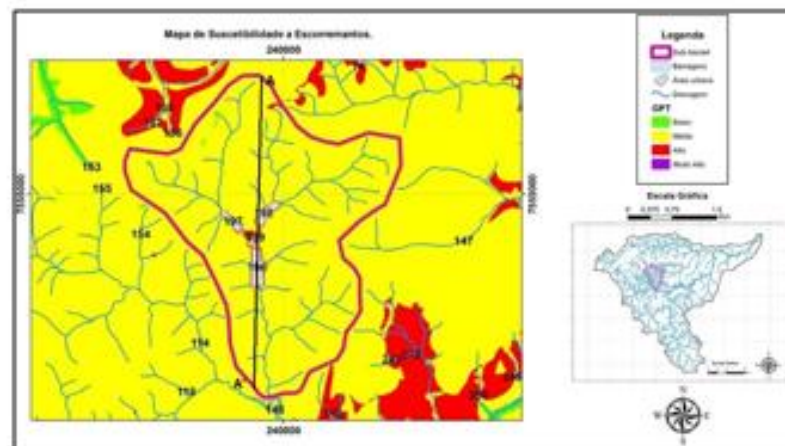


Mata ciliar estreita

Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
23	VIII	*	Mata	*	*	Sem Outorga
24	VIII	*	Mata	*	*	Sem Outorga
119	VIII	*	Mata	*	*	Sem Outorga
120	VIII	Relevo suave (plano)	Mata	Ausentes	A largura do maciço aumentou devido a construção da estrada, já que a estrada é uma parte do maciço.	Sem Outorga
19	VII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
18	VII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
17	VII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga
16	VII	*	Cultura Sazonal	*	*	Sem Outorga

*Não foi possível analisar.

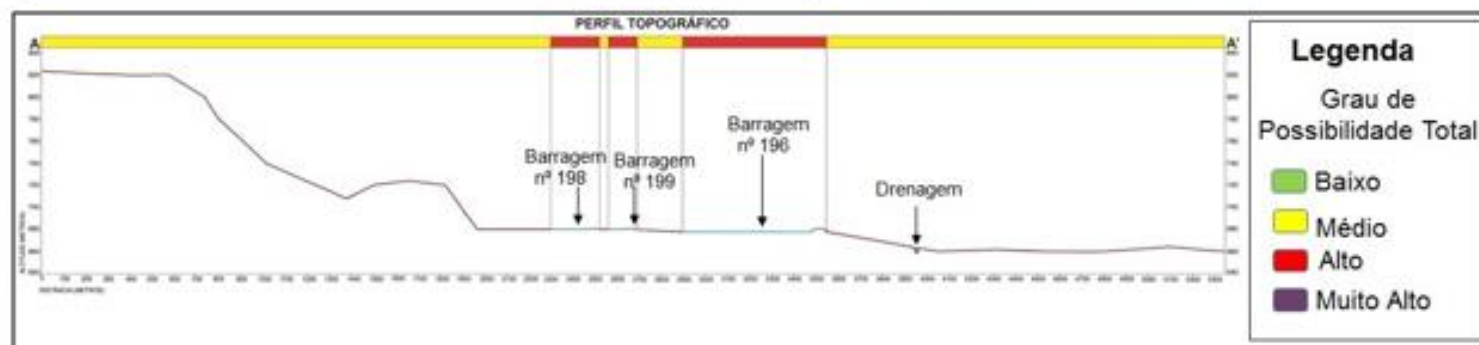
PRANCHA Nº 04 – BARRAGENS DA SUB-BACIA 4 DA BACIA DO RIBEIRAO DO ROQUE



Barragens em sequência.



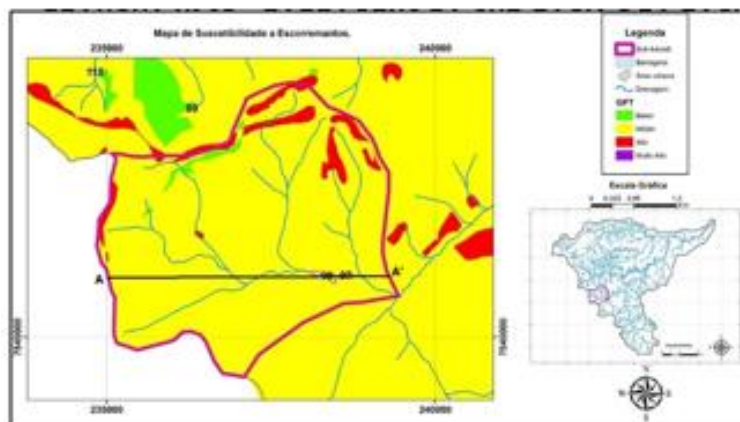
Barragens de grande porte.



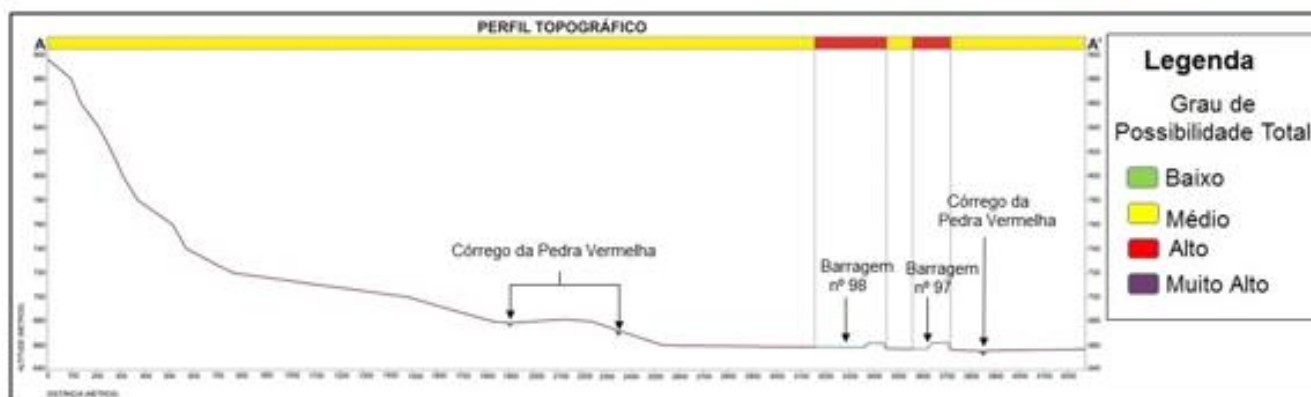
Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
199	VIII	*	Pastagem	*	*	Sem Outorga
198	VIII	*	Pastagem	*	*	Sem Outorga
197	VIII	*	Pastagem	*	*	Sem Outorga
196	VIII	*	Pastagem	*	*	Sem Outorga

*Não foi possível analisar

PRANCHA Nº 05 – BARRAGENS DA SUB-BACIA DO MONJOLO DA BACIA DO RIBEIRAO DO ROQUE



Maciço com falta de manutenção

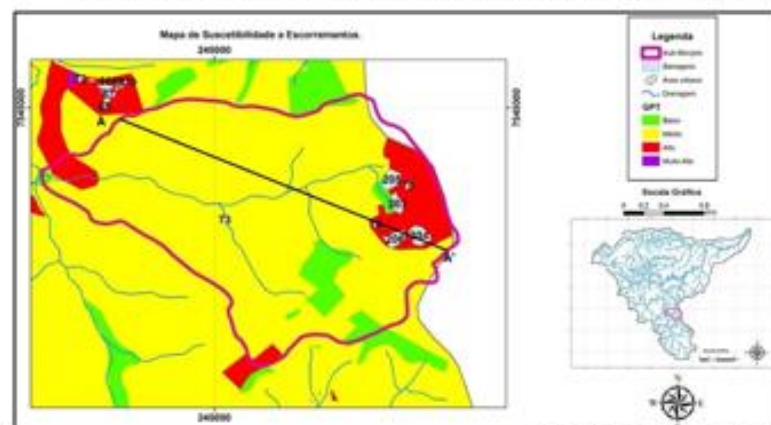


Vertedouro de topo em bom estado

Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
98	VIII	Perfil convexo	Campo Sujo	Ausentes	Reservatório com boa capacidade de armazenamento, barragem construída de forma planejada.	Sem Outorga
97	VIII	Perfil convexo	Cultura Sazonal	Presentes	Barragem rompida, leves sulcos erosivos no entorno.	Sem Outorga

*Não foi possível analisar

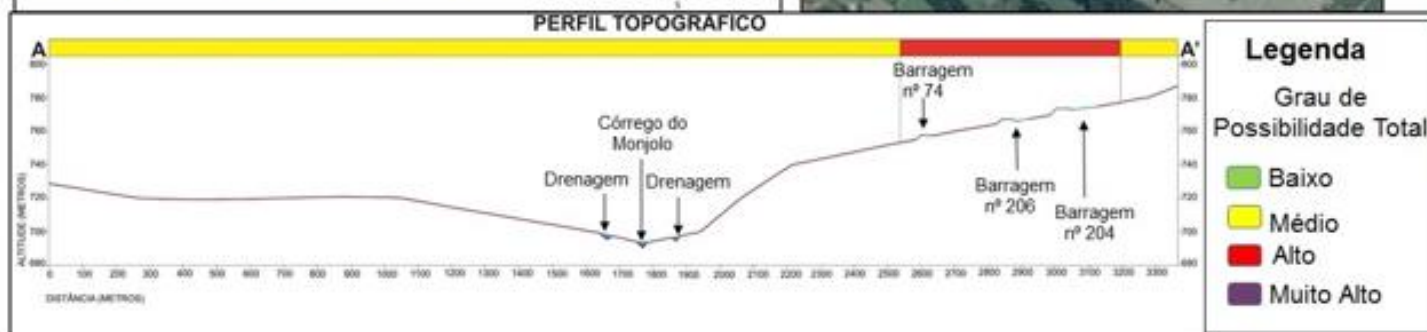
PRANCHA Nº 06 – BARRAGENS DA SUB-BACIA DO MONJOLO DA BACIA DO RIBEIRAO DO ROQUE



Maciço aparentemente em bom estado



Alta declividade a jusante do reservatório



Barragem nº	Unidade Fisiográfica	Relevo no Entorno	Uso e Ocup. Do Solo	Processos de Escorregamentos	Caracterização da Barragem	Situação da Outorga
208	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
205	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
204	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
203	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
75	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
74	III	*	Solo Exposto e Mineração	*	*	Sem Outorga
73	VIII	*	Mata	*	*	Sem Outorga

*Não foi possível analisar.

APÊNDICE 4

Cálculo da Vulnerabilidade de Cada Barragem Analisada em Campo

Barragem 11

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Não foi possível observar	1
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	9

Barragem 64

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem outorgada	1
Vertedouro	Em bom estado de conservação	1
Processos erosivos no maciço	Não apresenta	1
Mata ciliar	Ausente	3
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	> 50.000,00	3
	Soma:	10

Barragem 98

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Em bom estado de conservação	1
Processos erosivos no maciço	Não possui	1
Mata ciliar	Ausente	3
Vegetação no maciço	Arbustos	2
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	15.000,00 a 50.000,00	2
	Soma:	12

Barragem 120

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Estado mediano, com erosões leves	2
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Árvores	3
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	12

Barragem 129

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem outorgada	1
Vertedouro	Em bom estado de conservação	1
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	7

Barragem 133

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Estado mediano, com erosões leves	2
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Ausente	3
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	11

Barragem 134

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Não foi possível observar	1
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	9

Barragem 193

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Em bom estado de conservação	1
Processos erosivos no maciço	Erosão leve	1
Mata ciliar	Ausente	3
Vegetação no maciço	Com grama	1
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	10

Barragem 222

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Estado mediano, com erosões leves	2
Processos erosivos no maciço	Erosão mediana	2
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Árvores	3
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	13

Barragem 244

ATRIBUTOS	CLASSES	PESOS
Outorga	Barragem não outorgada	3
Vertedouro	Estado mediano, com erosões leves	2
Processos erosivos no maciço	Erosão intensa	3
Mata ciliar	Faixa estreita	2
Vegetação no maciço	Árvores	3
Área do Reservatório referente à lâmina d'água (m²)	< 15.000,00	1
	Soma:	14