

Trabalho de Formatura
Curso de Graduação em Geologia

**ANÁLISE MULTICRITERIAL PONDERADA NO ESTUDO DE SUSCETIBILIDADE
EROSIVA NO ENTORNO DE DUTOS; ESTUDO DE CASO: DUTO ORBEL, RIO DE
JANEIRO**

Yasmim Garcia da Silveira

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel (orientadora)

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

YASMIM GARCIA DA SILVEIRA

**ANÁLISE MULTICRITERIAL PONDERADA NO ESTUDO DE
SUSCETIBILIDADE EROSIVA NO ENTORNO DE DUTOS;
ESTUDO DE CASO: DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO**

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

Orientadora: Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Rio Claro - SP

551.302 Silveira, Yasmim Garcia da
S587a Análise multicriterial ponderada no estudo de suscetibilidade erosiva
no entorno de dutos : estudo de caso: Duto Orbel, Rio de Janeiro / Yasmim
Garcia da Silveira. - Rio Claro, 2015
55 f. : il., figs., gráfs., tabs., quadros, mapas + mapa

Trabalho de conclusão de curso (Geologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Orientador: Paulina Setti Riedel

1. Erosão. 2. Suscetibilidade erosiva. 3. Sensoriamento Remoto. 4.
Geoprocessamento. I. Título.

YASMIM GARCIA DA SILVEIRA

ANÁLISE MULTICRITERIAL PONDERADA NO ESTUDO DE
SUSCETIBILIDADE EROSIVA NO ENTORNO DE DUTOS;
ESTUDO DE CASO: DUTO ORBEL, RIO DE JANEIRO

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

Comissão Examinadora

Paulina Setti Riedel (orientadora)

Fábio Augusto Gomes Vieira Reis

Mateus Vidotti Ferreira

Rio Claro, _____ de dezembro de 2015.

Yasmim Garcia da Silveira

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

*Aos meus pais, Donizeti e Lila
e à minha irmã, Ynaiê.*

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à minha mãe, Lila, e ao meu pai, Donizeti, pelo incondicional apoio durante os cinco anos de universidade. Se não fosse pelos sacrifícios de vocês, jamais chegaria onde cheguei.

À minha irmã, Ynaiê, por estar sempre disposta a me ajudar nos momentos mais complicados. Aos meus tios José Arnaldo e José Olívio, pelo constante suporte desde a primeira viagem que fiz saindo de casa em direção à Rio Claro.

Agradeço às minhas amigas de infância, Helena, Nathália, Laura e Karina, por sempre me acolherem de braços abertos e serem as melhores amigas que alguém poderia ter. Helena, você tem o maior coração de todos. Nathália, você é a pessoa mais forte. Karina, você é a mais doce.

À professora Paulina agradeço por ser esse exemplo de mulher e de pessoa a ser seguido, uma inspiração. Muito obrigada por todos os conselhos, pela orientação e ensinamentos. Agradeço também à Darlene, técnica do Laboratório de Geoprocessamento, pela companhia sempre agradável nas horas de trabalho.

Agradeço aos meus queridos amigos de faculdade. Em especial Daniel, pelo constante apoio nos momentos de alegria ou crise, pela sinceridade e por ter sempre os melhores conselhos. Flávia, pela companhia sempre leve e confiável e por compartilhar comigo as melhores risadas. Melissa, pelo carinho, sinceridade e tardes de cinema e almoço juntas. Tatiana, que mesmo em outro continente continuou sendo uma grande amiga. E Thamiris, pela sensibilidade e companheirismo em todos os momentos e pelas conversas cheias de carinho.

Agradeço ao PRH – 05 (Programa de Recursos Humanos), da ANP e Petrobras, pelo suporte financeiro e cursos oferecidos.

Por fim, agradeço todos aqueles que, direta ou indiretamente, me ajudaram durante esses cinco anos de faculdade. Muito obrigada a todos!

*Minha vela queima nos dois lados
e não vai durar a noite inteira.
Mas ah, meus amigos, oh meus inimigos –
que luz adorável ela dá!*

(EDNA ST. VINCENT MILLAY)

RESUMO

Os dutos são condutos fechados destinados ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados ou gás natural. As extensas faixas dutoviárias integram as áreas de extração, beneficiamento, refinaria e consumo desses produtos. Atravessam diversos municípios com características físicas e socioeconômicas distintas. Portanto, o monitoramento dos dutos é de grande importância para a prevenção de acidentes em seu entorno e no estabelecimento de planos de contingência. O sensoriamento remoto é uma importante ferramenta para o supervisionamento de dutos, pois identifica as consequências deixadas por fenômenos naturais e possibilita analisar grandes dimensões territoriais em regulares períodos de tempo. O presente trabalho visa a produção de um mapa de suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos ao longo do duto ORBEL, localizado no Estado do Rio de Janeiro, abrangendo os municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias e Belford Roxo. Foram utilizadas imagens do sistema sensor GeoEye, cuja resolução espacial é de 0,5 m, referentes aos meses de novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010, período de chuvas de verão. As etapas de trabalho envolveram a caracterização da área de estudo e das feições erosivas existentes, como sulcos, ravinas, voçorocas, superpastejo e solapamento de margem de rio, por meio de fundamentação teórica; aplicação de técnicas de interpretação visual na extração das feições; elaboração de mapas temáticos relativos aos condicionantes das feições e, por fim, a elaboração do mapa de suscetibilidade erosiva. A partir da relação entre as feições erosivas extraídas e unidades litológicas, sistemas de relevo, classes pedológicas, uso e ocupação, tipos de vegetação, declividade e do mapa de suscetibilidade, apresentando na escala de 1:70.000, foi possível concluir que a declividade é o principal condicionante do processo, aliado secundariamente à forma de relevo, litologia, uso e ocupação, solo e vegetação.

Palavras-chave: Erosão. Dutos. Sensoriamento Remoto. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Pipelines are closed conduits for transport or transfer of oil and its derivatives and natural gas. The long lines of pipelines integrate the areas of extraction, processing, refining and consumption of these products. It crosses several municipalities with distinct physical and socioeconomic characteristics. Therefore, monitoring of pipelines has great importance for the prevention of accidents in your surroundings and establishing contingency plans. Remote sensing is an important tool for supervision of pipelines, as it identifies the consequences left by natural phenomena and enables analyze large territorial dimensions at regular periods of time. This work aims to produce a susceptibility map the occurrence of erosion along the Orbel pipeline, located in the state of Rio de Janeiro, covering the municipalities of Nova Iguaçu, Duque de Caxias and Belford Roxo. GeoEye sensor system images were used with spatial resolution of 0.5 m, from November/2009, January/2010 and March/2010, that are months of summer rains. The work involved the characterization of the study area and existing erosive features such as grooves, ravines, gullies, overgrazing and undermining the river bank, through theoretical grounding; application of visual interpretation techniques in the extraction of features; elaboration of thematic maps concerning the conditions of features and, finally, the development of erosive susceptibility map. From the relationship between the extracted erosive features and lithological units, relief systems, soil classes, use and occupancy, types of vegetation, slope and the susceptibility map, presented in 1:70,000 scale, it was possible to conclude that slope is the main determinant of the process, allied secondarily to relief system, lithology, use and occupancy, soil and vegetation.

Keywords: Erosion. Pipelines. Remote Sensing. Geoprocessing.

Lista de Figuras

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	8
Figura 2: Mapa litológico da área.....	11
Figura 3: Mapa de Sistemas de Relevo da área.....	14
Figura 4: Mapa Pedológico da área.....	16
Figura 5: Mapa de Tipos de Vegetação Natural da área.....	18
Figura 6: Mapa de Uso e Ocupação.....	19
Figura 7: Mapa de Declividade.....	21
Figura 8: Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias.....	23
Figura 9: Desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva.....	27
Figura 10: Tipos de erosão descritos.....	29
Figura 11: Fluxograma das etapas de trabalho.....	37
Figura 12: Feições erosivas lineares e superpastejo extraídas na imagem GeoEye.....	41
Figura 13: Gráfico relacionando unidades litológicas e as porcentagens de feições.....	42
Figura 14: Gráfico relacionando sistemas de relevo e as porcentagens de feições.....	43
Figura 15: Gráfico associando classes pedológicas e as porcentagens de feições.....	44
Figura 16: Gráfico relacionando classes de uso e ocupação e porcentagens de feições.....	45
Figura 17: Gráfico relacionando os tipos de vegetação com as porcentagens das feições....	46
Figura 18: Gráfico relacionando classes de declividade com as porcentagens das feições...47	
Figura 19: Gráfico relacionando as classes de suscetibilidade e quantidade de feições erosivas.....	48

Lista de Tabelas

Tabela 1: Atributos técnicos do sistema sensor GeoEye.....	35
Tabela 2: Atributos técnicos das imagens GeoEye obtidas.....	35
Tabela 3: Mapas e cartas utilizados para compor o banco de dados.....	36
Tabela 4: Atribuição de pesos dos condicionantes físicos.....	40
Tabela 5: Quantidade de feições extraídas no período de estudo.....	41

Lista de Quadros

Quadro 1: Unidades litológicas presentes na área de estudo.....	9
Quadro 2: Sistemas de relevo presentes na área de estudo.....	12
Quadro 3: Classes pedológicas presentes na área de estudo.....	15
Quadro 4: Tipos de vegetação presentes na área de estudo.....	17
Quadro 5: Fatores naturais que controlam o fenômeno de erosão e seus atributos.....	25
Quadro 6: Tipos de erosão hídrica linear.....	27
Quadro 7: Diferentes aplicações das geotecnologias na gestão de riscos.....	30

Lista de Siglas e Abreviaturas

AID	Área de Influência Direta
AII	Área de Influência Indireta
AIV	Área de Influência Variável
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMPRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GASBEL	Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
GASPAL	Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
ORBEL	Oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte
OSRIO	Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S.A.
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UTM	Universal Transversal de Mercator
WGS	World Geodetic System (Sistema Geodésico Global)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVO.....	6
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	7
3.1 Localização da área.....	7
3.2 Geologia.....	8
3.2.1 Contexto Geológico Regional.....	8
3.2.2.Contexto Geológico Local.....	9
3.3 Sistemas de Relevo.....	12
3.4 Pedologia.....	15
3.5 Vegetação.....	17
3.6 Uso e Ocupação.....	19
3.7 Declividade.....	20
3.8 Clima.....	22
3.9 Hidrografia.....	23
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
4.1 Erosão.....	24
4.1.1 Fatores Naturais da Erosão.....	25
4.1.2 Tipos de Erosão.....	26
4.1.3 Áreas de Superpastejo.....	28
4.2 Geoprocessamento.....	29
4.2.1 Sensoriamento Remoto.....	31
4.2.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	32
4.3 Suscetibilidade a erosão linear por meio da Análise Multicriterial Ponderada.....	33
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
5.1 Materiais.....	35
5.2 Métodos.....	36
5.2.1 Revisão bibliográfica.....	37
5.2.2 Aquisição e organização dos dados.....	39

5.2.3 Processamento das imagens.....	38
5.2.4 Extração das informações nas imagens.....	38
5.2.5 Cruzamento das informações por meio da Análise Multicriterial Ponderada.....	39
5.2.6 Análise dos resultados e conclusão.....	40

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....41

6.1 Análise da extração de feições erosivas lineares e superpastejo.....	41
6.2 Influência do Superpastejo.....	42
6.3 Relação entre as feições erosivas e seus condicionantes.....	42
6.3.1 Litologia.....	42
6.3.2 Sistemas de Relevo.....	43
6.3.3 Classes Pedológicas.....	44
6.3.4 Uso e Ocupação.....	45
6.3.5 Tipo de Vegetação.....	46
6.3.6 Declividade.....	47
6.3.7 Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares.....	47

7. CONCLUSÕES.....49

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....50

APÊNDICES

- Apêndice I – Mapa de unidades litológicas e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice II – Mapa de sistemas de relevo e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice III – Mapa de unidades pedológicas e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice IV – Mapa de uso e ocupação e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice V – Mapa de tipos de vegetação natural e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice VI – Mapa de declividade e feições erosivas lineares e de superpastejo
- Apêndice VII – Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares

1. INTRODUÇÃO

O petróleo é a principal fonte de energia não renovável do mundo. É formado por uma complexa combinação de hidrocarbonetos alifáticos, alicíclicos e aromáticos. A partir de um processo de destilação fracionada, é possível extrair dele produtos como gasolina, óleo diesel, querosene, nafta petroquímica, lubrificantes, solventes, entre outros. O transporte desses materiais, desde a plataforma de extração até as refinarias, e posteriormente aos centros consumidores, é realizado por meio de ferrovias, rodovias e, principalmente, por malhas dutoviárias.

Os dutos, segundo a portaria nº 125 da ANP de 2002, definem-se de modo geral como condutos fechados destinados ao transporte ou transferência de petróleo e seus derivados ou gás natural. Os sistemas dutoviários contribuem para o transporte do petróleo e seus derivados, gás natural, produtos químicos e álcool, acelerando o escoamento dessas produções em países com grandes dimensões continentais como o Brasil.

As extensas faixas de dutos integram as áreas de extração, beneficiamento, refinaria e consumo desses produtos, atravessando diversos municípios e Estados com características distintas quanto aos aspectos físicos e socioeconômicos (TERZIAN, 2005). Deste modo, é indispensável o monitoramento das atividades antrópicas e dos processos naturais no entorno dos dutos, averiguando constantemente o funcionamento do sistema dutoviário, a fim de proteger a integridade dos dutos e do ambiente no qual se inserem.

O monitoramento dos riscos ao duto relacionados a atividades antrópicas engloba o uso e ocupação do solo, pois o homem possui grande capacidade de transformação do meio em que vive. A interferência humana na evolução natural tem acelerado os diversos fenômenos naturais, causando um desequilíbrio nas condições naturais, de forma que a taxa de erosão supera a taxa de recuperação do sistema.

Em relação às atividades relacionadas ao meio ambiente, o controle de feições erosivas como sulcos, ravinas, voçorocas e solapamento de margem de rio é bastante complexo. Exige estudos multidisciplinares, como sobre geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e clima de toda a região atravessada pelo duto. A análise desses aspectos vai indicar a propensão natural do meio à ocorrência de feições erosivas.

Procedimentos estratégicos de controle e intervenção em caso de acidentes também devem considerar aspectos técnicos, como controle de vazão, pressão, temperatura, densidade do produto transportado, e aspectos físicos do duto, como corrosão.

A aplicação das técnicas de sensoriamento remoto se mostra fundamental no diagnóstico e monitoramento do processo de uso e ocupação e na detecção das consequências deixadas pelos fenômenos naturais. Essas técnicas são aplicadas tanto na delimitação de zonas do terreno com informações geológico-geotécnicas semelhantes, como na identificação e caracterização de feições como erosões lineares. Para tal, serão utilizadas as obras de Ferreira (2009), Florenzano (2002), Jensen (1996), Mather (1987), Moreira (2005), Novo (2008), Schott (1997) e Weill & Pires Neto (2007).

O processo de detecção de mudanças a partir da aplicação de produtos do sensoriamento remoto possibilita analisar grandes extensões de áreas em regulares períodos de tempo, o que viabiliza o monitoramento da evolução de processos dinâmicos e permite a obtenção de informações espaciais e temporais sobre os diferentes alvos da superfície através de imagens de alta resolução espacial.

A identificação de feições equivalentes a erosões lineares se faz comumente pela interpretação visual de imagens, por meio de critérios como cor, forma, ausência de vegetação, entre outros. As imagens de alta resolução ou fotos aéreas são normalmente utilizadas nesta etapa.

Estas imagens são obtidas por sensores orbitais que possuem capacidade de identificação de objetos de pequena dimensão, como exemplo destes sistemas sensores pode-se citar: GeoEye, RapidEye, Ikonos, Quickbird, Eros e Worldview.

Este trabalho está direcionado ao estudo de um trecho do duto ORBEL, que interliga os Estados do Rio de Janeiro e Belo Horizonte. Esse trecho abrange parte dos municípios de Nova Iguaçu, Duque de Caxias e Belford Roxo, na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro. A faixa de dutos ORBEL atravessa 27 municípios, sendo 6 municípios no Estado do Rio de Janeiro e 21 municípios no Estado de Minas Gerais. Com uma extensão aproximada de 363,9 km, estende-se desde o município de Duque de Caxias (RJ) até Betim (MG).

A análise das condições do meio físico é de grande importância para o setor de transporte petroquímico, pois a instalação de dutos em locais naturalmente suscetíveis a ocorrência de feições erosivas pode agravar a ocorrência de tais fenômenos. A ocorrência destes processos no entorno dos dutos pode comprometer sua estrutura, ocasionando acidentes com vazamentos. Esses acidentes podem causar impactos negativos tanto no meio ambiente quanto social.

O conceito de suscetibilidade, de acordo com Zêzere *et al.* (2004), pode ser entendido como a possibilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área com base em fatores condicionantes do terreno, independentemente do seu período de

recorrência". O termo „risco“ erroneamente costuma ser utilizado para indicar suscetibilidade, porém, o risco de ocorrência de um determinado fenômeno está relacionado a sua possibilidade temporal (ZÊZERE *et al.* 2004).

Os dutos recebem diferentes designações, sendo classificados de acordo com o material que transportam. Dessa forma, podem ser oleodutos (petróleo, gasolina, óleo diesel, etc), gasodutos (gás natural), minerodutos (sal-gema, minério de ferro, etc), aquadutos (água, esgoto, etc) ou ainda polidutos, quando transportam mais de um tipo de material. Podem ser de transporte ou de transferência. Os dutos de transporte levam produtos a grandes distâncias, enquanto os dutos de transferência levam os produtos a pequenas distâncias, geralmente dentro de uma mesma planta de refinaria ou indústria.

Segundo sua forma de construção, os dutos podem ser terrestres, aéreos ou submarinos. Os terrestres podem ser subterrâneos, enterrados no solo e protegidos das intempéries ou vandalismo; ou aparentes, comuns na chegada ou saída das estações de bombeio, carregamento e descarregamento. Os dutos aéreos estão acima do solo e são recursos utilizados quando é necessário atravessar grandes vales, terrenos acidentados, entre outros. Nos dutos submarinos, a tubulação está emersa no fundo do mar, sendo utilizados principalmente para transporte de petróleo de plataformas de extração *offshore* até o continente.

As faixas dutoviárias são obras lineares e superficiais, envolvendo apenas o horizonte de solo. Podem percorrer grandes distâncias, tornando-se um artifício oportuno para um país de grande extensão territorial como o Brasil (Nogueira-Junior & Marques, 1998). No entanto, por atravessarem amplas distâncias e cruzarem contextos morfológicos e geológicos distintos, podem ser submetidos a diferentes tipos de processos do meio físico e antrópico.

As atividades dutoviárias no Brasil iniciaram na década de 40, com a criação da Petrobras, que deteve o monopólio da exploração de petróleo no país até 1997 e contribuiu para a construção da maior parte da malha dutoviária do país (FOGLIATTI *et al.* 2004).

Em 2013, o Brasil contava com 601 dutos destinados à movimentação de petróleo e seus derivados, gás natural e outros produtos, perfazendo 19,7 mil km. Destes, 150 dutos (14,3 mil km) eram destinados ao transporte, enquanto 451 (5,4 mil km) à transferência. Os oleodutos somavam 110 dutos, com 11,7 mil km de extensão. 422 dutos, totalizando 5,9 mil km, movimentavam derivados de petróleo, e outros 32, com quase 2 mil km, movimentavam petróleo. A movimentação dos demais produtos, como etanol e solventes, era feita por 37 dutos, num total de 76 km (ANP, 2014).

A empresa subsidiária da Petrobras, a Petrobras Transporte S.A. – Transpetro, está a cargo de grande parte das atividades de transporte e armazenamento de petróleo e seus derivados, gás natural e biocombustível. A Transpetro é responsável por uma rede dutoviária de transporte com mais de 11 mil km de dutos, juntamente com os terminais e a frota de navios petroleiros.

Os dutos correlacionam a exploração, o refino e o escoamento dos produtos, interligando todo o sistema Petrobras. Os oleodutos são os meios mais utilizados para transportar o petróleo e seus derivados para os grandes centros consumidores e para o abastecimento das refinarias (TRANSPETRO, 2012).

As instalações dos dutos e de refinamento estão localizadas, em sua maior parte, próximos ao litoral onde estão os portos e o maior contingente populacional, nos grandes centros consumidores e nas regiões de exploração (FERREIRA, 2009).

A faixa de dutos Rio – Belo Horizonte se inicia no município de Duque de Caxias – RJ e termina no de Belo Horizonte – MG. Em Duque de Caxias, esta faixa é compartilhada com o Poliduto Rio – Belo Horizonte I (ORBEL I), Oleoduto Rio – Belo Horizonte II (ORBEL II), Gasoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte (GASBEL), Oleoduto São Paulo – Rio de Janeiro (OSRIO) e com o Gasoduto Rio de Janeiro – São Paulo (GASPAL).

Em 1968 foi inaugurado o oleoduto ORBEL I, com cerca de 362 km de extensão, interligando o Terminal Campos Elíseos ou a Refinaria Duque de Caxias (REDUC), no Estado do Rio de Janeiro, à Refinaria Gabriel Passos (REGAP), na cidade de Betim, no Estado de Minas Gerais. Em 1980 o oleoduto ORBEL II iniciou sua operação, com cerca de 358 km de extensão. Segundo Terzian (2005), os dutos ORBEL I e ORBEL II são responsáveis pelo transporte de petróleo bruto e seus derivados como gasolina, diesel, nafta, dentre outros.

Ao longo dos dutos existe uma faixa de segurança sinalizada, chamada de faixa de servidão. Possui uma largura de 20 m e possui a finalidade de instalar, proteger, delimitar e identificar os locais onde estão instalados os dutos.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da resolução 01/86, art. 5º, estabelece a área de influência direta e indireta para estudos ambientais e empreendimentos geradores de impactos, como os dutos. Dessa forma, os relatórios ambientais dos dutos propõem uma Área de Influência Direta (AID) de 400 m para cada lado do duto, e uma Área de Influência Indireta (AII) de 5 km para cada lado do duto.

A AID está sujeita aos impactos diretos da operação do duto, compreendendo também a faixa de servidão e a área não edificante, sendo utilizada para estudos de risco geotécnico.

Por sua vez, a AII considera os riscos potenciais em relação ao duto, sendo utilizada para estudos do meio físico e biótico. Uma terceira área, chamada Área de Influência Variável (AIV), considera características peculiares de distribuição espacial para o meio antrópico, englobando a área total de todos os municípios interceptados pela AII (FERREIRA, 2009).

De acordo com Ferreira (2009), os oleodutos ORBEL I e ORBEL II registram apenas um acidente cada envolvendo vazamentos. Em 1984 ocorreu o vazamento de nafta no ORBEL I, no município de Miguel Pereira – RJ. Já em 2005, petróleo vazou no oleoduto ORBEL II, no município de Santos Dumont – MG. Um incidente sem vazamento ocorreu em 2009, no município de Duque de Caxias, quando um matacão caiu sobre o duto ORBEL II, danificando a tubulação e necessitando de paralisação para reparos.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a ocorrência de processos erosivos, como sulcos, ravinas, voçorocas e solapamento de margem de rio, para produzir um mapa de suscetibilidade da área à ocorrência desses fenômenos naturais, por meio de uma abordagem multicriterial ponderada. Geotecnologias como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Integradas (SIGs) serão aplicadas ao longo da área de estudo previamente definida, por meio da utilização de imagens do sistema sensor GeoEye. Serão analisadas as relações entre as ocorrências de erosões lineares com alguns de seus vários condicionantes naturais e antrópicos, como litologia, sistemas de relevo, classes pedológicas, uso e ocupação, cobertura vegetal e declividade.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização da área

A área de estudo está localizada na região Sudeste, no Estado do Rio de Janeiro e compreende um trecho do duto ORBEL (Figura 1). Abrange parte dos municípios de Duque de Caxias, Belford Roxo e Nova Iguaçu. Compreende 18,5 km de extensão e 5,76 km de largura, num total de 106,6 km².

Os três municípios abarcados na área de estudo pertencem à Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Devido à proximidade com a capital do Estado, a dinâmica socioeconômica desses municípios é acelerada, apresentando importantes parques industriais e expressivo contingente populacional.

O município de Nova Iguaçu pertence à mesorregião metropolitana do Rio de Janeiro e à microrregião de Vassouras. Conta com uma população de 796.257 habitantes e sua densidade demográfica é de 1.527 habitantes por km² (IBGE, 2010). Está integrado aos sistema ferroviário e viário da capital e destaca-se pela fabricação industrial de alimentos, artefatos de ferro, aço e não ferrosos.

Duque de Caxias pertence à masorregião e à microrregião metropolitana de Rio de Janeiro. Possui 855.048 habitantes, cuja densidade demográfica corresponde a 1.828 habitantes por km² (IBGE, 2010). Também se integra aos sistemas ferroviário e viário da capital do Estado. Encontram-se bastante desenvolvidas as indústrias alimentícia, petroquímica e de fabricação de artefatos de cimento e fibrocimento para construção civil.

Belford Roxo também pertence à masorregião e à microrregião metropolitana de Rio de Janeiro. De acordo com os dados do censo (IBGE, 2010), compreende uma população com 469.332 habitantes e sua densidade demográfica é de 6.031 habitantes por km². Assim como os municípios limítrofes, apresenta indústrias de fabricação de cimento e fibrocimento bem desenvolvidas e potencial para desenvolvimento petroquímico. Possui, ainda, tradição na fabricação de móveis e material elétrico leve.

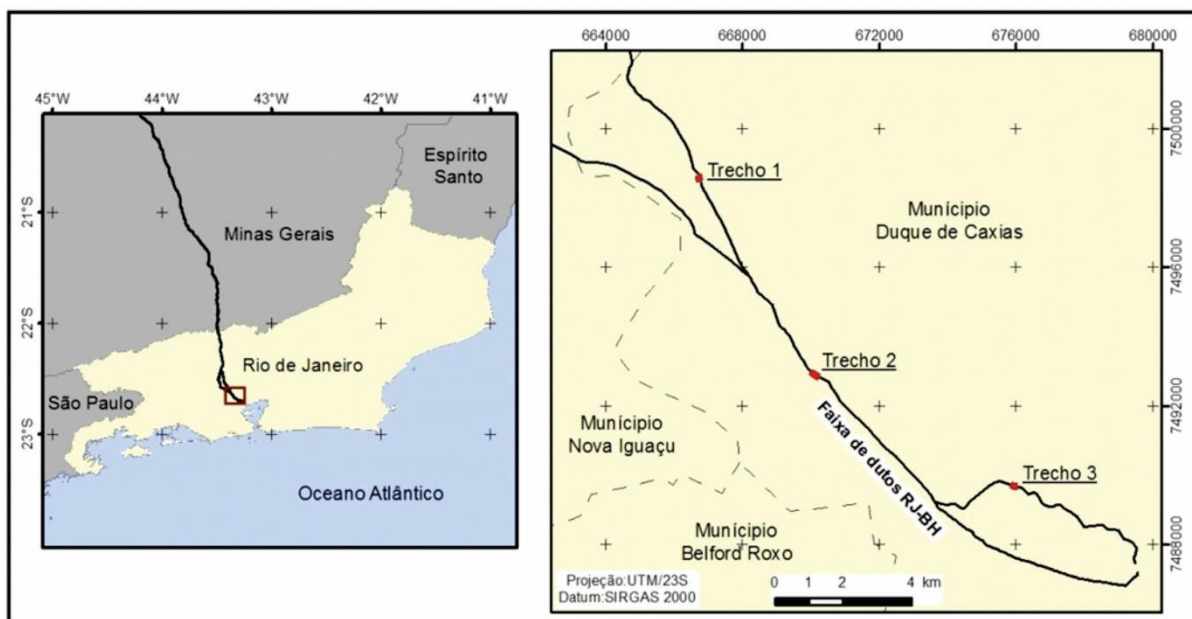


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

3.2 Geologia

3.2.1 Contexto Geológico Regional

O Estado do Rio de Janeiro está inserido no domínio geotectônico Província Estrutural da Mantiqueira. De acordo com Heilbron *et al.* (2004), a Província Mantiqueira abrange uma área com cerca de 700.000 km² ao longo da costa do Atlântico Sul, do sul da Bahia ao Uruguai, compondo uma faixa NE-SW com mais de 3.000 km de extensão. É limitada pelas províncias São Francisco, Tocantins, Paraná, Costeira e por bacias da margem continental a leste, sendo Espírito Santo, Santos, Pelotas e Campos

A Província Mantiqueira constitui-se, principalmente, por rochas pré-silurianas deformadas e metamorfasadas durante o Ciclo Brasileiro, caracterizado por compressões, cisalhamento transcorrente, alto grau metamórfico, fusão parcial, rochas crustais e granitogênese (ALMEIDA *et al.* 1977).

Brito Neves & Cordani (1991) destacam que diversos “terrenos neoproterozoicos indiferenciados, microplacas ou microcontinentes” foram retrabalhados durante o Ciclo Brasileiro, mas ainda preservando crosta ensialica de idade arqueana e paleoproterozoica.

Fonseca *et al.* (1998) dividiu a Província Mantiqueira estruturalmente em três grandes blocos crustais de direção NE-SW: Cabo Frio, Serra dos Órgãos e das Zonas de Cisalhamento.

Rochas metamórficas com idade de 500 milhões até cerca de 2 bilhões de anos compõem as litologias dominantes no Estado do Rio de Janeiro. São representadas por ortognaisses, paragnaisses e metassedimentos (e.g. mármore).

Ocorrem, ainda, rochas alcalinas de 70 a 40 milhões de anos, rochas graníticas de cerca de 500 milhões de anos e rochas e diques básicos ligados à abertura do Oceano Atlântico (MANSUR *et al.* 2005).

Sedimentos Quaternários, compostos por turfas, lamas, areias, cascalhos e conglomerados, são encontrados em vales de rios, próximo a lagoas e ao litoral. Processos fluviais e marinhos depositaram os Sedimentos Terciários, formando as bacias de Campos, Resende e Itaboraí.

3.2.2.Contexto Geológico Local

Estão presentes quatro unidades litológicas na área de estudo, descritas no Quadro 1 seguir. A Figura 2 apresenta a distribuição dessas unidades no Mapa Litológico.

Quadro 1: Unidades litológicas presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Unidades Litológicas	Descrição
Santo Aleixo	Integra marginalmente o batólito Serra dos Órgãos. É composta por granitóides neoproterozóicos, sendo constituída principalmente por granada-hornblenda-biotita granodiorito, rico em xenólitos de paragnaisse.
Serra dos Órgãos	Batólito granítico do Neoproterozoico, com forma alongada de direção NE-SW. Apresenta 140 km de comprimento por 20 km de largura média. Nas bordas oeste e sul, este batólito é envolvido por ortognaisses do Complexo Rio Negro, no qual é intrusivo, e na borda norte pelo Leucogranito Gnaiss Serra do Paquequer. Na porção nordeste é intrusivo nos paragnaisses do Complexo Paraíba do Sul. É composto por hornblenda-biotita granitóide de granulação grossa e de composição tonalítica a granítica e calcio-alcalina. Enclaves de paleodiques anfíbolíticos

	podem ser observados localmente.
Suíte do Tinguá	Maciço alcalino de idade cretácica/terciária, originado durante o evento magmático relacionado à Reativação Wealdeniana na Província da Serra do Mar. É composta por rochas alcalinas, constituídas principalmente por nefelinas sienitos, fonólitos e brechas. É restrita a uma pequena porção da área de estudo.
Depósitos Flúvio – Lagunares	De idade cenozoica/quaternária, esses depósitos estão relacionados à progradação fluvial em meio a um ambiente transicional a marinho raso, devido a variações climáticas e/ou glácio-eustáticas. Em sua composição estão: argila rica em matéria orgânica, concentrações localizadas de diatomita e turfas, e localmente há a presença de depósitos conchíferos.

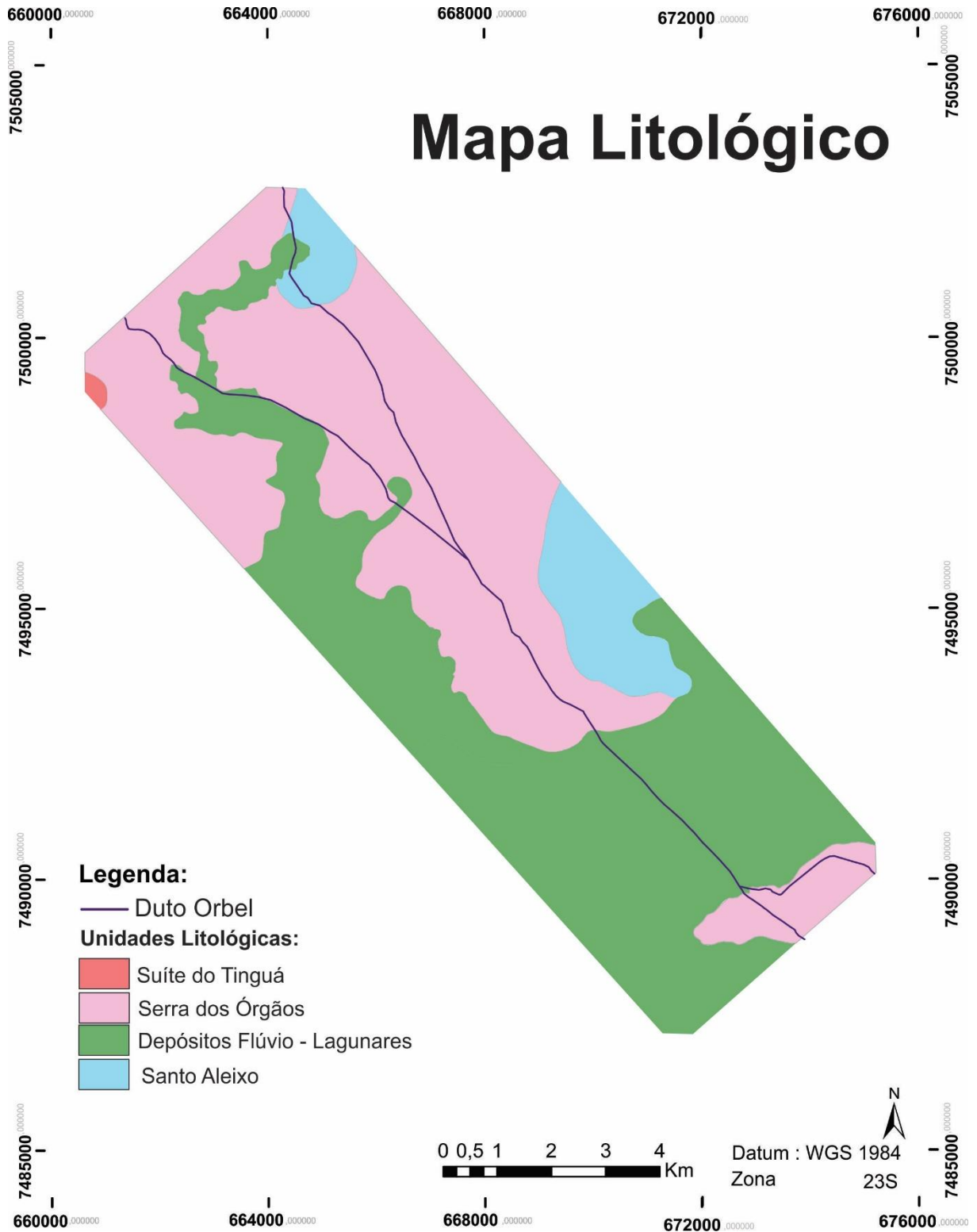


Figura 2: Mapa litológico da área. Fonte: adaptado de CPRM (2000).

3.3 Sistemas de Relevo

A geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro é caracterizada pela alternância de grandes escarpas com depressões. As superfícies de erosão são notáveis, podendo ser basculadas e fragmentadas pela tectônica mesocenozoica (CPRM, 2000).

Conforme apresentado no Quadro 2, a área de estudo apresenta cinco sistemas de relevo, divididos com base na caracterização dos atributos físicos que compõem as áreas adjacentes. A Figura 3 apresenta o Mapa de Sistemas de Relevo da área.

Quadro 2: Sistemas de relevo presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Sistemas de Relevo	Descrição
Colinas Isoladas	Constituído por formas de relevo residuais, cujas vertentes são convexas e os topos são arredondados ou alongados. Apresenta sedimentação de colúvios, remanescentes do afogamento generalizado do relevo produzido pela sedimentação flúvio-marinha que caracteriza as baixadas litorâneas. A densidade de drenagem é muito baixa e com padrão dendrítico, e no fundo dos vales afogados a drenagem é imperfeita. As amplitudes topográficas são, em geral, inferiores a 100 metros.
Domínio de Colinas Dissecadas, Morrotes e Morros Baixos	É classificado como relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas. As Colinas Dissecadas possuem vertentes convexas a côncavas e topos arredondados e/ou alongados. Os Morrotes e Morros Baixos apresentam vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados, com sedimentação de colúvios e alúvios. A densidade de drenagem é média a alta, com padrão variável, de dendrítico a treliça ou retangular. As amplitudes topográficas estão entre 100 e 200 metros.
	Relevo montanhoso e extremamente acidentado, classificado como relevo de degradação em áreas montanhosas. As vertentes são retilíneas a côncavas, escarpadas e com topos

Escarpas Serranas	de cristas alinhados, aguçados ou levemente arredondados. A densidade de drenagem é muito alta, cujo padrão é paralelo a dendrítico ou treliça a retangular. Ocorrem depósitos de colúvios e de tálus, solos rasos e afloramento de rocha. As amplitudes topográficas são superiores a 500 metros e de gradientes muito elevados.
Planícies Aluviais	Classificado como relevo agradação continental. É constituído por planícies de inundação, terraços fluviais e leques aluvio-coluviais. São superfícies sub-horizontais com gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos canais tronco.
Planícies Colúvio-Alúvio-Marinhas	Tipo de relevo de agradação litorânea. É composto por terrenos areno-argilosos das baixadas, mal drenados com padrões de canais meandrante e divagante. Ocorrem ainda superfícies de aplainamento e pequenas colinas ajustadas ao nível de base das baixadas. São superfícies sub-horizontais, de gradientes extremamente suaves e convergentes à linha de costa, de interface com os sistemas deposicionais continentais (processos aluviais e de encosta) e marinhos.

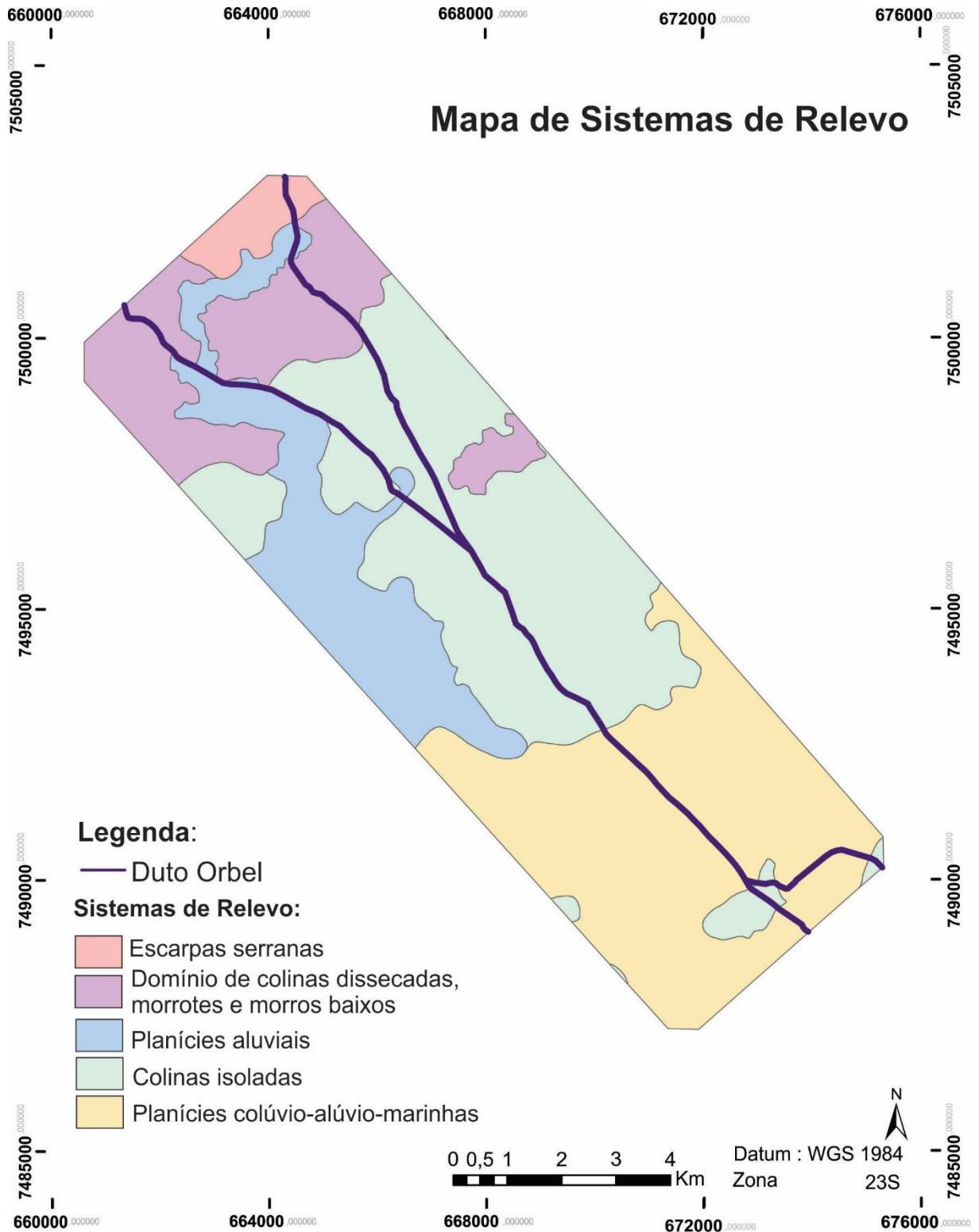


Figura 3: Mapa de Sistemas de Relevo da área. Fonte: adaptado de CPRM (2000).

3.4 Pedologia

Foram observadas cinco classes pedológicas na área de estudo, descritas no Quadro 3 a seguir. O Mapa Pedológico da área está representado pela Figura 4.

Quadro 3: Classes pedológicas presentes na área de estudo. Fonte: CPRM (2000).

Classes Pedológicas	Descrição
Latossolo Vermelho-Amarelo	Caracteriza-se por baixos teores de Fe_2O_3 , nas regiões mais frias e úmida tende a apresentar menores teores de base e saturação com alumínio mais elevada. São bastante comuns por todo o Estado do Rio de Janeiro e apresentam baixa fertilidade, sendo utilizados geralmente como pastagens.
Cambissolo Háplico	Compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente, por isso suas características dependem do material de origem. Os teores de silte e argila são relativamente elevados e são pouco espessos. Ocorrem principalmente nas regiões serranas, frequentemente associados ao Latossolo Vermelho-Amarelo. Também podem ser encontrados em algumas baixadas fluviais de relevo aplainado, onde sedimentos arenosos mais espessos são depositados pelos rios.
Gleissolo Tiomórfico Húmico	São originados de sedimentos quaternários, portanto relativamente recentes e pouco evoluídos. Apresentam grande variabilidade espacial e são subdivididos de acordo com o tipo de horizonte superficial. Encontram-se, principalmente, nas grandes baixadas que se estendem desde os contrafortes da Serra do Mar até o litoral. Podem, ainda, ocorrer nas áreas de várzea. Na área de estudo, apresenta concentrações de sulfato e textura argilosa e são, em geral, utilizadas como pastagens.
Neossolo Flúvico	Também chamado de Solo Aluvial, é um solo pouco evoluído. É constituído por material mineral mais recente do Quaternário ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico. Ocorrem em menor escala, quase sempre associados às planícies fluviais ao longo dos principais rios da bacia. Concentram-se na parte mais plana de onde predomina o sistema morfodinâmico do tipo

	pedogênese, com alta taxa de deposição e baixa taxa de erosão.
Planossolo Hápico	Compreende solos minerais, geralmente hidromórficos, caracterizado por brusca mudança textural ao longo dos horizontes. Ocorrem principalmente em algumas baixadas de relevo aplainado da região litorânea. Apresentam baixa fertilidade, com argilas de baixa atividade e são álicos ou distróficos.

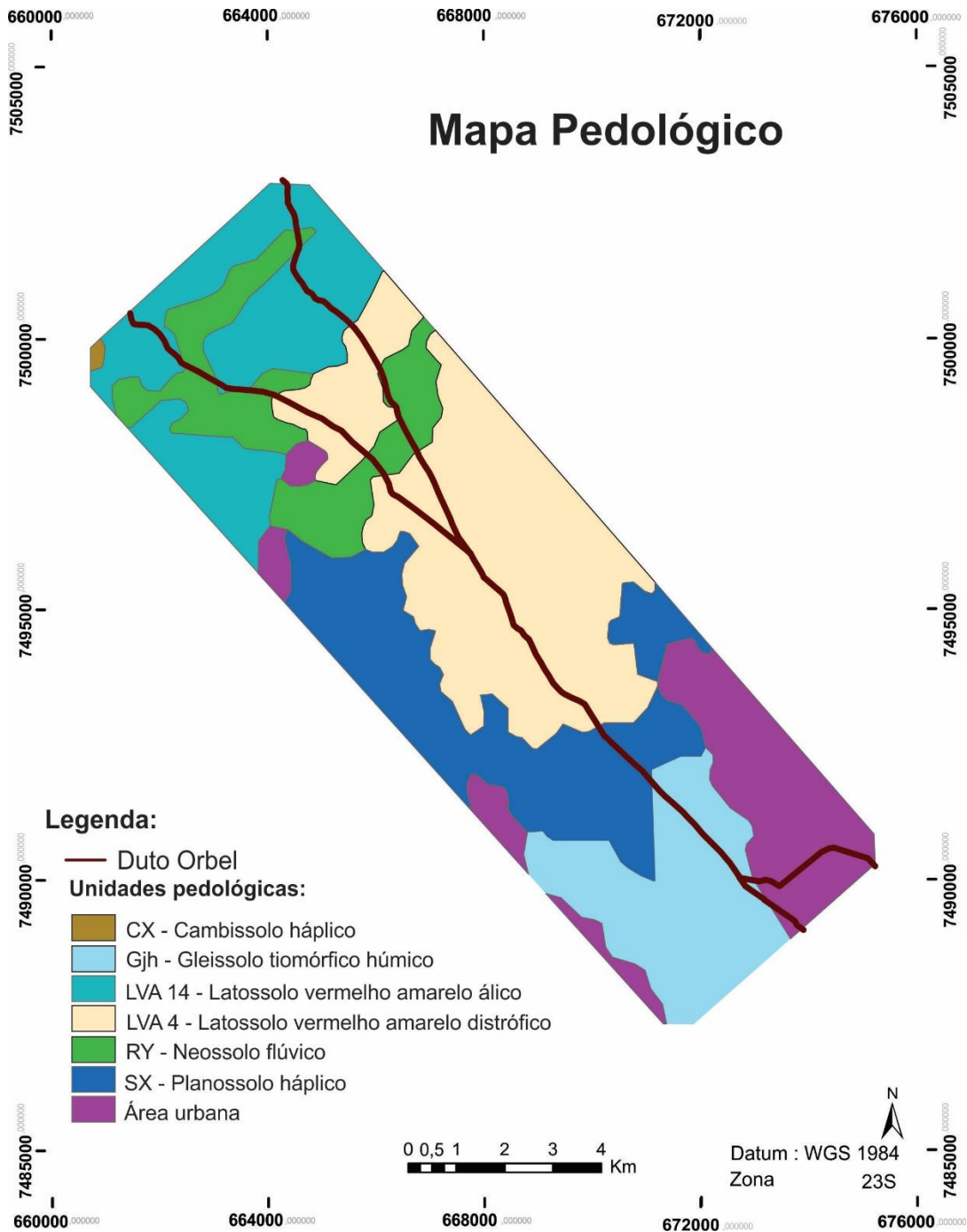


Figura 4: Mapa Pedológico da área. Fonte: adaptado de EMBRAPA (2006).

3.5 Vegetação

De acordo com IBGE (2004), a área de estudo está situada no Bioma Mata Atlântica, no domínio de Floresta Ombrofólia Densa. Os índices pluviométricos são os mais elevados da região litorânea, com precipitação bem distribuída durante o ano todo.

Na área de estudo, foram observados cinco tipos distintos de vegetação, sendo quatro subdivisões de florestas da Mata Atlântica e campos de várzea, descritos a seguir no Quadro 4. A Figura 5 exibe o Mapa de Tipos de Vegetação Natural da área.

Devido a utilização do solo para outros fins, como agricultura, pecuária e crescimento urbano, o desmatamento modificou a vegetação do Estado do Rio de Janeiro.

Quadro 4: Tipos de vegetação presentes na área de estudo.

Vegetação	Descrição
Floresta Perenifólia	Caracterizada pela alta densidade vegetal, alta pluviosidade, influência de clima úmido marítimo, solo rico em nutrientes e as tradicionais quatro estações bem definidas. As folhas das árvores não caem por motivos de clima ou estações, mas somente quando a planta chega à senescência.
Floresta Subperenifólia	Apresenta características semelhantes à Floresta Perenifólia, porém seu principal aspecto é sua folhagem permanente. Constituída por árvores sempre verdes, detentora de grande número de folhas largas e troncos relativamente delgados. Solo apresenta-se coberto por uma camada de húmus.
Floresta Subcaducifólia	Ambiente transita entre a zona úmida costeira e a zona semi-árida. Condicionada pela dupla estacionalidade climática: uma tropical, com intensas chuvas de verão e estiagens prolongadas, e outra subtropical, sem período seco. Sua densidade é alta e as árvores chegam a 20 metros de altura. Vegetação perde sua folhagem periodicamente (estações outono e inverno), como mecanismo de defesa contra a seca fisiológica. As folhas que caem cobrem o solo e permitem o desenvolvimento de musgos.
Floresta Subperenifólia a	Vegetação não apresenta características bem definidas, com

Subcaducifólia	comportamento variando entre o apresentado pelas florestas Subperenifólia e Subcaducifólia.
Campos de Várzea	Ocorre nas várzeas úmidas e periferia dos cursos de água, constituindo-se principalmente por espécies da família das gramíneas e ciperáceas. Entre outras espécies destacam-se junco, periperi e baronesa.

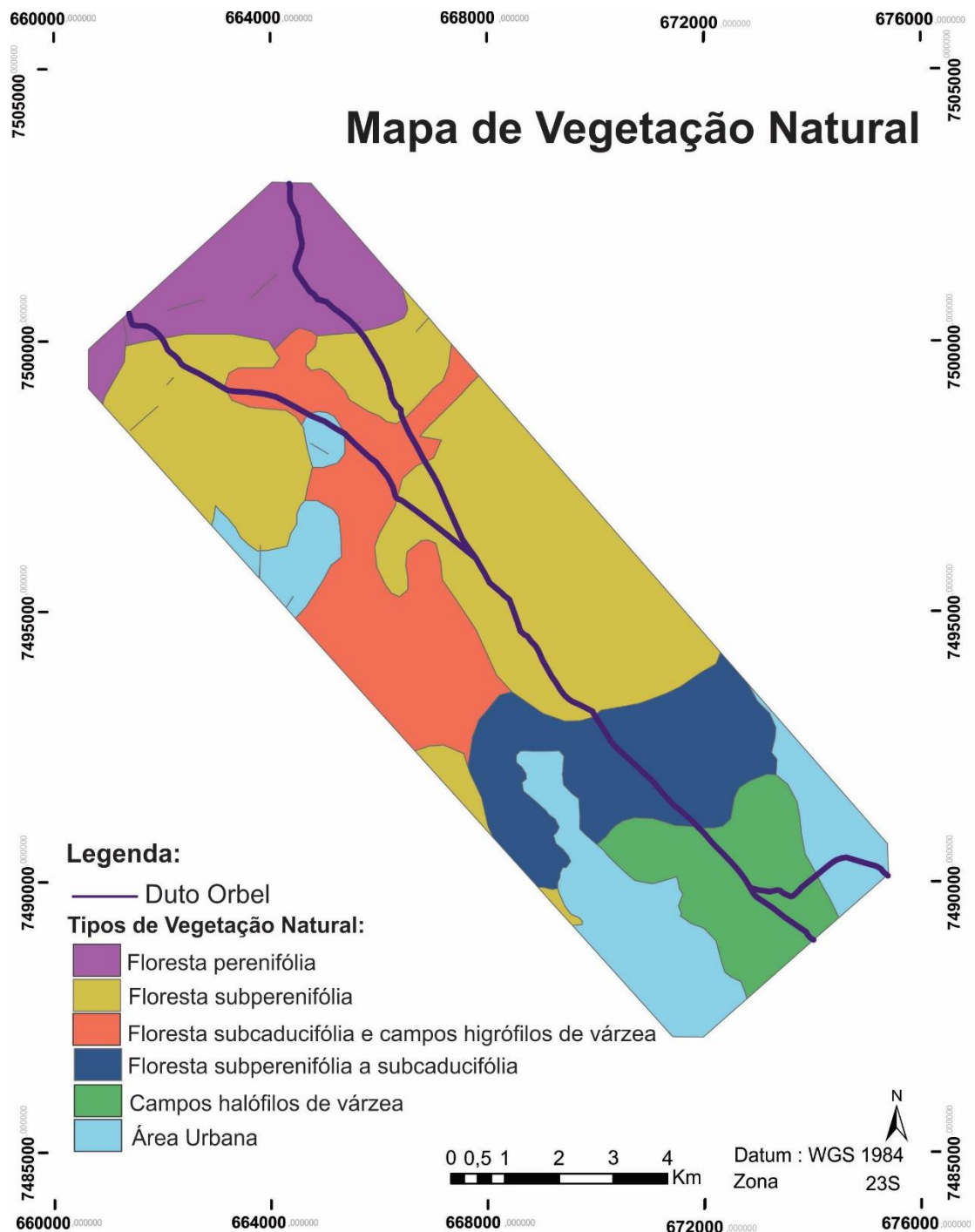


Figura 5: Mapa de Tipos de Vegetação Natural da área. Fonte: adaptado de CPRM (2000).

3.6 Uso e Ocupação

A partir de técnicas de detecção de mudanças, Ferreira (2009) verificou a evolução do uso e ocupação da região na qual se encontra a área de estudo. Para tal, ele utilizou dados referentes à vegetação natural, uso e ocupação atual e mapa geoambiental disponíveis em CPRM (2000). Devido ao fato de algumas classes apresentarem mais de uma utilidade, não sendo possível determinar o uso exato da área, o mapa elaborado por Ferreira (2009) deve ser considerado como indicativo.

A partir do Mapa de Uso e Ocupação (Figura 6), pode-se observar que a área urbana ocupa planícies fluviais, marinhas e lagunares, seguido pelas áreas de colinas e morros baixos. Já a vegetação natural ocupa regiões das escarpas serranas e de maciços alcalinos.

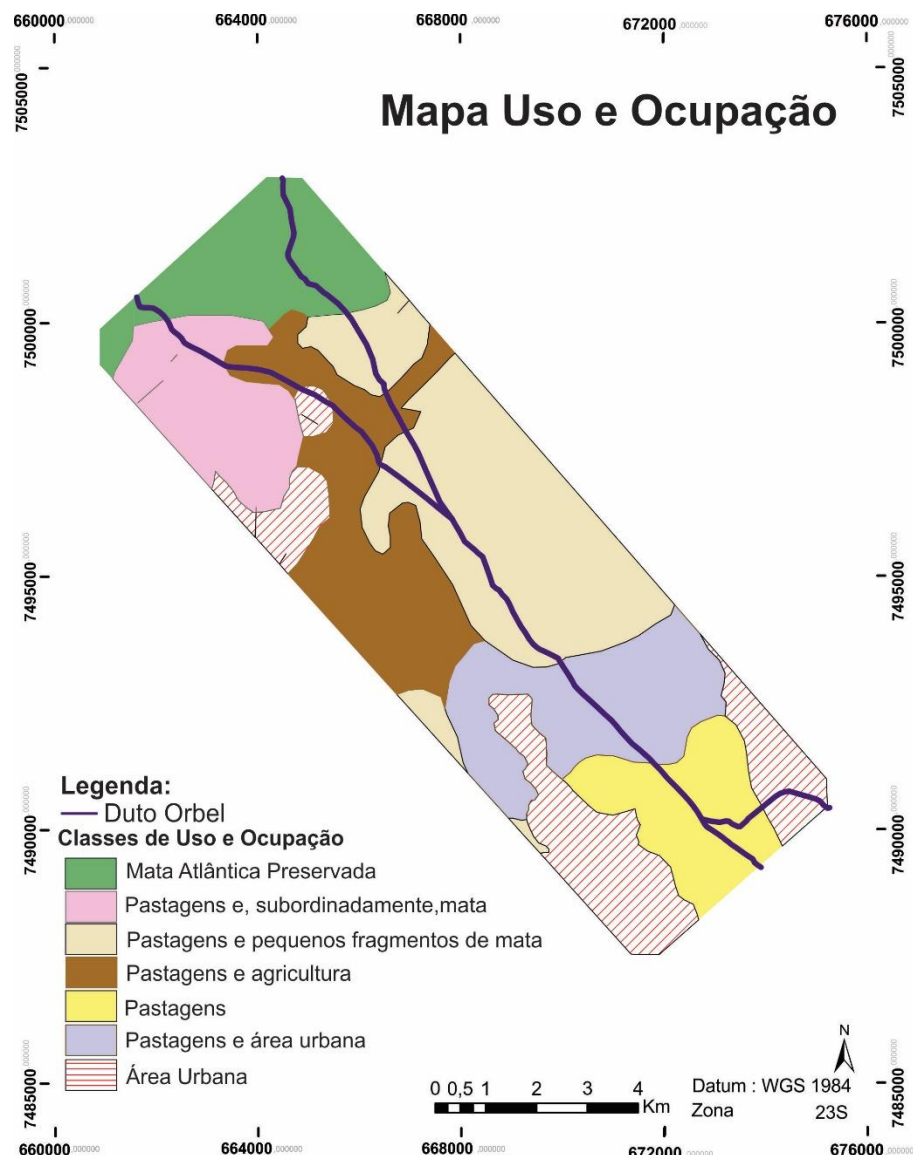


Figura 6: Mapa de Uso e Ocupação. Fonte: adaptado por Ferreira (2009) de CPRM (2000).

3.7 Declividade

A declividade é uma variável geográfica que constitui o principal condicionante da capacidade de uso e ocupação do solo. As classes de declividade determinam, por exemplo, a possibilidade ou não de utilização de maquinários agrícolas e de construção civil (Santos, 2010). A declividade também está diretamente relacionada ao desenvolvimento de processos do meio físico, como escoamento superficial, com transporte de partículas, além de movimentos de massa (BISPO *et al.* 2011; VENANCIO *et al.* 2013).

Gandolfi (2000) relatou diversas situações ambientais em que a declividade exerce influência, como o favorecimento do transporte de partículas de solo ao longo do perfil, favorecimento do escoamento de fluxo superficial, variação no tempo de incidência de radiação durante o ano (maior incidência nas áreas elevadas e menor incidência nas inferiores), diferentes gradientes de umidade no solo entre o topo e a base da vertente, entre outros.

O Mapa de Declividade da área de estudo está representado a seguir na Figura 7. Foram separadas quatro classes de declividade, de acordo com IPT (1991): 0 – 15°, 15 – 30°, 30 – 45° e >45°. A classe 0 – 15° apresenta topografia plana a levemente ondulada, 15 – 30°, observa-se topografia ondulada a forte ondulada, 30 – 45° a topografia é bastante acidentada e acima de 45° a topografia apresenta-se montanhosa.

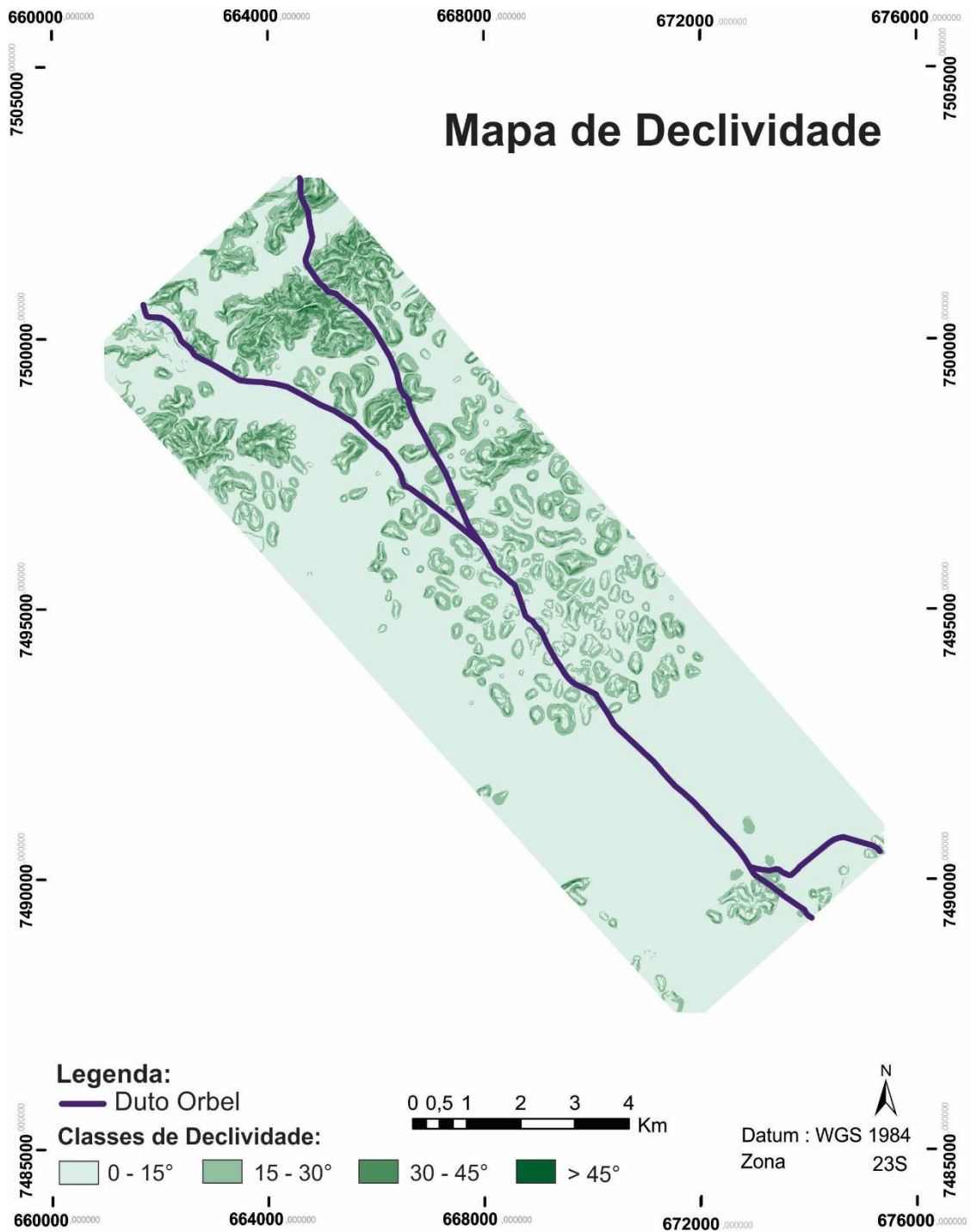


Figura 7: Mapa de Declividade. Base cartográfica: FUNDREM (1975).

3.8 Clima

Fatores estáticos e dinâmicos são os principais condicionantes do clima na região Sudeste. Os fatores estáticos se relacionam à localização geográfica e topográfica, enquanto os fatores dinâmicos de relacionam às massas de ar (CPRM, 2000).

As massas de ar que regulam o clima do litoral sudeste são equatoriais e tropicais. As massas de ar tropicais marítimas são carregadas pelos ventos alísios dando origem a estreitas zonas de com chuvas fortes e temperaturas altas. As massas de ar equatoriais continentais são quentes e úmidas, e o relevo alto propicia chuvas de relevo. As chuvas demonstram uma forte variação estacional (STRAHLER, 1975).

A temperatura média anual, no Estado do Rio de Janeiro, é sempre superior a 22°C. A distribuição espacial das chuvas é determinada pela orografia e pelo mecanismo dinâmico. As escarpas das serras do Mar e da Mantiqueira, por estarem paralelizadas, se opõem frontalmente à direção dos ventos das correntes de circulação atmosférica, resultando em precipitação pluviométrica diretamente proporcional à altitude. As médias pluviométricas estão entre 2.000 e 4.500 mm e correspondem aos índices pluviométricos mais altos do Estado (GUIDICINI; IWASA, 1976).

Ao sul do Estado, no Vale do Paraíba, o clima é bem menos úmido e chuvoso devido à subtração de umidade do ar realizada pelas serras da Mantiqueira e do Mar, cuja pluviosidade anual atinge de 750 a 1.000 mm. A Baixada Litorânea é uma região igualmente menos chuvosa, cuja precipitação anual é inferior a 1.000 mm (CPRM, 2000).

Especificamente nos municípios da área de estudo predominam dois períodos: um de chuvas bem definido (verão) que se alterna com um de baixa pluviosidade (inverno). A pluviosidade média anual varia de 1.200 a 2.200 mm.

As imagens de satélite utilizadas no presente trabalho abrangem cinco meses, de novembro de 2009 a março de 2010. Neste período, a precipitação foi de 1.954 mm para o município de Duque de Caxias e região, informação obtida a partir da estação Xerem – Duque de Caxias (INMET, 2009/2010). A Figura 8 mostra os gráficos de precipitação nos meses de novembro/2009 a março/2010.

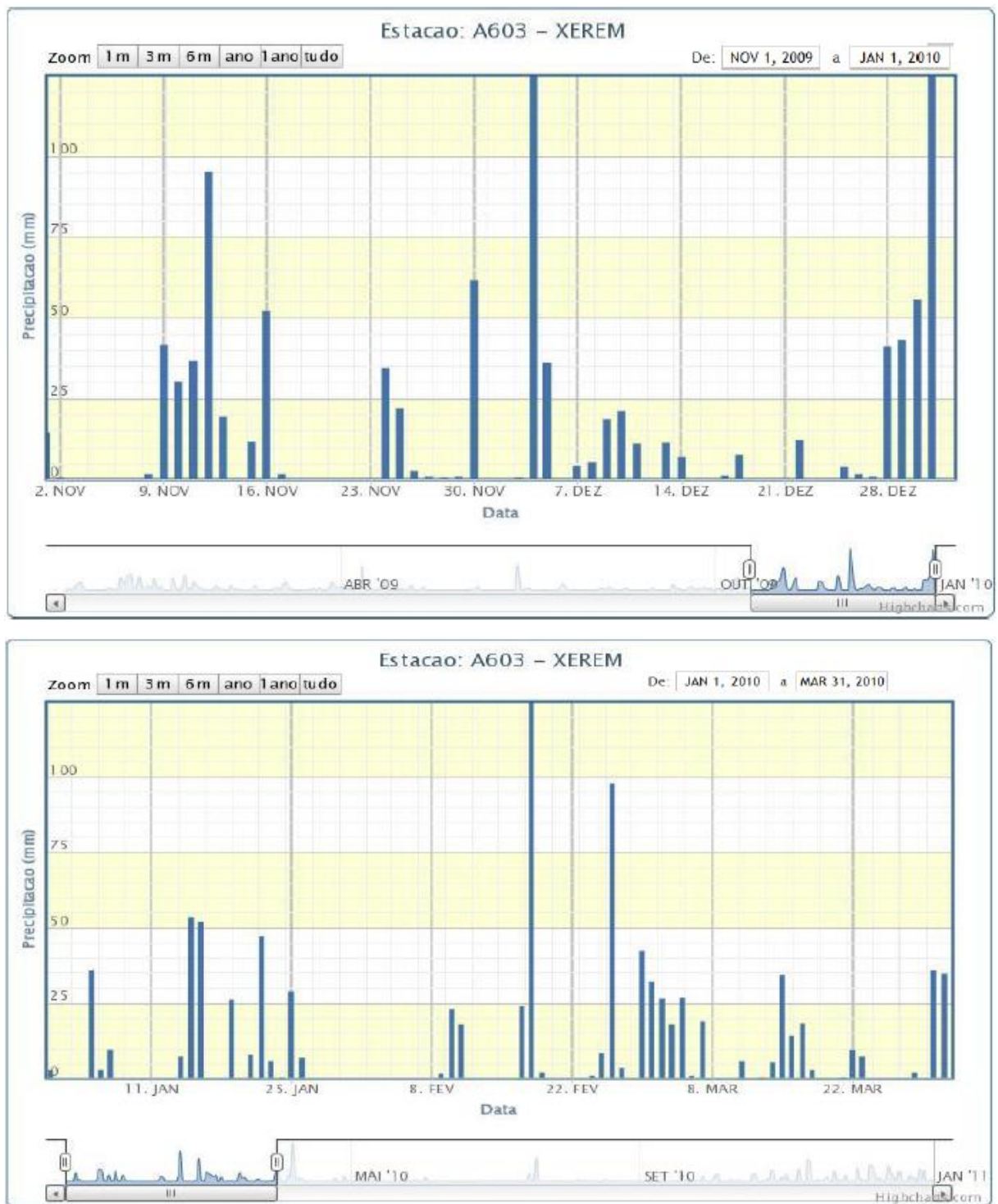


Figura 8: Gráficos de precipitação para o município de Duque de Caxias (INMET, 2009/2010).

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Erosão

A erosão consiste na desagregação e remoção de partículas de solo e/ou fragmentos e partículas de rocha (IPT 1986, *apud* SALOMÃO & IWASA 1995).

O solo consiste em um perfil onde ocorre alteração de rochas, por meio de processos pedogenéticos condicionados por agentes físicos, químicos e orgânicos. Ele cobre quase toda a superfície terrestre sobre a qual se desenvolvem atividades humanas.

A superfície terrestre está sob uma condição de equilíbrio dinâmico, em que diversos processos atuam de forma contraditória, formando e erodindo os solos. Os processos pedogenéticos ocorrem ao longo de centenas de anos e são contrabalanceados pelos processos de erosão, que remove seus constituintes, principalmente pela ação da chuva. Essa é uma situação em que a erosão é considerada *normal/geológica/natural*, onde esse fenômeno se torna extremamente importante para a formação do relevo de superfície, dos solos aluviais e das rochas sedimentares (WEILL & PIRES NETO, 2007)

No entanto, a erosão pode ser considerada *acelerada* quando este equilíbrio é rompido e os processos erosivos são intensificados, tornando-se mais intensos que os processos de formação do solo.

Os processos erosivos atuam na modelagem do relevo por meio da ação de agentes exógenos (água, ventos, gelo e/ou organismos) que promovem a remoção de partículas ou, até mesmo, de grandes volumes de solo por meio da energia cinética dos agentes erosivos, sendo que na medida em que a energia cinética diminui ocorre a deposição do material removido em outros locais (WEILL & PIRES NETO, 2007).

Os processos erosivos são difíceis de serem controlados, porém são facilmente acelerados e intensificados pela ação do homem, quando esse interage com o meio ambiente. Dentre as formas de intervenção antrópica que podem acelerar o processo erosivo estão o desmatamento, uso inadequado de solos agrícolas e urbanos, movimentação de solo.

Nas áreas de intensa atividade agropecuária, devido ao revolvimento excessivo do solo às práticas inadequadas e ao superpastejo, ocorrem muitas alterações dos atributos que causam degradação do solo, levando ao esgotamento das características físicas, químicas e biológicas. Esses processos são responsáveis por diversos fatores que têm contribuído para a diminuição do potencial produtivo do solo, o que tem afetado a sustentabilidade do sistema (AZEVEDO & SVERZUT, 2007).

4.1.1 Fatores Naturais da Erosão

Segundo Santoro (2009), os principais fatores naturais que controlam o fenômeno de erosão são: o clima, a cobertura vegetal, o relevo e o tipo de solo. O Quadro 5 compila os principais atributos de cada fator.

Quadro 5: Fatores naturais que controlam o fenômeno de erosão e seus atributos.

Fatores Naturais	Atributos
Clima	A precipitação é o fator climático mais importante. Sua influência está diretamente relacionada com sua distribuição anual e intensidade. Nas regiões de chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas e distribuídas regularmente, observa-se a formação de solos profundos e permeáveis, bastante resistentes à erosão. Já nas regiões que apresentam precipitações mal distribuídas anualmente, os solos encontram-se desprotegidos devido ao período seco e por isso a aceleração da erosão é máxima. Os ventos e as variações de temperatura também podem ser considerados significativos (WEILL & PIRES NETO, 2007).
Cobertura Vegetal	Protege o solo contra os processos erosivos, amenizando o impacto direto das gotas de chuva no solo, interceptadas pela folhagem e reduzindo o escoamento superficial. Está, portanto, diretamente relacionada com o clima. Nas áreas de clima quente e fortes chuvas, a vegetação natural é mais densa, minimizando os efeitos dos agentes erosivos. Em áreas com elevada deficiência hídrica, a vegetação natural é esparsa e de pequeno porte, resultando em uma maior área de solo exposto e pouco protegido, mais vulnerável à erosão.
Relevo	Determina a velocidade dos processos erosivos, controlando a circulação da água pluvial por meio da amplitude e inclinação das encostas. Em relevos mais planos/suaves predomina a infiltração, apresentando menores velocidades de erosão. Já em relevos mais acidentados/inclinados predomina o escoamento superficial das águas, aumentando a capacidade erosiva.

Tipo de Solo	Determina a suscetibilidade dos terrenos à erosão, sua maior ou menor resistência à ação das águas. As variáveis que conferem ao solo sua erodibilidade são textura, estrutura, permeabilidade, profundidade, densidade e suas características químicas, biológicas e mineralógicas (Santoro, 2009). Dessa forma, por exemplo, os solos arenosos se degradam mais facilmente que os argilosos.
--------------	--

4.1.2 Tipos de Erosão

Os tipos de erosão são definidos de acordo com o seus agentes modeladores e nos processos de desgaste dos solos. Podem ser: eólica, marinha, glacial, biológica ou hídrica (fluvial e pluvial). O foco deste trabalho é o monitoramento de erosões hídricas, que ocorrem em três etapas: desagregação das partículas, transporte pelo escoamento superficial e deposição do material formando depósitos de assoreamento.

A primeira fase da erosão hídrica, a desagregação das partículas (Figura 9), consiste no impacto das gotas de chuva com o solo desprotegido, desintegrando as partículas. A capacidade das gotas de chuva de desprender as partículas depende da energia cinética que elas atingem no movimento de queda e das propriedades do solo. Quanto maior a energia cinética e menor a agregação entre as partículas de solo, maior será o desprendimento. A partícula desagregada pode manter-se livre na superfície do solo e ser transportada pelo fluxo de escoamento superficial ou descer através dos poros do solo, podendo colmatar e gerar crostas. Essa desintegração costuma ser mais intensa no início da precipitação, tendendo a se amenizar quando uma lâmina de água se forma sobre o solo (JETTEN *et al.* 2003).

A fase seguinte corresponde ao transporte pelo escoamento superficial. As partículas que foram desprendidas do solo pelo impacto das gotas de chuva são carregadas até grandes distâncias da sua fonte de origem. Se a energia do fluxo gravitacional for suficiente para quebrar os agregados naturais do solo, o fluxo superficial também pode causar erosão. Esse aspecto dualista do escoamento superficial, de desagregação e transporte, depende de diversos fatores relacionados às características do escoamento, ao tamanho das partículas do solo, à declividade do terreno, às condições da cobertura vegetal, entre outros (JETTEN *et al.* 2003).

A deposição ou assentamento é a etapa final do processo de erosão hídrica. Ocorre quando o fluxo de escoamento perde sua velocidade de transporte ou encontra algum obstáculo físico.

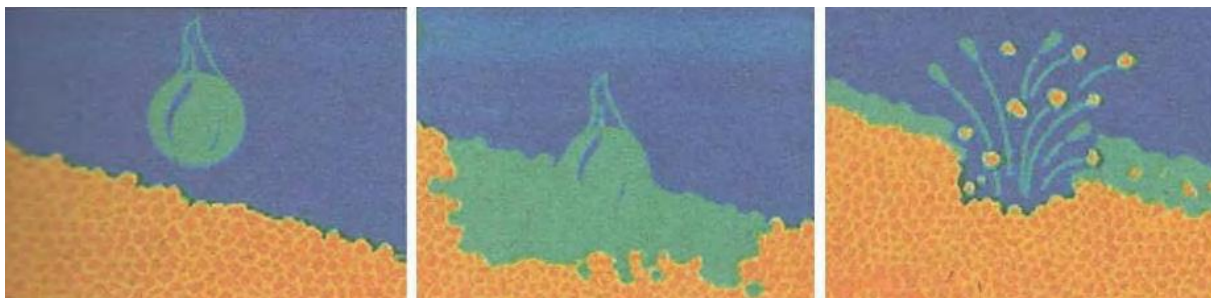


Figura 9: Desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva. Fonte: Weill & Pires Neto (2007).

De acordo com a geometria do fluxo do escoamento superficial, o processo erosivo hídrico pode ser caracterizado em erosão laminar ou linear.

A erosão hídrica laminar ocorre quando o escoamento da água desliza sobre a superfície do terreno como um lençol, desgastando o solo de forma suave e quase homogênea, sem formar canais preferenciais. É bastante difícil de ser detectada, existindo algumas indicações por meio das quais é possível se constatar sua ocorrência, como o decréscimo da produção das culturas, o aparecimento das raízes ou até mesmo a marca no caule das plantas onde o solo foi arrastado (FENDRICH *et al.* 1997).

A erosão hídrica linear resulta da ação do escoamento hídrico superficial em fluxo concentrado, portanto, formando vias preferenciais. Pode haver também a ação combinada entre o escoamento superficial concentrado e o escoamento subsuperficial (OLIVEIRA, 1994). Esse tipo específico de erosão constitui as feições analisadas na área de trabalho, desenvolvendo-se em quatro tipos diferentes: sulcos, ravinas, voçoroca e solapamento de margem de rio. O Quadro 6 ilustra os tipos de erosão hídrica linear descritos.

Quadro 6: Tipos de erosão hídrica linear. Fonte: adaptado de Almeida Fiho & Ridente Jr. (2001) e Santoro (2009).

Tipo	Descrição
Sulcos	Formam incisões na superfície, em geral, inferiores a 0,5m e suas bordas possuem pequenas aberturas na superfície do terreno. Pode ser originada de precipitações intensas ou suceder a erosão laminar. São perpendiculares às curvas de nível. Ocorrem associados a trilhas de gado e em solos expostos.

Ravinas	São feições erosivas com mais de 0,5m de profundidade, em que o escoamento superficial escava o solo até seus horizontes inferiores. Envolvem movimentos de massa, que alargam e intensificam a erosão do fenômeno. Normalmente são alongadas, mais compridas do que largas e com profundidades variadas (em geral inferiores a 10 m). Raramente se ramificam ou atingem o nível de água subterrânea. Perfil transversal em V.
Voçorocas	Forma mais complexa de erosão linear, onde ocorre o aprofundamento da ravina até atingir o lençol freático. Há então a ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, condicionando a evolução da erosão tanto lateral quanto longitudinalmente. Desencadeia liquefação de areia, escorregamentos, <i>pipping</i> , entre outros. As vertentes são expostas e possuem ângulo aproximado de 90°. Formam-se, geralmente, em locais naturais de concentração de escoamento pluvial. Perfil transversal em U.
Solapamento de margens de rio	Desenvolve-se em planícies fluviais e constitui importante fator no retrabalhamento de sedimentos depositados nos fundos dos vales, como terraços fluviais e depósitos de assoreamento recentes. Também pode ocorrer em linhas de talvegue ou cursos de água perenes de primeira ordem.

4.1.3 Áreas de Superpastejo

O superpastejo é uma feição erosiva diretamente relacionada a ação antrópica, dependente do uso e ocupação do solo. Quando áreas são designadas para pastos e não há manejo correto, como alta densidade de animais, ocorre o pisoteio excessivo do gado em determinadas direções em busca de água (FENDRICH *et al.*, 1997).

O conceito de superpastejo significa mais gado do que a capacidade do solo pode suportar, o que causará a danificação do mesmo. Além de consumir ou destruir a vegetação que protege o solo, os animais também podem compactar o solo, pisar e deslocar fragmentos rochosos vertente abaixo.

Segundo Barcellos (1990), o processo de degradação de uma pastagem segue uma sequência cumulativa. Inicia-se com a diminuição na produção e quantidade da forragem; diminuição na cobertura do solo e do recrutamento de plantas novas na pastagem; aparecimento de espécies invasoras, processo de competição e erosão pela ação da chuva e, por fim, grande proporção de invasoras e colonização da área por espécies nativas e processos erosivos acelerados.

A seguir, a Figura 10 ilustra os tipos de erosão descritos nos itens 4.1.1 e 4.1.2:



Figura 10 : Tipos de erosão descritos. (i) sulcos (ii) ravina (iii) voçoroca. Fonte: Proin/Capes& Unesp/IGCE, 1999. (iv) solapamento de margem. Fonte: Lorenzo (2011). (v) superpastejo. Fonte: Atlas Digital das Águas de Minas.

4.2 Geoprocessamento

O geoprocessamento, ou geotecnologias, constitui o conjunto de técnicas utilizadas para coletar, processar, analisar e oferecer grande quantidade informações com referência

geográfica, que seriam inviáveis de serem tratadas utilizando métodos analógicos e/ou tradicionais (MARCELINO, 2008).

O avanço de tecnologias de geoprocessamento trazem melhorias significativas em vários aspectos relacionados à questão espacial, como no desenvolvimento de pesquisas, ações de planejamento e processos de gestão de risco.

Dentre as principais ferramentas computacionais que representam o geoprocessamento, pode-se citar:

- Sensoriamento Remoto;
- Sistema de Informação Geográfica (SIG) e
- Sistema de Posicionamento Global (GPS).

Marcelino (2008) descreve diferentes aplicações das geotecnologias na gestão de riscos, apresentadas no Quadro 7:

Quadro 7: Diferentes aplicações das geotecnologias na gestão de riscos. Fonte: Marcelino, 2008.

Aplicação	Descrição
Prevenção	Avalia riscos, utilizando dados geoambientais que podem ser obtidos com o auxílio de imagens de satélite e GPS. Esses dados são transformados em planos de informação no SIG, onde podem ser aplicados modelos matemáticos no cruzamento das informações para obtenção de planos resultantes, como mapas de perigo, vulnerabilidade e risco.
Preparação	São utilizados como apoio logístico, como na definição de rotas de evacuação, identificação de abrigos e centros de operações de emergência. Podem ser usados também na criação e no gerenciamento de sistemas de alerta e elaboração de modelos meteorológicos e hidrológicos utilização na previsão.
Ações de Resposta	Possibilita gerenciar as situações mais problemáticas, como as ações de combate a sinistros (conter efeitos adversos) e de socorro às populações afetadas (busca e salvamento), de maneira eficiente e rápida.
Reconstrução	Identifica áreas seguras, avalia danos e realização do inventário.

As grandes extensões e a diversidade de atributos físicos e sociais que o dutos atravessam fazem com que o monitoramento da suscetibilidade seja complexo e ineficaz quando realizado somente *in loco*. Dessa forma, o geoprocessamento é uma técnica conveniente para o monitoramento de suscetibilidade ao longo de faixas de dutos, pois permite a análise de grandes áreas em um curto espaço de tempo.

No presente trabalho, as técnicas utilizadas correspondem ao Sensoriamento Remoto e ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), com o objetivo de determinar na área de estudo feições erosivas lineares (sulcos, ravinas, voçorocas e solapamento de margem de rio), identificando as características dos locais onde tais fenômenos acontecem com maior frequência, produzindo um mapa de suscetibilidade.

4.2.1 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto pode ser definido como a utilização conjunta de sistemas sensores e demais equipamentos para processamento e transmissão de dados, com a finalidade de analisar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra, por meio das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem (NOVO, 2008).

Segundo Novo (2008), os sensores podem ser classificados como passivos ou ativos. Os sensores passivos ou ópticos detectam a energia originada de uma fonte externa e os sensores ativos ou radares detectam a energia originada de fonte própria.

Os sensores possuem características básicas relacionadas às suas resoluções temporais, espaciais, espectrais e radiométricas. A resolução temporal se refere ao intervalo de tempo que o sensor demora para obter duas imagens da mesma área da superfície terrestre. A resolução espacial é o tamanho da menor área imageada no terreno. A resolução espectral é a medida da largura das faixas espectrais ou bandas, sendo que quanto mais estreitas, maior a sensibilidade do sensor em distinguir as variações do comportamento espectral. A resolução radiométrica é a capacidade em distinguir variações do nível de energia proveniente do alvo (NOVO, 2008).

O Sensoriamento Remoto pode ser aplicado no monitoramento de cobertura da terra e de processos geomorfológicos, no mapeamento geológico, no setor de agricultura e de pesquisa mineral. Pode, ainda, ser utilizado para identificar e caracterizar feições erosivas, permitindo análise de áreas extensas e obtendo informações à distância, com baixa relação custo/benefício (MARCELINO, 2003).

Para analisar a evolução de fenômenos erosivos ao longo do tempo, utilizam-se técnicas de detecção de mudanças que analisam dados adquiridos de maneira multitemporal, levando em consideração atributos como uso e ocupação da terra, vegetação, desmatamento, regeneração e extração seletiva de madeira, alterações em ambientes úmidos, queimadas, mudanças na paisagem e no ambiente urbano, entre outros (LU *et al.*, 2004).

De acordo com Ferreira (2009), as fontes dos dados podem ser diversas, entretanto, os produtos advindos de sensores remotos têm se mostrado cada vez mais indispensáveis como fontes de informação para essa aplicação, devido à capacidade de aquisição repetitiva de informação e da visão integradora do espaço. Informações originadas de mapas temáticos e cartas topográficas também são usualmente utilizadas no processo de detecção de mudanças.

A comparação de feições por meio de interpretação visual é uma das técnicas que pode ser utilizada na análise temporal. É possível identificar áreas que sofreram mudanças observadas em imagens de datas diferentes, através das alterações de padrões de textura, cor, forma e tamanho. A extração das informações é manual e depende principalmente da experiência do interpretador. Dentre as desvantagens da utilização desta técnica estão o alto consumo de tempo e a dificuldade em atualizar os resultados, mas mesmo assim, esta técnica é aplicada quando os padrões que devem ser analisados são muito complexos para prática computacional (LU *et al.*, 2004).

4.2.2 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O Sistema de Informação Geográfica constitui uma ferramenta capaz de realizar o tratamento computacional de dados geográficos e a recuperação de informações com base na sua localização espacial e suas características alfanuméricas. Essa ferramenta permite que o usuário obtenha uma visão única e integrada de seus ambiente de estudo, estando ao seu alcance todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto que está inter-relacionado com base na localização geográfica (CÂMARA, 2005).

Dentre as funcionalidades do SIG estão capturar, armazenar, analisar, transformar, integrar e apresentar os dados geográficos da melhor forma possível, sendo uma ferramenta que automatiza tarefas antes manuais. Também é responsável por facilitar a realização de análises complexas por meio da integração de dados de diversas fontes. Como suas principais funções, os SIGs apresentam a produção de mapas, que podem ser utilizados no suporte para análise espacial, e a produção de um banco de dados geográficos (CÂMARA, 2005).

Em suma, o SIG auxilia na sobreposição e interpretação de informações espaciais de uma determinada área, facilitando a gestão de informações e acesso ao banco de dados. Auxilia, ainda, fornecendo subsídios para a análise integrada de dados, quando existem diferentes condicionantes que influenciam para a ocorrência de um determinado processo.

O SIG, aliado aos produtos do Sensoriamento Remoto, possui grande contribuição no monitoramento das faixas de dutos, auxiliando na identificação de áreas com maior suscetibilidade à ocorrência de eventos naturais e consequente setorização das áreas de risco, além de possibilitar o acompanhamento das mudanças do uso da terra no entorno da faixa (FERREIRA, 2009).

4.3 Suscetibilidade a erosão linear por meio da Análise Multicriterial Ponderada

A determinação da suscetibilidade de um ambiente a processos erosivos relaciona-se diretamente aos condicionantes físicos e antrópicos destes processos. As características das rochas, solos, relevo que compõem as encostas, vegetações e clima variam de região para região, resultando em terrenos mais suscetíveis (instáveis) ou menos suscetíveis (estáveis) à ocorrência de erosões lineares. Dessa forma, a avaliação de suscetibilidade numa área a ser ocupada ou já ocupada é de fundamental importância (VEDOVELLO & MACEDO, 2007).

A análise multicriterial é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou condicionantes), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada (ROY, 1996). Nesta análise, os pesos de cada condicionante são previamente definidos, comumente, por uma equipe multidisciplinar.

Valente (2005) ressalva que no processo de tomada de decisão com a análise multicriterial, os resultados apresentam-se incertos, devido aos componentes que são os fatores, pesos e prioridades. Portanto, as informações a serem cruzadas e os pesos associados, precisam de uma atenta avaliação para que os resultados representem adequadamente a realidade.

Atualmente, uma gama variada de estudos relacionados ao planejamento ambiental vem empregando a análise multicriterial ponderada, como a definição de áreas mais adequadas para a instalação de empreendimentos (MALCZEWSKI, 2004), a análise de risco ambiental (EASTMAN, 2003), a análise de sensibilidade ambiental (COLLINS *et al.*, 2001) e o planejamento de uso das terras (JANG & EASTMAN, 2000).

A integração entre a análise multicriterial ponderada e os SIGs tem sido um avanço na metodologia de sobreposição de mapas, combinando e transformando dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão (CORSEUIL & CAMPOS, 2007).

Marcelino (2004) avaliou a suscetibilidade de uma área a processos de escorregamentos, por meio do zoneamento de sua área de estudo em diferentes classes, que indicam a maior ou menor predisposição de ocorrer um escorregamento naquele local. A mesma metodologia será utilizada na presente monografia, porém aplicada à suscetibilidade de erosões lineares.

Seguindo a técnica utilizada por Marcelino (2004), a elaboração do mapa de suscetibilidade a erosões lineares teve como ponto de partida a análise das ocorrências desses fenômenos em uma determinada área. A segunda etapa consistiu na elaboração de mapas temáticos contendo informações sobre os condicionantes (geologia, pedologia, declividade, entre outros). A etapa final compreendeu a análise multicriterial, com a sobreposição dos mapas temáticos em ambiente SIG, onde foram definidas as diferentes zonas de suscetibilidade.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Materiais

Os materiais utilizados para compor o banco de dados foram imagens de satélite e mapas relativos aos vários condicionantes físicos das feições a serem extraídas.

As imagens de satélite foram obtidas a partir do sistema sensor GeoEye, com resolução espacial de 0,5m. As imagens foram obtidas nos meses de novembro/2009, janeiro/2010 e março/2010.

O sistema sensor GeoEye iniciou suas atividades em 06/Set/2008 e está ativo até o momento. Os atributos técnicos do sistema e das imagens obtidas estão descritos, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2:

Tabela 1: Atributos técnicos do sistema sensor GeoEye. Fonte: GeoEye, 2009.

Sensores Ópticos	Bandas	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial (m)	Resolução Temporal (dias)	Resolução Radiométrica (bits)	Tamanho das cenas (km)
MS	Banda 1	0,45 – 0,51	1,65	3	11	11,3
	Banda 2	0,51 – 0,58	<i>reamostrado para 2</i>			
	Banda 3	0,66 – 0,69				
	Banda 4	0,78 – 0,92				
PAN	Pan	0,45 – 0,90	<i>reamostrado para 0,5</i>			

Tabela 2: Atributos técnicos das imagens GeoEye obtidas.

Data	Nº de cenas	Nº de componentes	Ângulo de elevação de imageamento	Azimute do imageamento	Ângulo de elevação solar	Azimute solar	Horário
07/11/2009	1	2	61,47	293,30	71,03	74,22	13:21
03/01/2010	1	2	62,34	140,41	62,43	96,19	12:58
10/03/2010	1	4	62,53	165,11	55,08	62,28	13:01

As informações sobre os mapas dos condicionantes físicos, assim como os demais mapas e cartas utilizados no presente trabalho, estão compiladas na Tabela 3:

Tabela 3: Mapas e cartas utilizados para compor o banco de dados.

Descrição	Formato	Fonte
Mapa de Unidades Litológicas	Digital/Raster	CPRM (2000)
Mapa de Unidades Geomorfológicas	Digital/Raster	CPRM (2000)
Mapa de Classes de Vegetação Natural	Digital/Raster	CPRM (2000)
Mapa de Classes Pedológicas	Digital/Raster	EMBRAPA (2006)
Mapa de Uso e Ocupação	Digital/Raster	CPRM (2000)
Mapa de Declividade	Digital/Raster	Base Cartográfica FUNDREM (1975)
Mapa do traçado da faixa de dutos (Rio – Belo Horizonte)	Digital/Vetor	Petrobras Transporte S.A.
Mapa Área dos municípios	Digital/Vetor	IBGE
Carta Geológica do Brasil ao milionésimo Folha: SF.23; Data: 2004.	Digital/Vetor	CPRM (2000)

Para o processamento, correção e análise dos dados utilizou-se o software ArcGis 10.2.2 (ESRI, 2014).

5.2 Métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas as seguintes etapas, representadas no fluxograma da Figura 11:

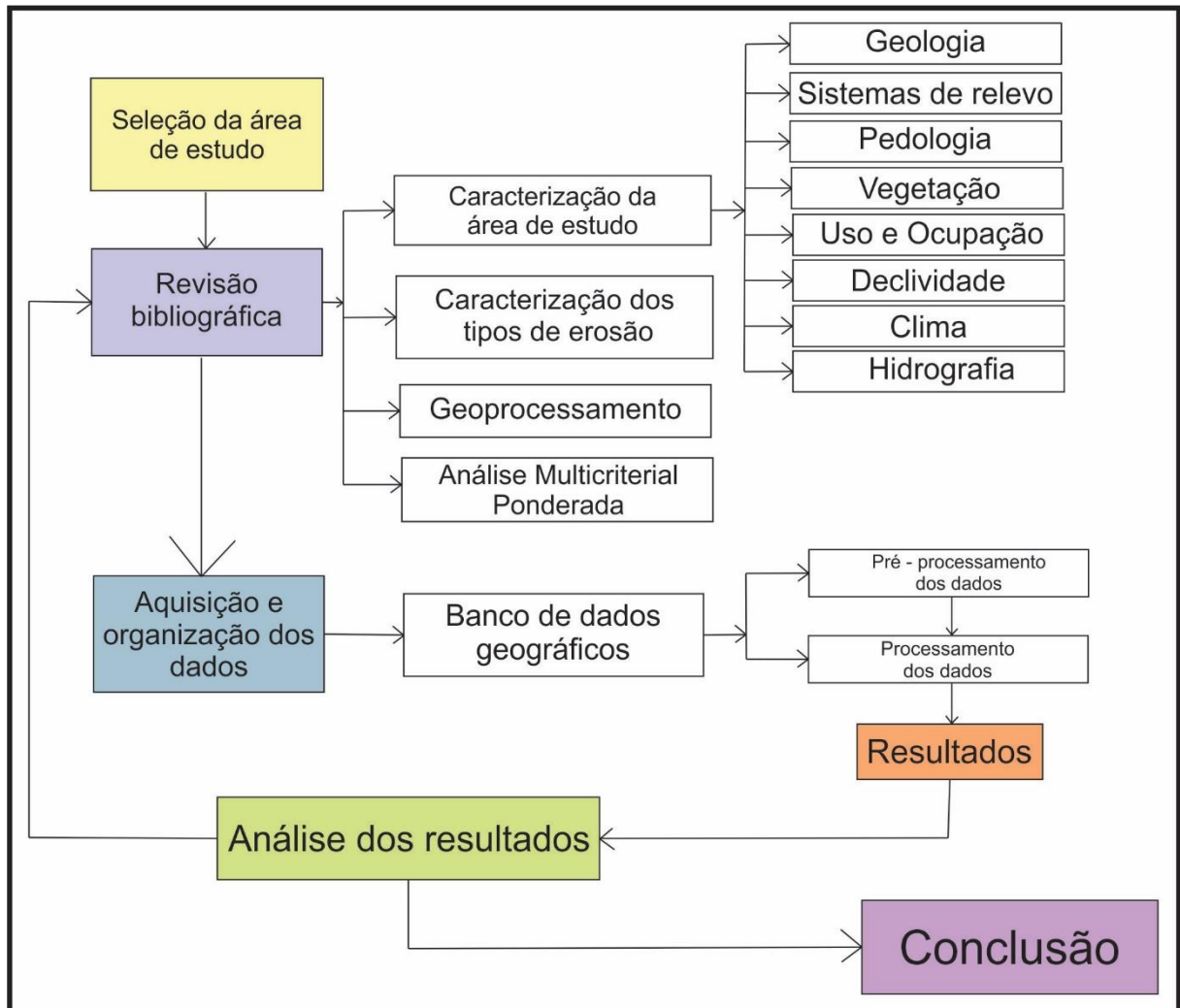


Figura 11: Fluxograma das etapas de trabalho.

5.2.1 Revisão Bibliográfica

Nesta etapa foram buscadas informações sobre erosões, suas características e condicionantes, além de informações básicas sobre a área de estudo, como geologia, solos, geomorfologia, entre outras. Pesquisou-se também técnicas de processamento a serem aplicadas na extração e quantificação das feições erosivas.

A fundamentação teórica foi realizada durante todo o trabalho, com a consulta em bases da internet, bem como livros, relatórios, etc.

5.2.2 Aquisição e organização dos dados

Etapa na qual o banco de dados com as informações coletadas e produzidas sobre a área foi montado. Compreende as imagens do sistema sensor GeoEye, assim como mapas,

relatórios, teses acadêmicas já existentes, mapas elaborados durante o trabalho e todas as demais informações reunidas.

Este trabalho de monografia está inserido no projeto de pesquisa denominado “Avaliação de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de detecção de mudanças para o monitoramento de riscos antrópicos em faixas de dutos - estudo de caso: Duto Orbel”, financiado pelo Cenpes - Petrobras. Dessa forma, a área de estudo selecionada e a aquisição do material necessário para a realização deste trabalho permearam os objetivos do citado projeto.

5.2.3 Processamento das imagens

As imagens foram pré-processadas pela equipe do projeto. O processamento consistiu na ortorretificação das imagens, realizada no software Envi 4.7 (RSI, 2009). Para isso foram utilizadas as cartas da FUNDREM (Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro), do ano de 1975, como base cartográfica, o que permitiu a identificação clara dos pontos de controle escolhidos tanto na base quanto na imagem a ser ortorretificada. Os pontos escolhidos foram ao nível do solo, o que diminuiu as distorções inerentes ao ângulo de aquisição da imagem, e foram distribuídos homogeneamente por toda a imagem.

O processo de fusão das imagens reúne, em um único produto, a melhor resolução espacial inerente à banda pancromática, com a resolução espectral das bandas multiespectrais. Esta técnica é um meio eficiente e econômico para se adquirir imagens com alta resolução espacial, com ênfase também na informação espectral. As imagens GeoEye já foram adquiridas fusionadas para a confecção desta monografia.

O processamento desenvolvido no trabalho consistiu em técnicas básicas, visando favorecer a identificação de alvos de interesse, como ampliação de contraste, composições coloridas e classificação supervisionada.

5.2.4 Extração das informações nas imagens

As feições erosivas lineares equivalentes a sulcos, ravinas, voçorocas, solapamento de margem de rio, além de feições relativas ao superpastejo, que induz a erosões, foram extraídas nas imagens GeoEye.

A técnica escolhida para extração foi a análise visual, que consiste na interpretação visual e identificação das feições erosivas por meio de critérios como forma, tamanho, ausência de vegetação marcada pelo solo exposto e orientação e direção da enconsta (feições lineares orientam-se no sentido de caimento da vertente, enquanto superpastejo segue acompanhando curva de nível).

A diferença entre sulcos e ravinas baseou-se nos seguintes critérios: a largura da feição e a presença de sombra para o caso da ravina, mostrando sua maior profundidade.

A extração das informações é manual, realizada diretamente sobre as imagens digitais consideradas e depende principalmente da experiência do fotointérprete. As escalas utilizadas no processo variaram de 1:2.000 a 1:10.000, possibilitando o detalhamento das feições.

Utilizou-se o software ArcGis 10.2.2 (ESRI, 2014) para a extração manual das feições erosivas lineares e de superpastejo.

5.2.5 Cruzamento das informações por meio da análise multicriterial ponderada

As informações foram cruzadas utilizando o software ArcGis 10.2.2 (ESRI, 2014), por meio de análise multicriterial ponderada, para a determinação de unidades do terreno que foram classificadas quanto a sua suscetibilidade ao desenvolvimento de erosões lineares.

Para a confecção do Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares foram analisados os condicionantes físicos naturais e antrópicos do processo, atribuindo-se pesos para cada um deles, sendo: unidades litológicas, sistemas de relevo, classes pedológicas, uso e ocupação, tipos de vegetação e declividade; e também para as classes de cada mapa.

Os pesos utilizados estão dispostos na Tabela 5.4 e foram ajustados, utilizando, para sua calibração, os processos erosivos mapeados. Realizou-se a contagem de cada uma das feições erosivas dentro de cada uma das classes dos diferentes condicionantes. Para as classes com maior quantidade de feições, foi atribuído um peso maior. E para aquelas com menor quantidade de feições, foi atribuído um peso menor.

A ferramenta utilizada para a geração do mapa de suscetibilidade, em software Arc Gis 10.2.2, foi Weighted Overlay e os dados utilizados foram os da Tabela 4. A classificação quanto à suscetibilidade foi dividida em quatro classes: Baixa, Média, Alta e Muito Alta. A validação do mapa foi feita a partir da sobreposição das feições erosivas hídricas lineares extraídas nas imagens de sensor GeoEye e da análise da quantidade de feições em cada uma dessas classes de suscetibilidade.

Tabela 4: Atribuição de pesos dos condicionantes físicos.

Mapas Temáticos	Peso: D+R+L+U+P+V= 100%	-		Peso: 0 a 9 p/ cada
Declividade (D)	35	Classes de Declividade	0 – 15°	8
			15 – 30°	5
			30 – 45°	3
			> 45°	Restricted*
Relevo (R)	20	Escarpas serranas		Restricted*
		Domínio de colinas dissecadas (...)		3
		Colinas isoladas		8
		Planícies aluviais		5
		Planícies colúvio-alúvio-marinhas		1
Litologia (L)	15	Suíte do Tinguá		Restricted*
		Unidade Serra dos Órgãos		8
		Depósitos Flúvio-Lagunares		5
		Unidade Santo Aleixo		1
Uso e Ocupação (U)	15	Mata Atlântica Preservada		2
		Pastagens		Restricted*
		Pastagens e agricultura		5
		Pastagens e pequenos fragmentos de mata		4
		Pastagens e área urbana		1
		Pastagens, e subordinadamente, mata		7
		Área urbana		2
Pedológico (P)	10	Cambissolo háplico		Restricted*
		Gleissolo tiomórfico húmico		Restricted*
		Latossolo vermelho amarelo álico		3
		Latossolo vermelho amarelo distrófico		7
		Neossolo flúvico		8
		Planossolo hálico		1
		Área urbana		1
Vegetação (V)	5	Floresta perenifólia		3
		Floresta subperenifólia		8
		Floresta subcaducifólia		4
		Floresta subperenifólia a subcaducifólia		1
		Campos de várzea		Restricted*
		Área urbana		2

*Restricted – pesos próximos a zero

5.2.6 Análise dos resultados e conclusão

Os dados foram analisados, levando em consideração o traçado do duto para o estabelecimento de trechos de maior suscetibilidade ao desenvolvimento de feições erosivas lineares naturais ou induzidas, com consequente dano.

As relações entre as feições erosivas lineares e os condicionantes físicos e antrópicos anteriormente citados foram realizadas por meio da quantificação desses fenômenos por classe em cada mapa temático. Desta forma, os gráficos elaborados no Excel 2010 mostram a quantidade das feições erosivas extraídas nas classes de cada mapa temático.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise da extração de feições erosivas lineares e superpastejo

A partir da técnica de interpretação visual, executada por meio de extração manual, as feições erosivas lineares correspondentes a sulcos, ravinas, voçorocas e solapamento de margem de rio, além das feições erosivas de superpastejo, totalizaram os seguintes números, apresentados na Tabela 5:

Tabela 5: Quantidade de feições extraídas no período de estudo.

Sulcos	Ravinas	Voçorocas	Solapamento de margem de rio	Superpastejo
74	28	1	78	105

A seguir, a Figura 12 destaca as feições erosivas extraídas na imagem (exceto a voçoroca) e as dificuldades encontradas na sua identificação, como sombreamento e a regeneração da vegetação nas feições.

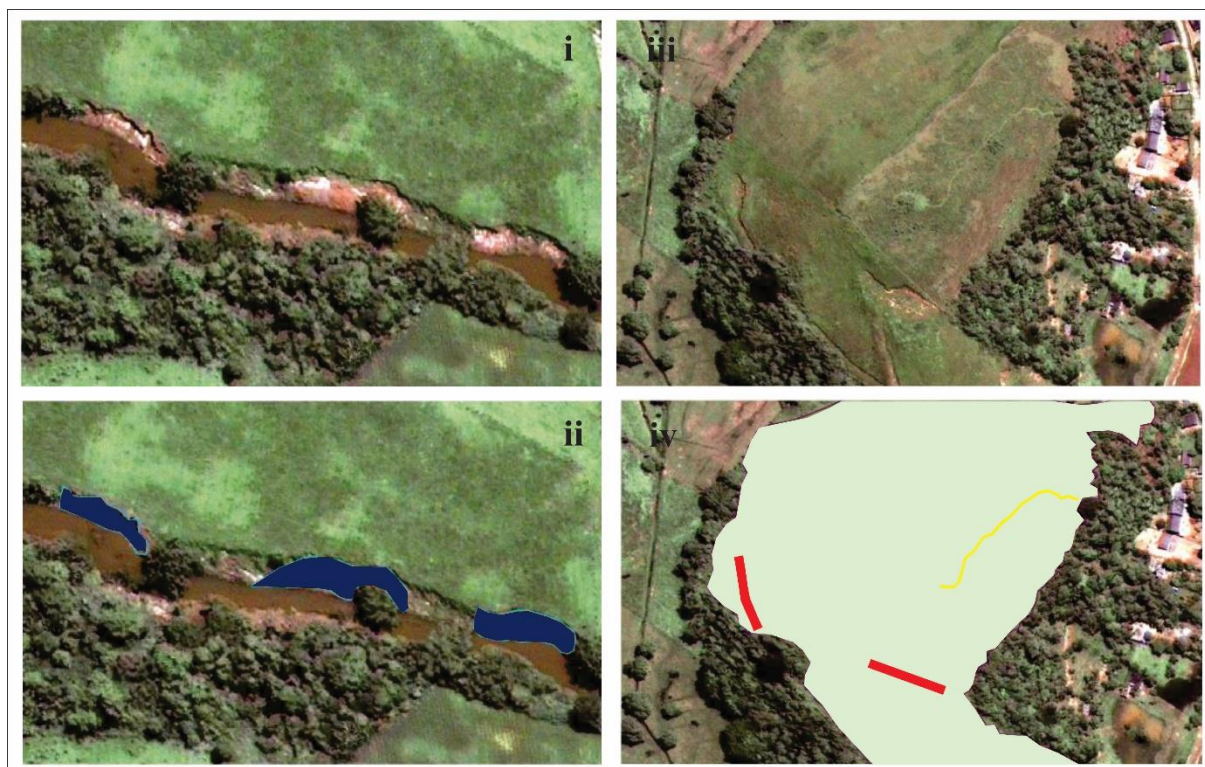


Figura 12: Feições erosivas extraídas no ArcGis 10.2.2. i) solapamento de margem rio; (ii) feição de solapamento extraída (polígonos azuis); (iii) sulco, ravinas e superpastejo; (iv) feições de sulco (traço amarelo), ravinas (traços vermelhos) e superpastejo (polígono verde claro) extraídas.

6.2 Influência do Superpastejo

As áreas de superpastejo não constituem feições erosivas hídricas lineares. Porém, durante a extração dessas feições, foi observado que muitas delas ocorriam sobre essas áreas. Além disso, constatou-se ainda que as feições erosivas lineares quando sobre superpastejo, possuem maior extensão e não costumam ocorrer isoladas.

Dessa forma, pode-se concluir que as trilhas de pisoteio do gado nessas áreas propiciam a concentração do escoamento superficial, apresentando alta tendência ao desenvolvimento de processos erosivos lineares. Portanto, sua alta capacidade de desencadear erosões hídricas lineares tornou importante o monitoramento e a quantificação dos fenômenos erosivos de superpastejo.

6.3 Relação entre as feições erosivas e seus condicionantes

6.3.1 Litologia

A Figura 13 mostra a relação das feições lineares e superpastejo com as unidades litológicas encontradas na área. O Apêndice 1 exibe o Mapa Litológico da área de estudo, em escala 1:70.000, com sobreposição das feições extraídas.

Como foi constatada a presença de apenas uma voçoroca em toda a área, a mesma não foi considerada na produção dos gráficos temáticos a seguir, a fim de não mascarar os dados.

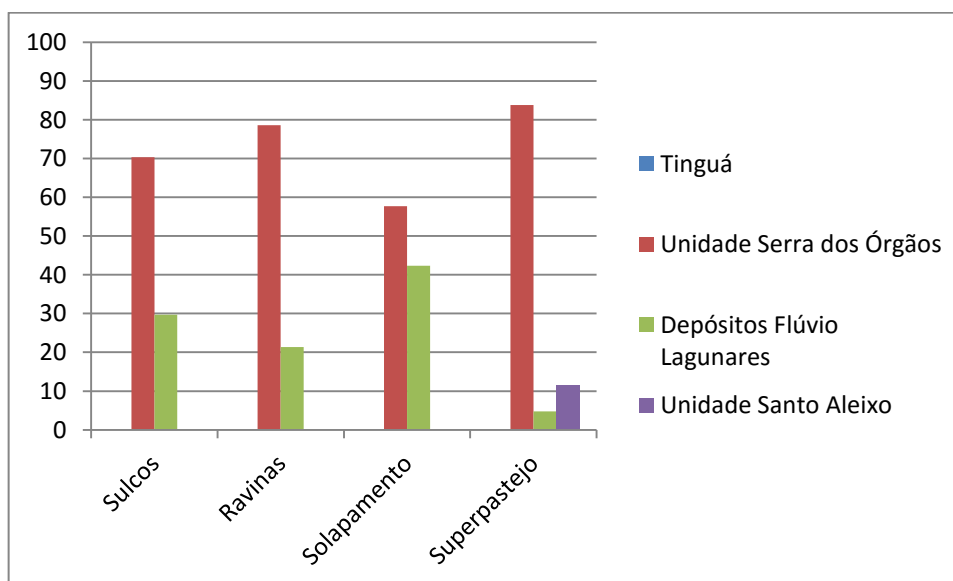


Figura 13: Gráfico relacionando unidades litológicas e as porcentagens de feições.

Observou-se que a maior concentração de feições erosivas lineares e de superpastejo ocorre na Unidade Serra dos Órgãos, constituída basicamente por granitoides. Secundariamente, as feições apresentam-se mais concentradas nos Depósitos cenozoicos/quaternários Flúvio Lagunares. A Unidade Santo Aleixo, também composta essencialmente por granitoides, apresenta apenas feições de superpastejo e a única ocorrência de voçoroca. A Unidade Tinguá não exibiu a ocorrência de nenhuma feição, devido provavelmente a sua ocorrência pouco abrangente na área de estudo.

6.3.2 Sistemas de Relevo

A Figura 14 relaciona os diferentes sistemas de relevo com a porcentagem das feições presentes nos mesmos. O Apêndice II corresponde ao Mapa de Sistemas de Relevo da área, na escala 1:70.000, com as erosões lineares e de superpastejo sobrepostas.

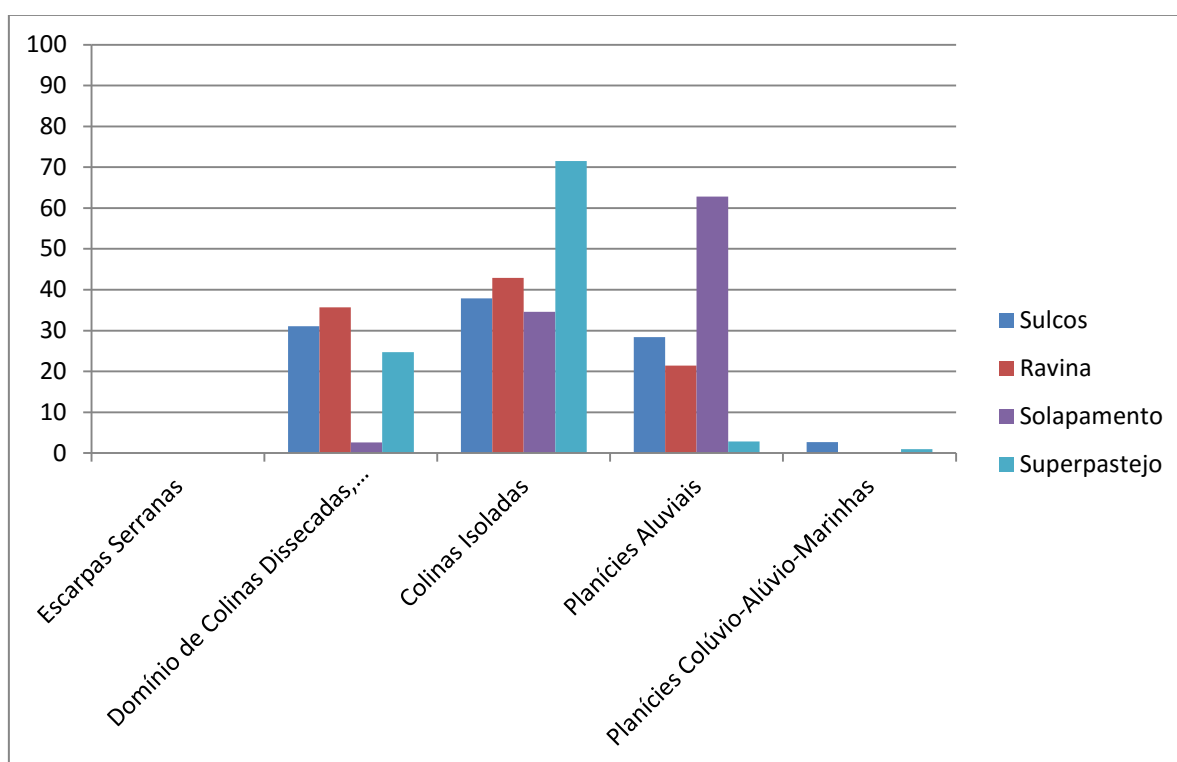


Figura 14: Gráfico relacionando sistemas de relevo e as porcentagens de feições.

Foi possível constatar que a maior parte das feições erosivas extraídas encontra-se na classe de Colinas Isoladas, que apresenta, ainda, a única ocorrência de voçoroca. Secundariamente, essas feições concentram-se na classe Planícies Aluviais, porém apresentando baixa quantidade de superpastejo.

O Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos é a terceira classe com maior concentração de feições, com poucas ocorrências de solapamento de margem de rio. As Planícies colúvio-alúvio-marinhas apresentam escassas ocorrências de superpastejo e sulcos. Na classe Escarpas Serranas não foi extraída nenhuma feição.

6.3.3 Classes Pedológicas

A Figura 15 associa as diferentes classes à porcentagem das feições presentes nas mesmas. O mapa de Classes Pedológicas da área de estudo, em escala 1:70:000, está representado no Apêndice III. As feições extraídas de erosões lineares e de superpastejo apresentam-se sobrepostas.

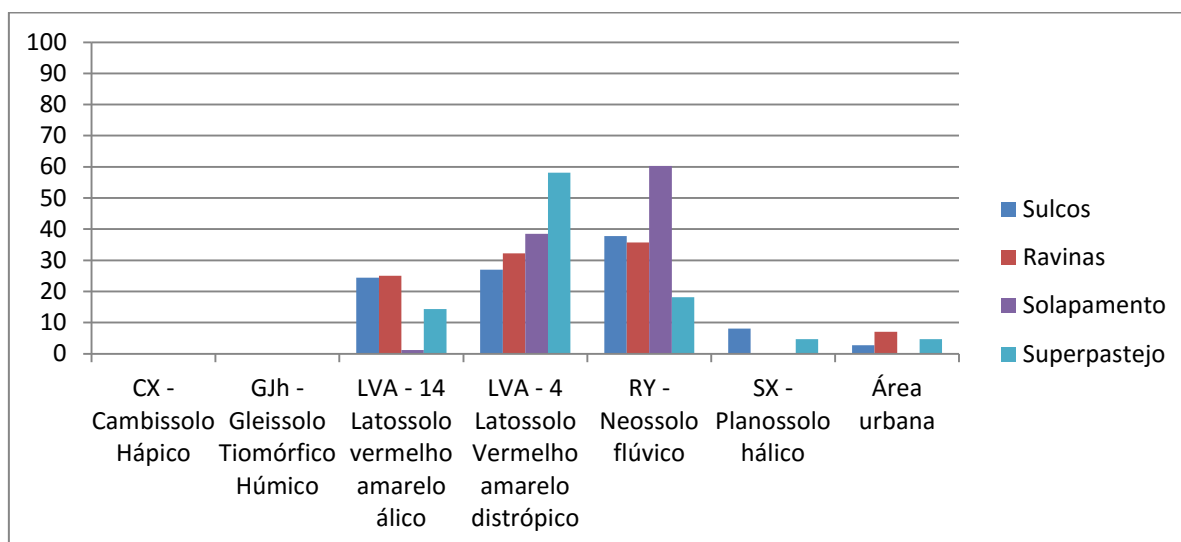


Figura 15: Gráfico associando classes pedológicas e as porcentagens de feições.

A partir do gráfico (Figura 6.4) e do mapa (Anexo III) apresentados, pode-se constatar que a maior parte das feições erosivas lineares, assim como as de superpastejo, está concentradas nas unidades LVA – 4 Latossolo vermelho amarelo distrópico e RY – Neossolo flúvico. A principal diferença entre essas duas classes, no que se refere à porcentagem de feições, reside no fato da classe LVA – 4 possuir maior concentração de feições de superpastejo, enquanto a classe RY concentra mais feições de solapamento de margem de rio. A classe LVA – 4 também possui a única ocorrência de voçoroca.

Secundariamente, as feições concentram-se na classe LVA – 14 Latossolo vermelho amarelo álico. As menores concentrações encontram-se nas classes SX – Planossolo hálico e Área Urbana, sendo que não há a ocorrência de todas as feições nessas duas classes.

As classes CX – Cambissolo Hápico e GJh – Gleissolo Tiomórfico Húmico não contabilizaram feições.

6.3.4 Uso e Ocupação

A Figura 16 mostra o gráfico que relaciona as classes de uso de ocupação com as feições extraídas na área. O Apêndice IV exibe o Mapa de Uso e Ocupação da área (escala 1.70:000), com sobreposição das feições extraídas.

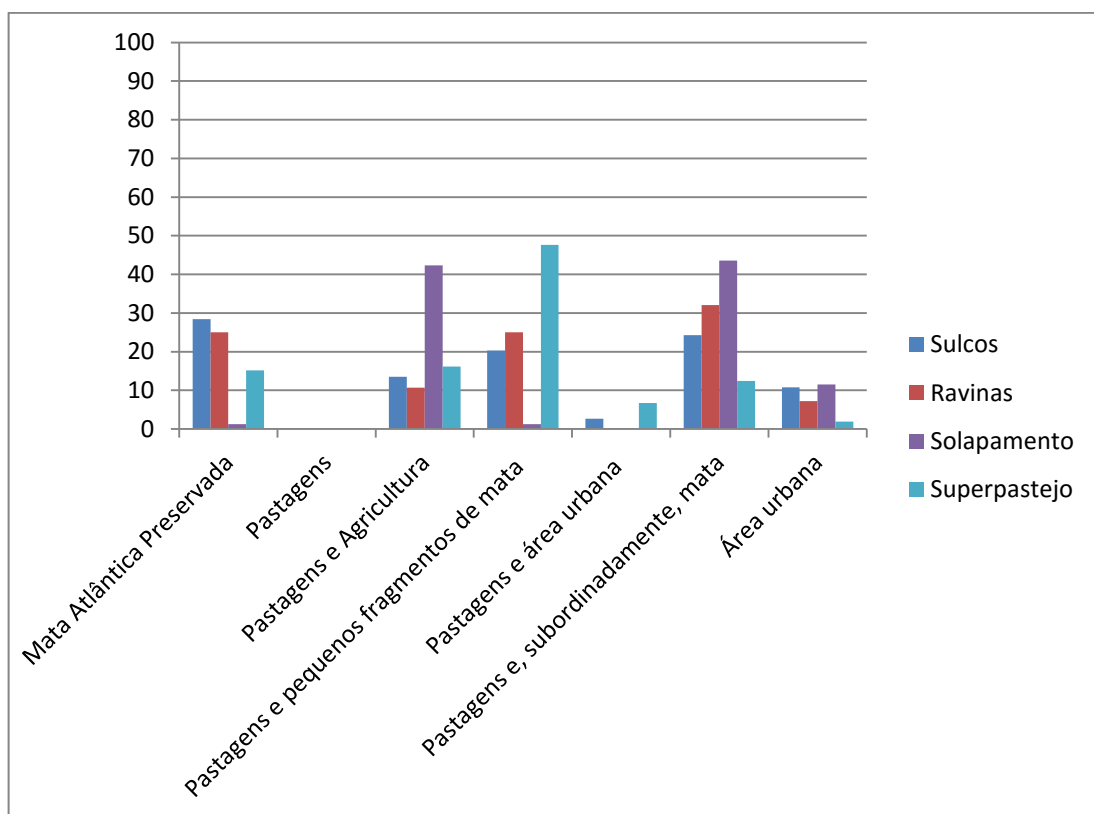


Figura 16: Gráfico relacionando classes de uso e ocupação e porcentagens de feições.

Foi possível observar que tanto as feições erosivas de superpastejo quanto as feições erosivas lineares se concentram na classe de Pastagens e, subordinadamente, mata. Secundariamente, essas feições estão concentradas nas classes de Pastagens e Agricultura, prevalecendo solapamento de margem de rio e Pastagens e pequenos fragmentos de mata, prevalecendo superpastejo. Essa classe apresenta a única ocorrência de voçoroca.

Em seguida, as feições concentram-se na classe Mata Atlântica Preservada, com baixa porcentagem de solapamento de margem de rio. A classe Área Urbana possui baixa e homogênea concentração de feições erosivas lineares, enquanto a classe de Pastagens e área

urbana possui escassas ocorrências apenas de sulcos e superpastejo. A classe Pastagens não apresentou nenhuma das feições erosivas.

6.3.5 Tipo de Vegetação

A Figura 17 relaciona os diferentes tipos de vegetação com a porcentagem das feições presentes nos mesmos. O Apêndice V corresponde ao Mapa de Vegetação Natural da área, na escala 1:70.000, com as feições de erosões lineares e de superpastejo sobrepostas.

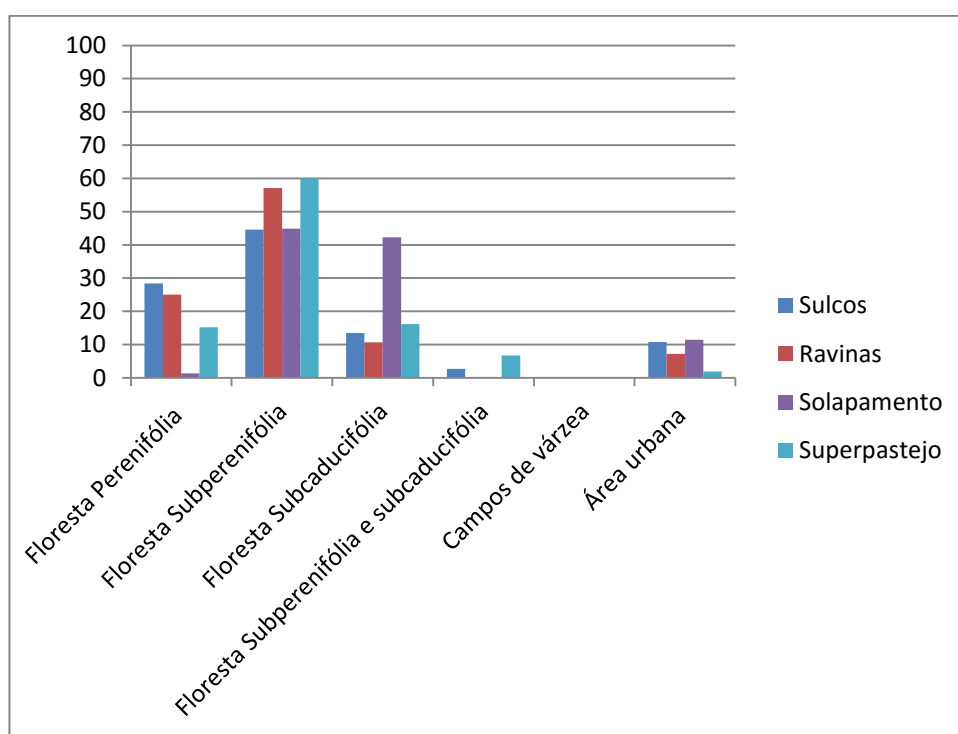


Figura 17: Gráfico relacionando os tipos de vegetação com as porcentagens das feições.

A partir do gráfico e do mapa apresentados (respectivamente, Figura 6.10 e Anexo V), pode-se observar que as feições erosivas lineares e de superpastejo se concentram na Floresta Subperenifólia, tipo de vegetação que também possui a única ocorrência de voçoroca.

Secundariamente, essas feições se concentram na Floresta Subcaducifólia e na Floresta Perenifólia, sendo nessa última praticamente nula a porcentagem de solapamento de margem de rio. Em menor concentração estão as feições presentes na Área Urbana. Na Floresta Subperenifólia e subcaducifólia, ocorrem apenas sulcos e superpastejos, em muito baixa concentração. Ausência total de feições foi observada nos Campos de Várzea.

6.3.6 Declividade

A Figura 18 relaciona a porcentagem dessas feições com as diferentes classes de declividade. O Apêndice VI corresponde ao Mapa Declividade da área, na escala 1:70.000, com sobreposição das erosões lineares e superpastejo.

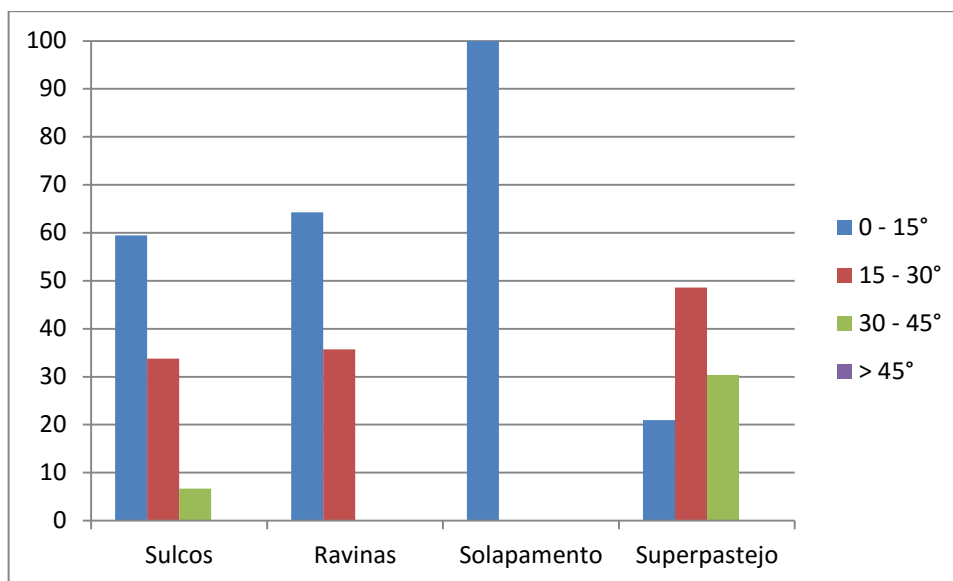


Figura 18: Gráfico relacionando classes de declividade com as porcentagens das feições.

Observa-se que as feições extraídas, tanto erosões lineares quanto superpastejo, concentram-se na classe de declividade 0 – 15°, sendo que todas as ocorrências de solapamento de margem de rio estão inclusas neste intervalo. Os solapamentos se apresentam exclusivamente na região de baixa declividade pois tais feições apenas se desenvolvem nas planícies aluvionares, que apresentam baixas inclinações.

Secundariamente, as feições se concentram na classe 15 – 30°. A classe 30 – 45° apresenta ocorrências de sulcos e superpastejo, além de possuir a única voçoroca extraída na área. O intervalo de maior declividade, > 45°, não apresenta nenhuma feição erosiva.

6.3.7 Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares

Com a utilização dos mapas temáticos exibidos anteriormente, Mapa Litológico, Mapa de Sistemas de Relevo, Mapa de Classes Pedológicas, Mapa de Uso e Ocupação, Mapa de Tipos de Vegetação Natural e Mapa de Declividade, e empregando-se a técnica de análise

multicriterial ponderada, foi elaborado o Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares, apresentado na escala 1:70.000.

A Figura 19 mostra o gráfico que relaciona a porcentagem de cada feição com cada uma das classes de suscetibilidade. O Apêndice VII exibe o mapa produzido, com sobreposição das feições erosivas lineares extraídas.

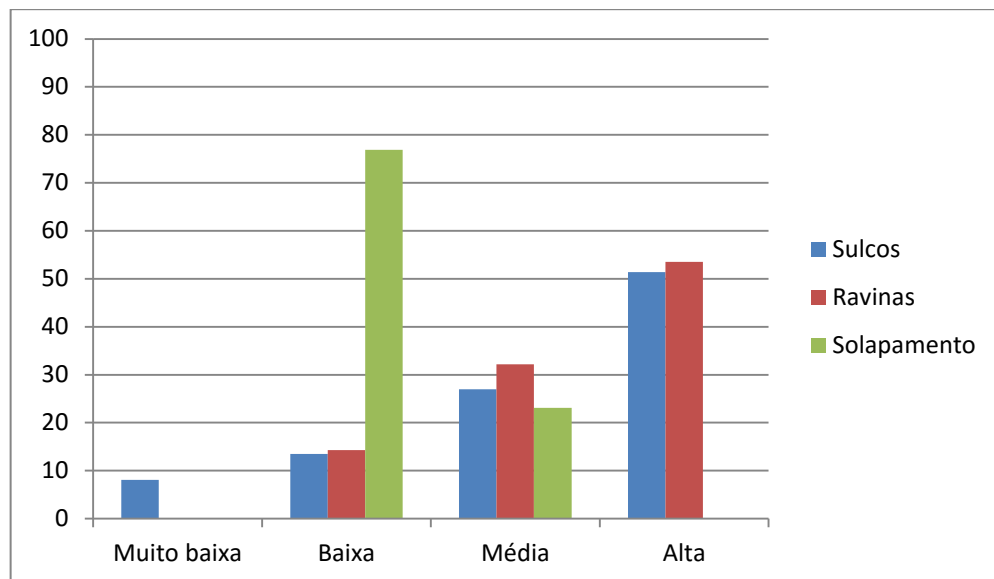


Figura 19: Gráfico relacionando as classes de suscetibilidade e quantidade de feições erosivas.

A declividade foi considerada como o condicionante natural de maior influência no desenvolvimento de erosões. Na Figura 6.8 observa-se que o maior número de sulcos e ravinas ocorre na classe de alta suscetibilidade (30 – 45°). Na classe de baixa suscetibilidade, o elevado número de feições erosivas encontradas corresponde às feições de solapamento de margem de rio.

A classe de baixa suscetibilidade, mesmo apresentando elevada quantidade de feições devido às ocorrências de solapamento de margem de rio, ainda recebe tal classificação devido ao fato de que o solapamento ocorre apenas em circunstâncias específicas (baixa declividade, planície fluvial), não podendo ser considerado a feição mais determinante na classificação.

A classe de muito baixa suscetibilidade possui apenas escassas ocorrências de sulcos. A classe de média suscetibilidade apresenta ocorrências quantitativamente semelhantes de sulcos e ravinas. Apresenta, ainda, a única voçoroca observada.

7. CONCLUSÕES

A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto para extração das feições erosivas lineares e monitoramento das suas consequências se mostrou adequada para a área de estudo. As imagens do sistema sensor GeoEye, devido à sua alta resolução e capacidade de identificação de objetos de pequenas dimensões, foram bastante eficazes para a extração dessas feições erosivas. A utilização de geotecnologias como Sistemas de Informação Geográfica se mostrou eficiente para o tratamento e organização dos dados.

A interpretação dos mapas temáticos representativos das condicionantes naturais e antrópicas que influenciam o desenvolvimento dos processos erosivos analisados, aliado aos gráficos produzidos, permitiu concluir que as classes de maior suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos hídricos lineares são: Unidade Litológica Serra dos Órgãos, Sistema de Relevo de Colinas Isoladas, Classe Pedológica Neossolo Flúvico, Classe de Uso e Ocupação Pastagens e, subordinadamente, mata, Vegetação de Floresta Subperenifólia e Classe de Declividade 0 – 15°.

Os índices pluviométricos também constituem um fator importante na ocorrência das feições erosivas analisadas. No norte da área estudada, onde os índices são mais elevados, observa-se maior concentração de sulcos e ravinas. Já no sul da área estudada, onde há baixa pluviosidade, há poucas ocorrências dessas feições.

O Mapa de Suscetibilidade a Feições Erosivas Lineares é validado pelas ocorrências das feições extraídas, mais frequentes nas classes média a alta e quase inexistentes nas classes baixa a muito baixa. Portanto, conclui-se que a declividade é o principal condicionante das feições erosivas lineares, seguido dos Sistemas de Relevo, Unidades Litológicas, Classes de Uso e Ocupação, Classes Pedológicas e Tipos de Vegetação Natural.

As feições erosivas ocorrem tanto na Área de Influência Direta do duto, com destaque para as ocorrências de solapamento de margem de rio, visto que o duto encontra-se instalado próximo ao eixo principal do rio local; quanto na Área de Influência Indireta, com ocorrências de sulcos e ravinas principalmente nas classes de média e alta suscetibilidade.

Por meio da análise dos vários mapas temáticos, pode-se observar a variedade de classes de condicionantes físicos e antrópicos que são abrangidas pelas áreas de influência do Duto Orbel. Dessa forma, este trabalho pode contribuir para o monitoramento dos trechos do duto que abrangem essas unidades se mostra de elevada importância, quando se pretende prevenir acidentes ou aplicar eficientemente planos de contingência, preservando o ambiente físico e a estabilidade socioeconômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. *Províncias estruturais brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste*, 8. Campina Grande. Atas... Campina Grande: SBG-Núcleo do Nordeste, 1977. Boletim do Núcleo do Nordeste da SBG 6, p. 363-391.
- ALMEIDA FILHO, G. S.; RIDENTE JÚNIOR, J. L. *Erosão: Diagnóstico, prognóstico e formas de Controle. In: Simpósio nacional de Controle de Erosão*, VII, 2001, Goiânia. Anais... (CDROM). ABGE.
- AMADOR, E.S. 1997. *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos: homem e natureza. Rio de Janeiro*, Edição do Autor, 539 p.
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2002. *Portaria nº 125. 5.8.2002. DOU 6.8.2002*. Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2002/ago/sto/panp%20125%20-%202002.xml?fn=document-frame.htm\\$f=templates\\$3.0](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2002/ago/sto/panp%20125%20-%202002.xml?fn=document-frame.htm$f=templates$3.0)> Acessado em 24 set 2012.
- ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2014. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis*. 252 pág.
- ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. Disponível em: <http://www.atlasdasaguas.ufv.br/doce/impacto_ambiental_relevante_na_bacia_do_rio_doce_e_m_minas_gerais.html>. Acessado em 20 out 2015.
- AZEVEDO, E. C. de; SVERSUT, C. B. *Alterações dos atributos físicos e químicos do solo sob pastagem no sudoeste do estado de Mato Grosso. In: Revista Agricultura Tropical*, v. 9, n. 1, p. 7-23, 2007.
- BARCELLOS, A.O. *Avaliação de métodos para estimativas de massa de forragem em condições de pastejo*. 1990. 181f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Curso de Pósgraduação em Zootecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- BRITO NEVES, B. B. de, & CORDANI, U. G. *Tectonic evolution of South America during the late Proterozoic. In: Precambrian Research*, 53(1), 23-40, 1991.
- CÂMARA, G. Capítulo 1: Representação computacional de dados geográficos. *In: Casanova, M. et al (Ed.). Bancos de dados geográficos*. São Jose dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial - INPE. 2005, p. 1-44.
- CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2000. *Projeto Rio de Janeiro. Relatórios Técnicos*. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais – DRM – RJ.

COLLINS, M. G., STEINER, F. R., RUSHMAN, M. *Land-use suitability analysis in the United States: historical development and promising technological achievements. Environment Management.* v. 28, n. 5, p. 611-62, 2001.

CORSEUIL, C. W.; CAMPOS, S. *Análise de adequação do uso das terras por meio de técnicas de geoprocessamento e análise de multicritérios. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR). 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2471-2478. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7.*

EASTMAN, J. R. 2003. *Idrisi Kilimanjaro: guide to GIS and image processing.* Worcester: Clark University, 328p. Manual Version 14.00.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).*

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.* 2. ed. Rio de Janeiro. 306p, 2006.

ESRI – ENVIRONMENTAL SYSTEM RESEARCH INSTITUTE. ARC/INFO v.10 Redlands, 2014. Programa de computador. DVD-ROM.

FENDRICH, R.; OBLADEN, N.L.; AISSE, M.M. & GARCIAS, C.M. *Drenagem e Controle da Erosão Urbana.* Curitiba: Champagnat, 4. Ed., 486 p, 1997.

FERREIRA, M. V. *Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte.* 2009. 184f. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

FLORENZANO, T.G. *Imagens de satélite para estudos ambientais.* São Paulo: Oficina de Textos. 2002.

FOGLIATTI, M. C.; FILIPPO, S.; GOUDARD, B. *Avaliação de impactos ambientais – Aplicação ao Sistema de Transporte.* Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2004.

FONSECA, M.J.G.; PEÇANHA, R.M.; JUNHO, M.C.B.; FRANCISCO, B.H.R.; DREHER, A.M. *Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:400.000).* Texto explicativo, DNPM, 141 p. 1998.

GANDOLFI, S. *História natural de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas.* 2000. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GEOEYE INC. 2009. GeoEye Product Guide. Disponível em: <http://www.genesiis.com/pdf/2009_geoeeye_product_guide.pdf>. Acessado em 30 out 2012.

GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y. *Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido.* São Paulo: IPT, 48 p, 1976.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; SILVA, L.C.; CAMPOS NETO, M.C.; TROUW, R.A.J. *A Evolução Tectônica da Província Mantiqueira*. In: Mantesso-Neto, V.; Bartorelli, A.; Carneiro, C.D.R.; Brito Neves, B.B. (Coords.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Beca, São Paulo, p. 203-234, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Malha municipal digital, Escala 1:500.000*. IBGE 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/default_prod.shtm#TOPO>. Acesso em: 04 Mar.2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Cidades*. IGBE 2010. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/home.php?lang=>>>. Acesso em: 02.Set.2015.

IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Manual de ocupação de encostas, São Paulo: USP, 1991.

JANG, H.; EASTMAN, J. R. *Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS*. *International Journal of Geographical Information Science*. v. 14, n. 2, p.173-184, 2004.

JENSEN, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2^a ed. Nova Jersey: Prentice Hall, 1996. 318 p.

JETTEN, V.; GOVERS, G.; HESSEL, R. Erosion models: quality and spatial predictions. *Hydrological Processes*, Chichester, v. 17, n. 5, p. 887-900, Apr. 2003.

JICA. Japan International Cooperation Agency. *The study of recuperation of the Guanabara Bay ecosystem*. Supporting Report, Tokyo, Kokusai Kogyo Co., Ltd, Vol. 1-4. 1994.

LORENZO, M.P. *Caracterização dos impactos ambientais negativos e medidas mitigatórias do processo de assoreamento do Lago Igapó, Londrina – PR*. 2011. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso. UNIFIL – Centro Universitário Filadélfia.

LU, D. S.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. *Change detection techniques*. *International Journal of Remote Sensing*. Jun. Vol. 25, n. 12, p. 2365-2401. 2004.

MALCZEWSKI, J. *GIS - based land-use suitability analysis: a critical overview*. *Progress in Planning*. v. 62, n. 1, p. 3-65. 2004.

MANSUR, K.; MEDEIROS, F.; GUEDES, E.; GUIMARÃES, P. V. *Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro - As rochas nos contam sua história*. DRM-RJ. In: Simpósio de Geologia do Sudeste, IX, Niterói. 2005.

MARCELINO, E.V. *Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG*. 2003 177p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos.

MARCELINO, E. V. *Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos*. Santa Maria: CRS/INPE. 2008.

MATHER, P. M. 1987. *Computer processing of remotely-sensed images: An introduction*. Chichester: John Wiley & Sons, 1987. 292 p.

MOREIRA, M.A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. 3ª Ed. Viçosa: Ed.UFV, 2005. 320 p.

NOGUEIRA-JUNIOR, J. & MARQUES, A. S. Capítulo 30: Linhas de transmissão e dutovias. In: Oliveira, A. M. S. & Brito, S. N. A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, São Paulo, 1998. p. 475-485.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 3ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, A.M. dos. S. 1994. Depósitos tectogênicos e assoreamento de reservatórios. Exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/RJ. São Paulo. 1994. 211f. (Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Geografia – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP).

ROBERTO, D.M. *Diagnóstico da Hidrografia Estação Ecológica da Guanabara e Região*. In: Plano de Manejo da Estação Ecológica da Guanabara. 761 – 784. 2009.

PROIN/CAPEES & UNESP/IGCE. Material Didático: arquivos de transparências (CD). Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/interacao/inter08b.html>>. Acessado em 20 out 2015.

ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Dordrecht. Kluwer Academic. 1996.

RSI - RESEARCH SYSTEMS INC. *The Environment for Visualizing Images* - ENVI. Boulder, CO, USA, 2009.

SALOMÃO, F.X.T. & IWASA, O.Y. *Erosão e a ocupação rural e urbana*. In: BITAR, O.Y. (Coord.). Curso de geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 3.2, p.31-57.

SANTORO, J. *Erosão Continental*. In: TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (org.). *Desastres Naturais: Conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

SCHOTT, J.R. *Remote sensing: the image chain approach*. Nova Iorque: Oxford University Press, 394 p. 1997.

STRAHLER, A. *Geografia física*. Omega, Barcelona. 1975.

TERZIAN, R. L. *Conceitos e metodologias de gestão de projeto e sua aplicação ao caso da integridade da malha dutoviária*. 2005. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Industrial) - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0311068_05_cap_05.pdf>.

TRANSPETRO – PETROBRÁS TRANSPORTE S. A.. *Atividades*. 2012. Disponível em: <www.transpetro.com.br>. Acesso em 06 fev. 2012.

VALENTE, R. O. A. *Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG*. 2005. Tese de Doutorado em Recursos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 121 p.

VEDOVELLO, R. & MACEDO E. S. Capítulo 6. In: Santos, R. F. (org). *Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p. 75-93.

WEILL, M. de A.; PIRES NETO, A. G. *Erosão e Assoreamento*. In: SANTOS, R. F. dos (org.). *Vulnerabilidade Ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?* Brasília: MMA, 2007. 192p.

ZÊZERE, J. L.; RODRIGUES, M. L.; REIS, E.; GARCIA, R.; OLIVEIRA, S.; VIEIRA, G.; FERREIRA, A. B. *Spatial and temporal data management for the probabilistic landslide hazard assessment considering landslide typology*. In: LACERDA, W. A.; EHRLICH, M.; FONTOURA, S. A. B.; SAYÃO, A. S. F. (Ed). *Landslides: evaluation & stabilization*. Londres: Taylor & Francis Group, 2004. p. 117-123.

APÊNDICE I - MAPA DE UNIDADES LITOLÓGICAS E FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES E DE SUPERPASTEJO

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Unidades Litológicas:

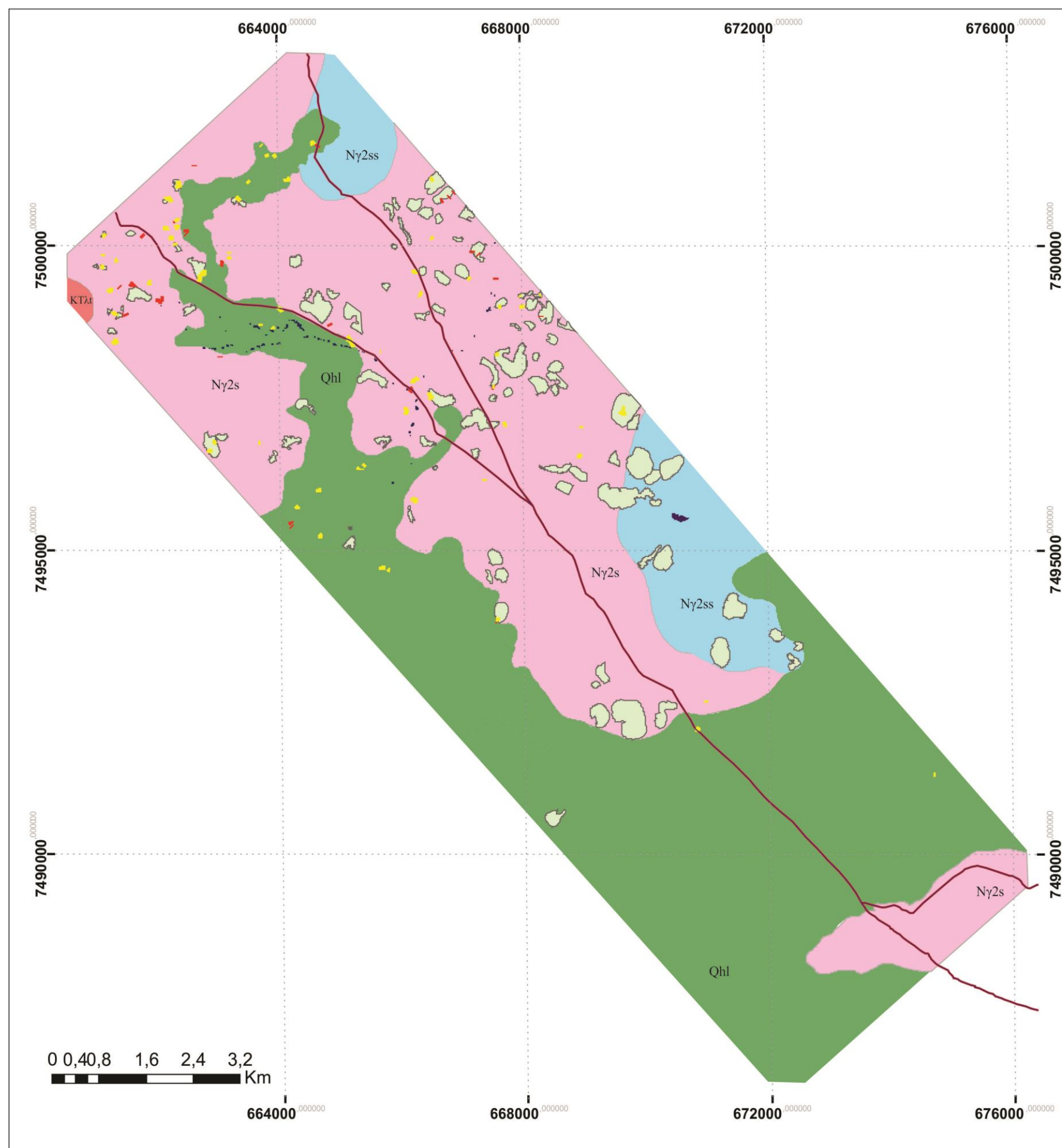
- Suíte do Tinguá**
Rochas alcalinas representadas por nefelina sienitos, fonólitos, tinguaitos e brechas.
- Serra dos Órgãos**
Granitóides constituídos por hornblenda-biotita, de granulação grossa e composição tonalítica a granítica.
- Depósitos Flúvio - Lagunares**
Argila rica em matéria orgânica, apresentando concentrações locais de diatomita e turfas.
- Santo Aleixo**
Granitóides constituídos por granada-hornblenda-biotita e granodiorito rico em xenólitos de paragnaisse.



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984
Projeção: UTM / 23S
Unidade: metros

Fonte: adaptado de CPRM (2000)



APÊNDICE II - MAPA DE
SISTEMAS DE RELEVO E FEIÇÕES
EROSIVAS LINEARES E DE
SUPERPASTEJO

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Sistemas de Relevo:

- Escarpas serranas**
Relevo de degradação áreas montanhosas, extremamente acidentado As vertentes são retilíneas a côncavas, escarpadas e com topos de cristas alinhados, aguçados ou levemente arredondados.
- Domínio de colinas dissecadas, morrotes e morros baixos**
Relevo de degradação em planaltos dissecados ou superfícies aplainadas. As colinas dissecadas possuem vertentes convexo a côncavas e topos arredondados e/ou alongados.Os morrotes e morros baixos apresentam vertentes retilíneas e côncavas e topos aguçados ou alinhados.
- Planícies aluviais**
Relevo de agradação continental, constituído por planícies de inundação, terraços fluviais e leques aluvio-coluviais
- Colinas isoladas**
Formas de relevo residuais, cujas vertentes são convexas e os topos são arredondados ou alongados. Apresenta sedimentação de colúvios.
- Planícies alúvio-colúvio-marinhas**
Relevo de agradação litorânea, composto por terrenos areno-argilosos das baixadas.



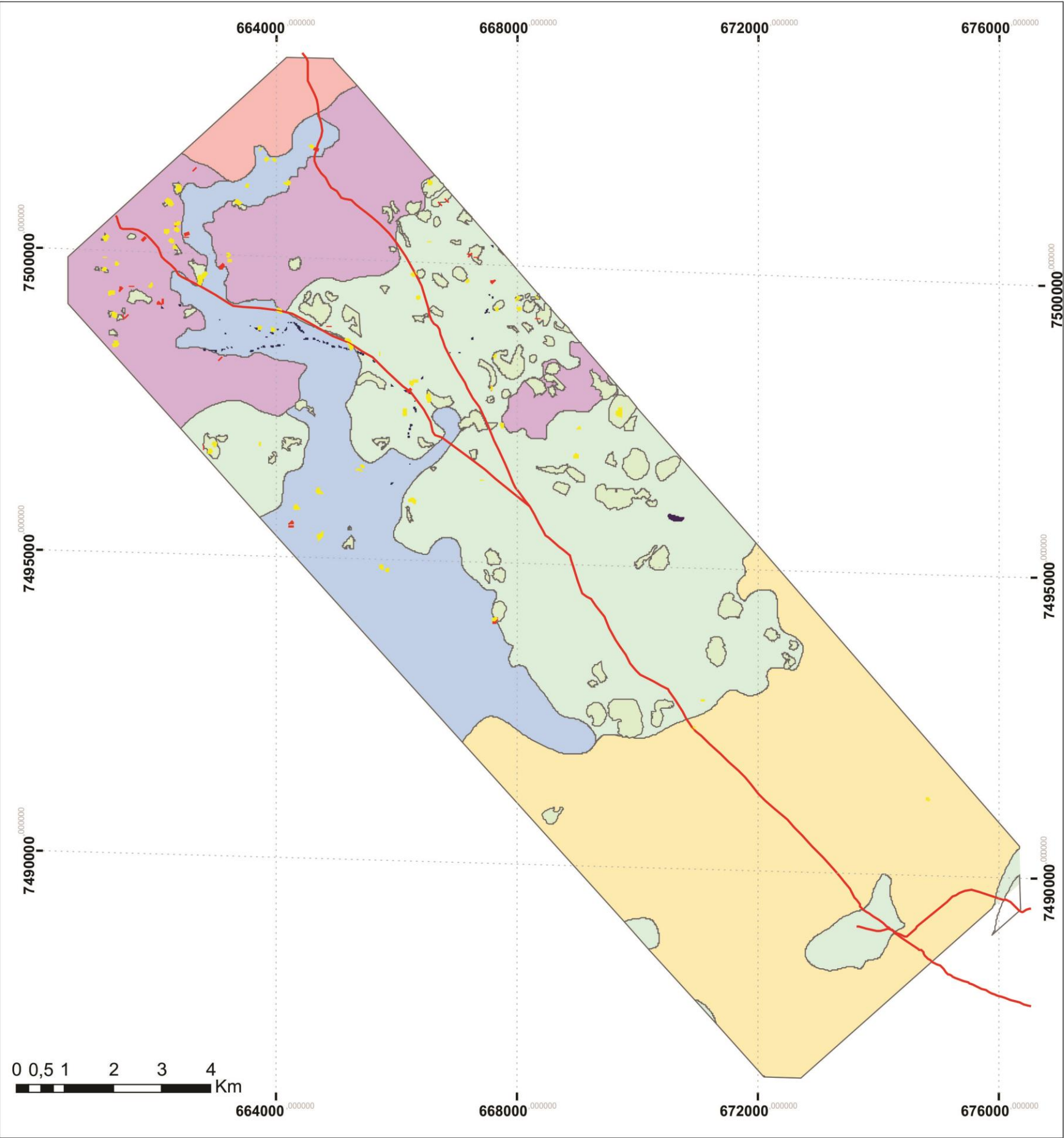
Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

Projeção: UTM / 23S

Unidade: metros

Fonte: adaptado de CPRM (2000)



APÊNDICE III - MAPA DE UNIDADES PEDOLÓGICAS E FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES E DE SUPERPASTEJO

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Unidades Pedológicas:

- CX Cambissolo háplico**
Solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B incipiente. Teores de argila relativamente elevados.
- LVA - 14 Latossolo vermelho-amarelo álico**
Apresenta baixos teores de Fe_2O_3 , menores teores de base e saturação com alumínio mais elevada nas regiões mais frias e úmidas. Baixa fertilidade.
- RY Neossolo flúvico**
Material mineral mais recente do Quaternário ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico.
- LV - 4 Latossolo vermelho-amarelo distrófico**
Apresenta baixos teores de Fe_2O_3 , menores teores de base nas regiões mais frias e úmidas. Baixa fertilidade.
- SX Planossolo háplico**
Solos minerais, geralmente hidromórficos, caracterizado por brusca mudança textural ao longo dos horizontes.
- GJh Gleissolo tiomórfico húmico**
Solos originados de sedimentos quaternários, portanto relativamente recentes e pouco evoluídos. Apresentam grande variabilidade espacial.
- AUr Área Urbana**



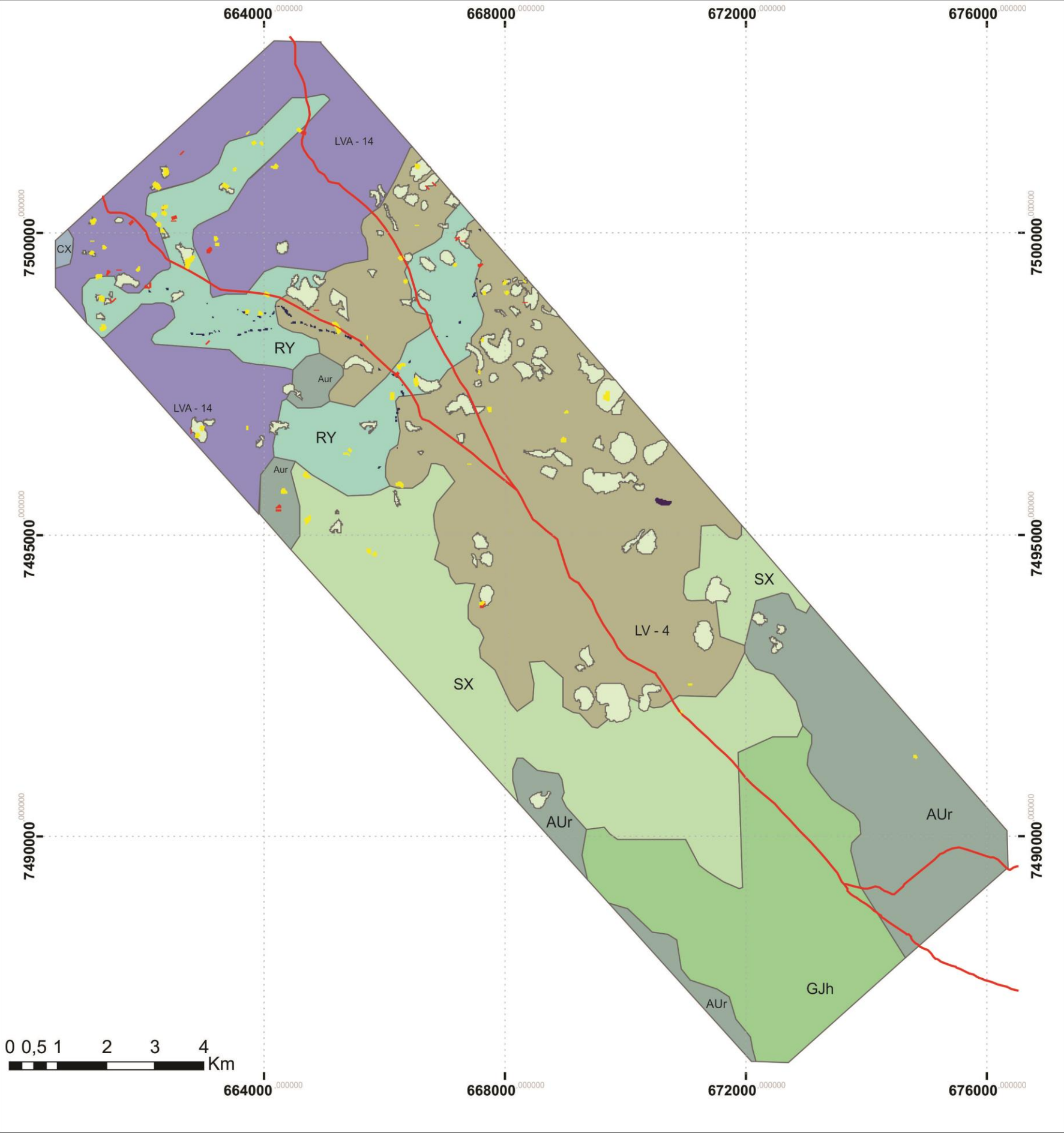
Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

Projeção: UTM / 23S

Unidade: metros

Fonte: adaptado de EMBRAPA (2006)



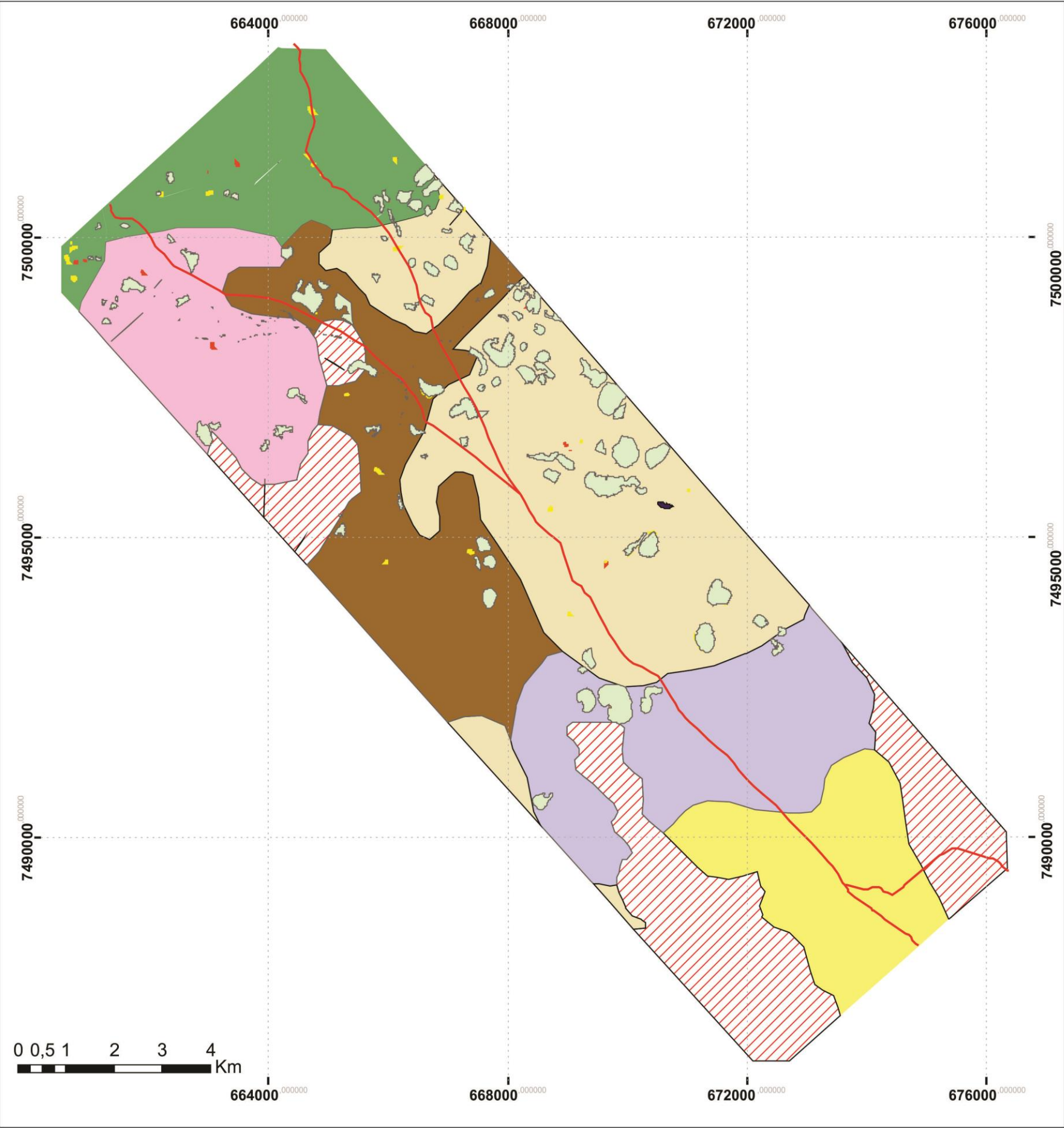
APÊNDICE IV - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO E FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES E DE SUPERPASTEJO

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Classes de Uso e Ocupação:

- Mata Atlântica Preservada
- Pastagens e, subordinadamente, mata
- Pastagens e agricultura
- Pastagens e pequenos fragmentos de mata
- Pastagens e área urbana
- Pastagens
- Área Urbana



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

Projeção: UTM / 23S

Unidade: metros

Fonte: adaptado de CPRM (2000)

APÊNDICE V - MAPA DE TIPOS DE VEGETAÇÃO NATURAL E FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES E DE SUPERPASTEJO

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Unidades Pedológicas:

- Floresta perenifólia**
Alta densidade vegetal, alta pluviosidade, influência de clima úmido marítimo, solo rico em nutrientes
- Floresta subperenifólia**
Características semelhantes à Floresta Perenifólia, porém seu principal aspecto é sua folhagem permanente.
- Floresta subcaducifólia**
Ambiente transita entre a zona úmida costeira e a zona semi-árida. Vegetação perde sua folhagem periodicamente, como mecanismo de defesa contra a seca fisiológica.
- Floresta subperenifólia a subcaducifólia**
Vegetação não apresenta características bem definidas, com comportamento variando entre o apresentado pelas florestas subperenifólia e subcaducifólia.
- Campos de Várzea**
Ocorre nas várzeas úmidas e periferia dos cursos de água, constituindo-se principalmente por espécies da família das gramíneas e ciperáceas.
- Área Urbana**



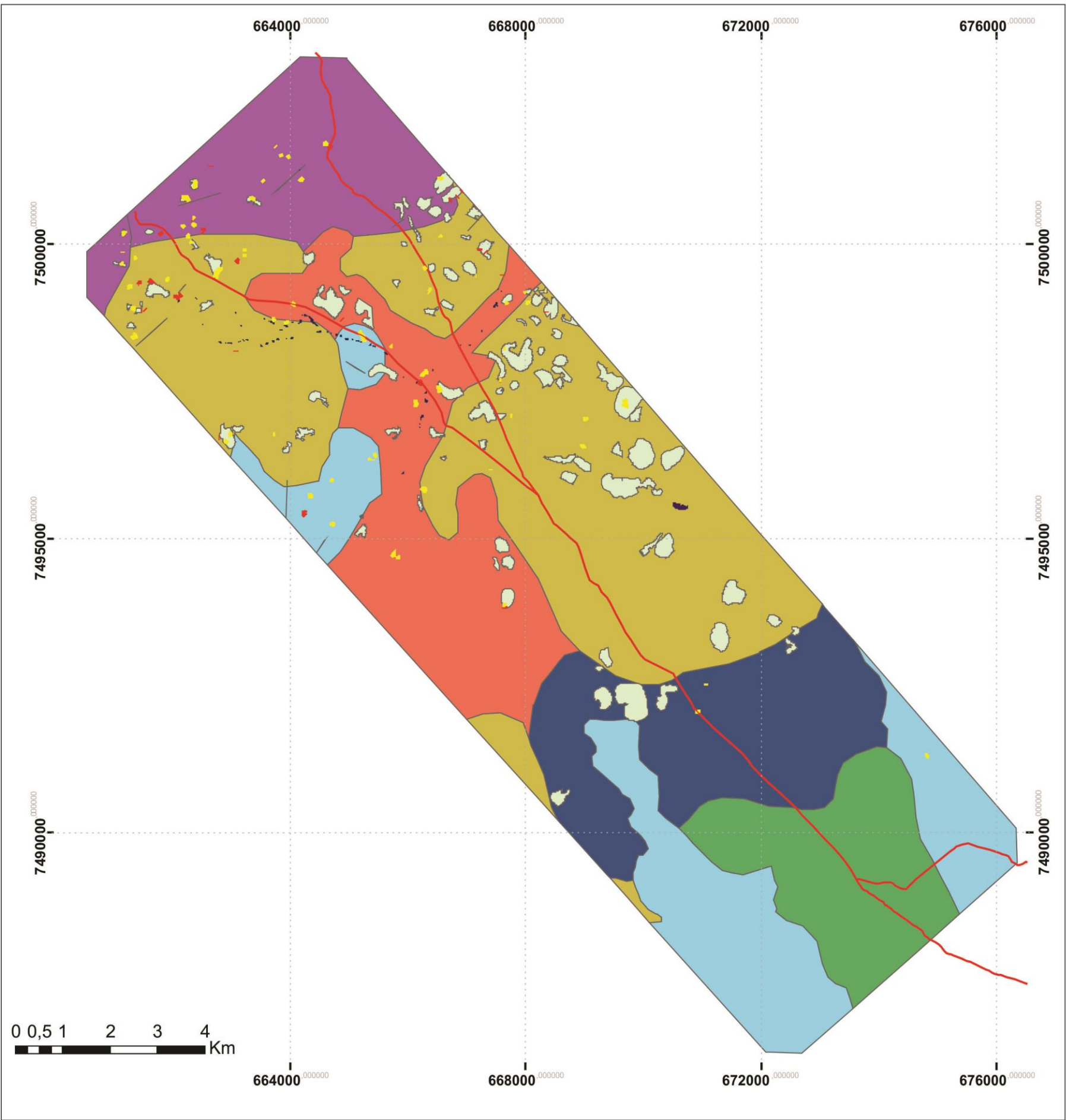
Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984

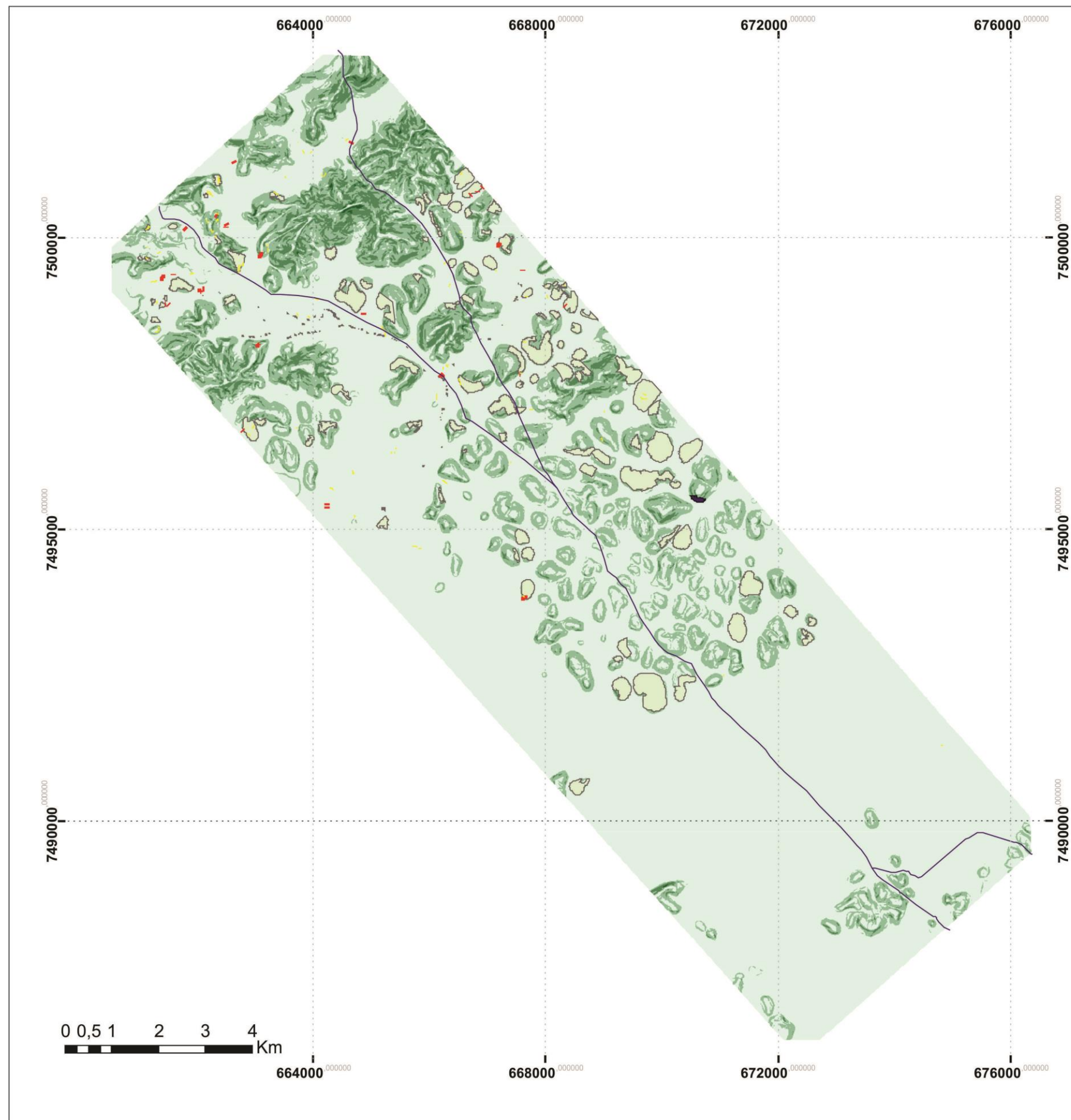
Projeção: UTM / 23S

Unidade: metros

Fonte: adaptado de CPRM (2000)



APÊNDICE VI - MAPA DE DECLIVIDADE E FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES E DE SUPERPASTEJO



Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio
- Superpastejo

Classes de declividade:

- 0- 15°**
Topografia plana a suave-ondulada e ondulada.
- 15 - 30°**
Topografia ondulada a forte ondulada.
- 30 - 45°**
Topografia forte ondulada.
- > 45°**
Topografia montanhosa.



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984
Projeção: UTM / 23S
Unidade: metros

Base cartográfica: FUNDREM (1975)

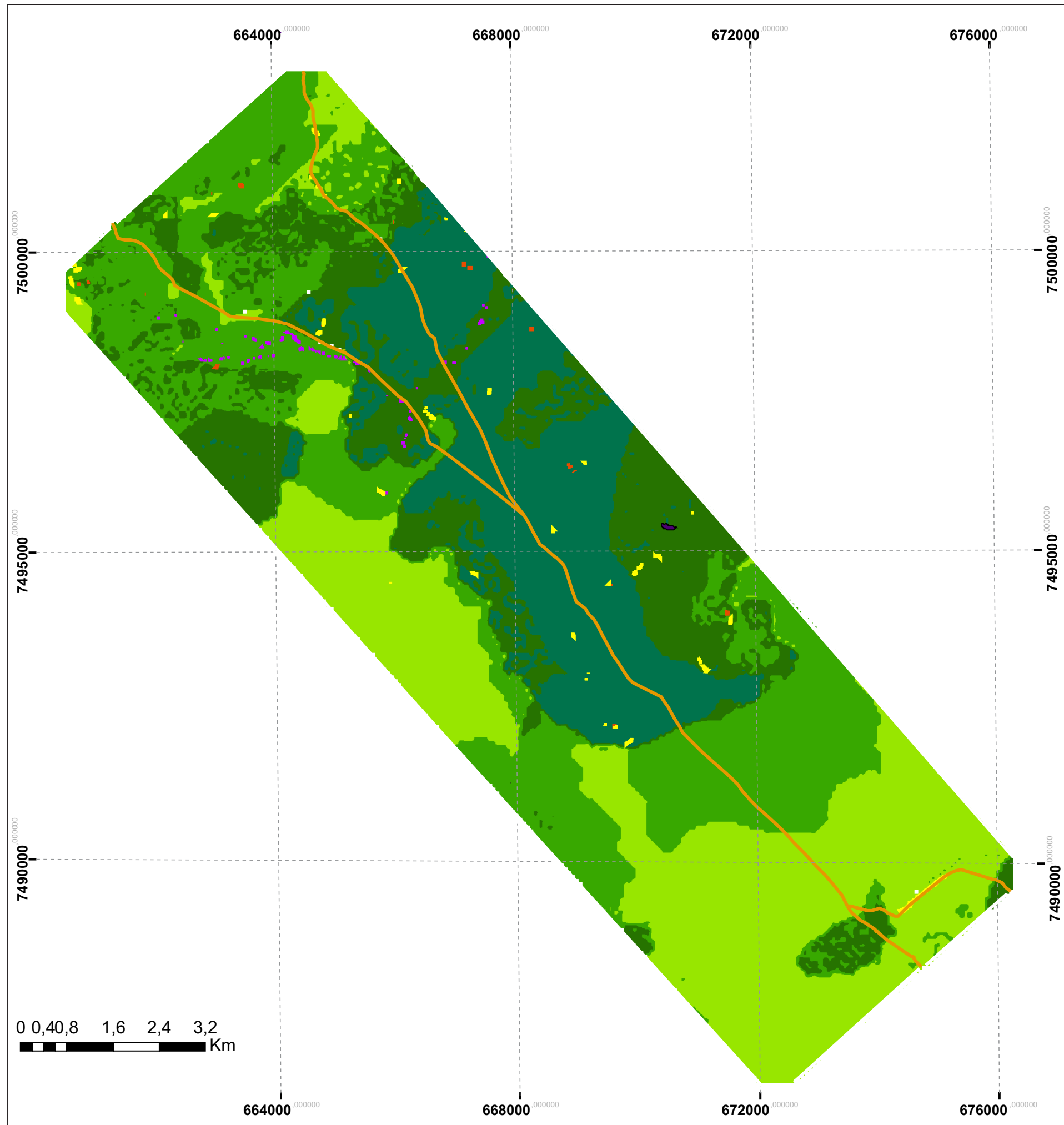
APÊNDICE VII - MAPA DE SUSCETIBILIDADE A FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES

Legenda:

- Duto Orbel
- Sulcos
- Ravinas
- Voçoroca
- Solapamento de margem de rio

Classes de Suscetibilidade:

- Muito baixa
- Baixa
- Média
- Alta



Escala 1:70.000

Datum: WGS 1984
Projeção: UTM / 23S
Unidade: metros

Fonte: adaptado de CPRM (2000)