

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
NÚCLEO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ELAINE LIMA DA FONSECA

PROCESSOS EROSIVOS EM SUPERFÍCIES TABULARES COM  
EVOLUÇÃO DE VOÇOROCAMENTO EM ÁREAS DE PASTAGENS  
CULTIVADAS (*Braquiária brizantha* cv. Marandu) NO MUNICÍPIO DE  
COLORADO DO OESTE – RONDÔNIA

Porto Velho

2017

ELAINE LIMA DA FONSECA

PROCESSOS EROSIVOS EM SUPERFÍCIES TABULARES COM EVOLUÇÃO  
DE VOÇOROCAMENTO EM ÁREAS DE PASTAGENS CULTIVADAS  
(*Braquiária brizantha* cv. Marandu) NO MUNICÍPIO DE COLORADO DO  
OESTE – RONDÔNIA.

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Geografia PPGG- Programa de Pós Graduação em Geografia, como requisito para obtenção do título de mestre em Geografia pela Universidade Federal de Rondônia.

Linha de Pesquisa: Paisagem, Natureza e Sustentabilidade.

Orientador: Prof.º Dr.º Eliomar Pereira da Silva Filho

Porto Velho

2017

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES**

F676p

Fonseca, Elaine Lima da .

Processos erosivos em superfícies tabulares com evolução de voçorocamento em áreas de pastagens cultivadas ( *Branquiaria brizantha* *vc. marandu* ) no município de Colorado do Oeste - Rondônia / Elaine Lima de Fonseca. - Porto Velho, Rondônia, 2017. 158f.:il.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

1. Monitoramento - GPS geodésico. 2. Análise tridimensional .  
3. Voçorocamento - evolução. 4. Morfometria. I. Silva Filho, Eliomar Pereira da. II. Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. III. Título.

CDU: 911.2

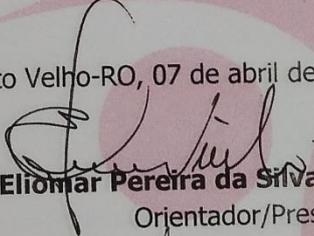
**Bibliotecária Responsável: Carolina Cavalcante CRB11/1579**

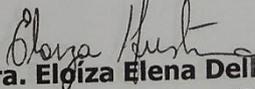
## ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

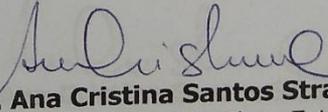
### Elaine Lima da Fonseca

A Banca de Defesa de Mestrado presidida pelo orientador/Presidente **Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho** e constituída pelos examinadores: **Profa. Dra. Eloíza Elena Della Justina** – Examinadora Interna/PPGG/UNIR e **Profa. Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa** - Examinadora Externa/SIPAM reuniram-se no dia 07 de abril de 2017, às 9 horas no auditório Milton Santos/CEGEA/UNIR/Bloco 1T, para avaliar a dissertação de mestrado intitulada "**Processos erosivos em superfícies tabulares com Evolução de voçoramento em áreas de pastagens cultivadas (Branquiaria Brizantha ev. Marandu) no Município de Colorado do Oeste - Rondônia**" da mestranda **Elaine Lima da Fonseca**, matrícula 201510017. Após a explanação da mestranda e arguição pela Banca Examinadora, a referida DISSERTAÇÃO foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada ΔPROVADA. A candidata terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação, sob pena de invalidação, pelo colegiado, do processo de defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 52 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Dissertação revisada.

Porto Velho-RO, 07 de abril de 2017.

  
**Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho**  
 Orientador/Presidente

  
**Profa. Dra. Eloíza Elena Della Justina**  
 Examinadora Interna/PPGG/UNIR

  
**Profa. Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa**  
 Examinadora Externa/SIPAM

## EPÍGRAFE

*“Porém devemos senhores, considerar também que se a alma for imortal, exigirá cuidados de nossa parte não apenas nesta porção do tempo que dominamos vida, senão o tempo todo em universal, parecendo que se expõe a um grande perigo quem não atender esse aspecto da questão. Pois se a morte fosse o fim de tudo, que imensa vantagem não seria para os desonestos, que se livrariam do corpo e da ruindade juntamente com a alma? Agora, porém, que se revelou imortal, não resta à alma outra possibilidade, a não ser tornar-se, quando possível, melhor e mais sensata. ”*

Platão

## DEDICATÓRIA

*Ao meu pequeno príncipe,  
Pedro Henrique Fonseca.*

## AGRADECIMENTO

Desejo aqui registrar os meus sinceros e profundos agradecimentos a algumas pessoas que contribuíram de maneiras distintas, porém não menos importante, para que eu pudesse concluir essa etapa.

Primeiramente, a Deus, ser supremo de infinita misericórdia e bondade, que me permitiu a realização de mais esse sonho. E, tão generosamente, me conduziu ao lar de tão grandes pessoas - pai, mãe, irmão e filhote - que foram o meu sustentáculo durante o período que tive de estar ausente.

Ao professor Eliomar Pereira da Silva Filho, orientador desta dissertação, que sempre depositou em mim imensa confiança. Obrigada por me conduzir nessa jornada de conhecimento, pelo seu acolhimento amigável, pela disposição em me ajudar e principalmente por compreender a minha humanidade diante das situações adversas que se apresentaram. Seus ensinamentos e sua sabedoria ficarão eternamente marcados na minha memória.

Às professoras da banca de qualificação, Eloisa Della Justine e Ana Cristina Strava Correa, que com imensa generosidade apontaram uma direção segura para o trabalho. Agradeço suas valiosas contribuições e sugestões de aprimoramento.

Ao professor Wilk Sampaio de Almeida que não mediu esforços para contribuir com sua sabedoria e conhecimento para o enriquecimento desta obra.

Aos meus queridos e eternos alunos Gaudêncio Henrique Pimentel Fernandes, Wilker Kaio dos Santos Nogueira e Cristiele de Oliveira Mendes e tantos outros alunos do Curso de Agronomia do IFRO (Colorado do Oeste) que sempre se dispuseram a ajudar.

Ao meu grande amigo Jonathan Ricardo Santin, pelas nossas longas conversas, sempre tão fomentadoras e produtivas. Obrigada por ter estado ao meu lado nos momentos difíceis, pela parceria, amizade sincera e apoio irrestrito.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse ao término das atividades.

## ÍNDICE

EPÍGRAFE .....	iii
DEDICATÓRIA .....	iv
AGRADECIMENTO .....	v
SUMÁRIO .....	vi
LISTA DE GRÁFICOS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE FOTOGRAFIAS .....	x
LISTA DE MAPAS .....	x
LISTA DE QUADROS .....	xi
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE SIGLAS .....	xii
RESUMO .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
Justificativa .....	18
Objetivos .....	19
Objetivo geral.....	19
<b>CAPÍTULO I</b> .....	20
1. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	20
1.1 Localização e histórico .....	20
1.1.1 Uso de ocupação do solo de Colorado Oeste .....	25
1.2 Clima.....	27
1.2.1 Temperatura .....	27
1.2.2 Precipitação .....	28
1.3 Hidrografia .....	29
1.4 Geologia .....	30
1.5 Geomorfologia .....	34
1.6 Pedologia.....	37
1.7 Vegetação.....	41
1.8 Aptidão agrícola .....	44
<b>CAPÍTULO II</b> .....	47
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	47
2.1 Voçorocamento .....	47
2.1.1 Início e evolução .....	47
2.1.3 Erosividade e erodibilidade .....	50

2.2 Aspectos morfométricos como subsídio aos processos erosivos.....	51
2.2.1 Hierarquia fluvial .....	52
2.2.2 Análise linear da rede hidrográfica .....	53
2.2.3 Análise areal da rede hidrográfica .....	54
2.2.4 Análise hipsométrica da rede hidrográfica.....	55
2.3 Geotecnologias aplicada no monitoramento de processos erosionais .....	56
2.3.1 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).....	56
2.3.2 Métodos de posicionamento .....	57
2.4 Modelo estatístico.....	59
2.4.1 Geoestatística .....	59
2.4.1.1 Semivariograma.....	60
2.4.1.2 Krigagem .....	61
2.4.2 Correlação e regressão lineares.....	62
<b>CAPÍTULO III</b> .....	64
3. Procedimentos metodológicos.....	64
3.1 Materiais.....	64
3.2 Métodos.....	66
3.2.1 Análise morfométrica .....	66
3.2.1.1 Análise linear.....	67
3.2.1.2 Análise areal .....	67
3.2.1.3 Análise hipsométrica .....	68
3.2.2 Monitoramento .....	69
3.2.2.1 Coleta dos dados.....	69
3.2.2.2 Processamento dos dados .....	70
3.2.2.2.1 Obtenção arquivo vetorial.....	71
3.2.2.3 Análise geoestatística .....	71
3.2.3 Classificação do solo .....	73
3.2.4 Erosividade e erodibilidade .....	73
3.2.4.1 Erosividade .....	73
3.2.4.2 Erodibilidade .....	74
3.2.4.3 Granulometria.....	75
3.2.4.4 Densidade de solo (DS) .....	75
3.2.4.5 Porosidade total (PT) .....	75
3.2.4.6 Umidade gravimétrica (UG) .....	76
3.2.4.7 Resistência a penetração (RP).....	76
3.2.5 Determinação taxa de perda do solo .....	76
3.2.5.1 Coeficiente de correlação linear (r).....	77

3.2.5.2 Regressão linear simples.....	78
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>79</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>79</b>
4.1 Morfometria .....	79
4.1.1 Hierarquia dos canais .....	79
4.1.2 Análise linear .....	81
4.1.3 Análise areal .....	83
4.1.4 Análise hipsométrica .....	85
4.2 Monitoramento da evolução do voçorocamento .....	91
4.2.2 Evolução do voçorocamento: análise tridimensional .....	93
4.2.2.1 Evolução do voçorocamento na borda da incisão .....	94
4.2.2.2 Evolução do voçorocamento no fundo da incisão .....	97
4.2.3 Efeito do pastoreio na evolução do voçorocamento.....	105
4.3 Fatores condicionantes do voçorocamento .....	105
4.3.1 Classificação do solo .....	106
4.3.1.1 Descrição do perfil.....	106
4.3.2 Pluviosidade .....	109
4.3.3 Erosividade e erodibilidade do voçorocamento .....	110
4.3.3.1 Erosividade .....	110
4.3.3.2 Erodibilidade .....	113
4.3.4 Granulometria.....	114
4.3.4.1 Composição granulométrica .....	115
4.3.4.1.1 Textura: areia, silte e argila.....	116
4.3.4.1.2 Classificação da areia .....	119
4.3.4.1.3 Estatística descritiva da granulometria.....	121
4.3.5 Propriedade física do solo.....	123
4.3.5.1 Densidade de solo.....	125
4.3.5.2 Porosidade total .....	126
4.3.5.4 Análise da estatística descritiva .....	127
4.3.6 Resistência a penetração .....	128
4.3.7 Análise da compactação do solo.....	135
4.4 Correlação e regressão linear.....	135
4.5 Análise integrada do processo de voçorocamento .....	137
4.5.1 Descrição geral .....	137
4.5.1.1 Aspectos geológicos .....	138
4.5.1.2 Aspectos geomorfológicos.....	140
4.5.1.4 Aspectos pedológicos .....	142

4.5.1.5 Aspectos da cobertura vegetal .....	143
4.5.1.6 Aspectos topográficos.....	144
<b>CAPÍTULO V</b> .....	147
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	147
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	149
REFERÊNCIAS.....	149

## LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 – Distribuição do volume precipitado no município de Colorado do Oeste.....	28
Gráfico 2 – Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Escondido.....	90
Gráfico 3 – Comportamento textural no perfil em porcentagem.....	108
Gráfico 4 – Distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil.....	108
Gráfico 5 – Erosividade da chuva no período entre 1985 a 2010. ....	110
Gráfico 6 – Distribuição média mensal da precipitação e erosividade em 2015 .....	111
Gráfico 7 – Distribuição a mensal da precipitação e erosividade no período de avaliação. Os dados correspondem a novembro de 2015 a abril de 2016. ....	112
Gráfico 8 – Distribuição média sazonal da precipitação e erosividade em 2015 .....	112
Gráfico 9 – Distribuição de areia, silte e argila (%) por profundidade para os 03 perfis analisados. ....	117
Gráfico 10 – Distribuição da classificação de areia do material retido em porcentagem por profundidade para os 03 perfis analisados.....	120
Gráfico 11 – Dispersão dos valores de porosidade total (PT), umidade gravimétrica (UG) e densidade aparente (DS) por perfil analisado em diferentes profundidades. ....	124
Gráfico 12 – Distribuição da resistência a penetração por perfil avaliado em espessura constante ao longo da borda da incisão erosiva. ....	131
Gráfico 13 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da cabeceira distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão. ....	131
Gráfico 14 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da lateral esquerda distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão. ....	132
Gráfico 15 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da lateral direita distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão. ....	132
Gráfico 16 – Média geral da resistência à penetração por profundidade no voçorocamento .....	133
Gráfico 17– Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração por perfil .....	134
Gráfico 18 – Equação de regressão linear .....	136

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo. ....	21
Figura 2 – Imagens orbitais em diferentes anos em áreas próximas a incisão erosiva. ....	24
Figura 3 - Sub-bacias hidrográficas do município de Colorado do Oeste. ....	30
Figura 4 – Processo erosivo em sequenciamento. ....	47
Figura 5 – Hierarquia fluvial proposta por Strahler (1952) .....	53
Figura 6 – Função semivariograma. ....	61
Figura 7 – Resumo das atividades de análise do voçorocamento em Colorado do Oeste. ....	66
Figura 8 – Processo de trilateração para o pós-processamento da base: a) BASE_B1 - Ponto da base, ROJI – RBMC de Ji-Paraná; b) ROCD – RBMC de Colorado do Oeste .....	70

Figura 9 – Imagem TIN (Rede Triangular Irregular), criado a partir de curvas de nível e/ou pontos cotados, aonde ocorre a interpolação dos valores de altitude .....	86
Figura 10 – Detalhamento da borda da incisão erosiva no primeiro e no último levantamento .....	94
Figura 11 – Dimensão do voçorocamento: a) início da pesquisa em 02/11/2015; b) final da pesquisa em 18/04/2016. Imagem do tipo shaded relief. ....	96
Figura 12 – Detalhamento do voçorocamento em três dimensões .....	98
Figura 13 – Perfil longitudinal do fundo da incisão: a) início da pesquisa em 02/11/2015; b) final da pesquisa em 18/04/2016. ....	104
Figura 14 – Perfil no voçorocamento e os cinco horizontes identificados .....	107
Figura 15 – Imagem e determinação das profundidades dos perfis analisados: a) Perfil 01; b) Perfil 03. .	115
Figura 16 – Triângulo de classificação textura de solos (a) com os dados da pesquisa (b) com as médias dos perfis 01, 02 e 03. ....	115
Figura 17 – Mapa de localização dos perfis e dos pontos de coletas de dados com o penetrômetro de impacto.....	129
Figura 18 – Perfil transversal na região da incisão erosiva. ....	145
Figura 19 – Carta planialtimétrica na região da incisão erosiva. ....	146

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 – Fotos na sub-bacia do rio Escondido: a) áreas com declividade 8 – 20%; b) áreas com declividade 20 – 45%. ....	88
Foto 2 – Dreno cabeceira .....	95
Foto 3 – Dreno terço inferior.....	95
Foto 4 – Dreno lateral esquerda.....	95
Foto 5 – Formação florestal após o terço inferior do voçorocamento. ....	102
Foto 6 – Afloramento do lençol freático na incisão erosiva. ....	102
Foto 7 – Piping na região da cabeceira. ....	103
Foto 8 – Evidências de pedoturbação na região do voçorocamento. ....	103
Foto 9 – Coleta de dados sobre compactação com uso do penetrômetro. ....	128
Foto 10 – Matações graníticos da suíte intrusiva Alto Escondido próximo a incisão .....	138
Foto 11 – Litologia da parede na incisão erosiva .....	138
Foto 12 – Foto com visão da lateral esquerda do voçorocamento .....	141
Foto 13 – Foto com visão da lateral direita do voçorocamento .....	141
Foto 14 – Foto com visão frontal do voçorocamento .....	141
Foto 15 – Formação de pastagem na área de estudo. ....	143

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Mapa de uso de ocupação do solo do município de Colorado do Oeste ano 2015. ....	26
Mapa 2 – Mapa de Geologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido. ....	33
Mapa 3 – Mapa de Geomorfologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.....	36
Mapa 4 – Mapa de pedologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido. ....	40
Mapa 5 – Mapa de vegetação da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido. ....	42
Mapa 6 – Mapa das classes de aptidão agrícola da sub-bacia do rio Escondido.....	46
Mapa 7 – Mapa da hidrografia da Sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.....	80
Mapa 8 – Classes de declividades encontrada na sub-bacia do rio Escondido .....	87
Mapa 9 – Mapa de nuvem de dispersão dos pontos amostrados.....	92
Mapa 10 – Mapa de isolinhas do voçorocamento em 02/11/2015 .....	99
Mapa 11 – Mapa de isolinhas do voçorocamento em 18/04/2016.....	100

Mapa 12 – Disposição dos lineamentos estruturais. ....	139
--	-----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Chave de interpretação sintetizada. ....	25
Quadro 2 – Profundidade de coleta de amostras indeformadas .....	75
Quadro 3 – Taxas mensais do índice de erosividade para Colorado do Oeste/2015. ....	111
Quadro 4 – Distribuição da granulometria do voçorocamento por profundidade .....	116
Quadro 5 – Classificação da areia no voçorocamento por profundidade .....	119
Quadro 6 – Valores de porosidade total (PT), umidade gravimétrica (UG) e densidade aparente (DS) por perfil em diferentes profundidades .....	123
Quadro 7 – Distribuição da resistência a penetração por perfil estratificado a cada 5 centímetros .....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo de Colorado do Oeste.....	27
Tabela 2 – Detalhamento dos levantamentos topográficos.....	70
Tabela 3 – Descrição das coordenadas no rastreamento da base.....	71
Tabela 4 – Índices de permeabilidade (P) para cada classe textural de solo .....	74
Tabela 5 – Ordem, quantidade e comprimento linear dos canais.....	81
Tabela 6 – Relação de bifurcação para a sub-bacia do rio Escondido .....	81
Tabela 7 – Parâmetros linear para a sub-bacia do rio Escondido.....	82
Tabela 8 – Parâmetros areais para a sub-bacia do rio Escondido .....	84
Tabela 9 – Classes de declividade da sub-bacia do rio Escondido.....	86
Tabela 10 – Parâmetros hipsométricos para a sub-bacia do rio Escondido.....	89
Tabela 11 – Classes de interpretação para os valores de textura topográfica.....	90
Tabela 12 – Descrição do perímetro do voçorocamento por levantamento .....	95
Tabela 13 – Valores de volume de solo erodido no voçorocamento (m <sup>3</sup> ).....	97
Tabela 14 – Descrição morfológica do perfil no voçorocamento .....	107
Tabela 15 – Valores de classificação de erodibilidade .....	113
Tabela 16 – Estatística descritiva para granulometria na região do voçorocamento. ....	11520
Tabela 17 – Estatística descritiva para a classificação de areia .....	122
Tabela 18 – Estatística descritiva para as propriedades densidade aparente (DS), porosidade total (PT) e umidade gravimétrica (UG).....	127
Tabela 19 – Caracterização do ambiente físico da área de ocorrência de voçorocamento .....	138

## LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

CRS – *Celestial Reference System*

DGPS – *Differential Global Positioning System*

DoD – *United States Department of Defense*

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite

GPS – Sistema Global de Navegação por Satélite

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

PAD – Projeto de Assentamento Dirigido

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PIC – Projeto de Assentamento Integrado

PIC/PAR – Projeto de Assentamento Integrado Paulo de Assis Ribeiro

RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RTK – *Real Time Kinematic*

SGR – Sistemas Geodésicos de Referências

SiBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solo

SIG – Sistema de Informação Geográfica

TRS – *Terrestrial Reference System*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

WGS – *World Geodetic System*

ZSEE – Zoneamento Socioeconômico e Ecológico de Rondônia

FONSECA, E.L. Processos erosivos em superfícies tabulares com evolução de voçorocamento em áreas de pastagens cultivadas (*Braquiária brizantha* cv. marandu) no município de Colorado do Oeste – Rondônia. Dissertação (Programa de Pós-graduação Mestrado em Geografia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Porto Velho, 2017.

## RESUMO

O monitoramento da perda de solo tem sido objeto de estudo de diversos autores com a finalidade de entender como ocorre o processo erosivo, quais são os fatores controladores, comportamentos, qual a sua relação com a questão ambiental, social e econômica local e regional. A escolha do município de Colorado do Oeste levou em consideração seus aspectos naturais como relevo, solos e uso da terra, além da presença de processos erosionais em diferentes níveis onde grande parte está relacionada aos processos antrópicos ligados as migrações nas décadas de 70 e 80. Objetivava-se com o presente trabalho identificar os processos envolvidos na evolução de voçorocamento em superfícies tabulares em áreas de pastagens cultivadas (*Braquiária brizantha* cv. Marandu) no município de Colorado do Oeste – Rondônia. O monitoramento foi realizado com GPS Geodésico com dois métodos de posicionamento relativo: *Real Time Kinematic* - RTK e Estático Rápido por período de 06 meses. A avaliação do quantitativo de solos erodidos ocorreu por meio de técnicas de geoestatística de interpolação dos dados (krigagem ordinária) da cota altimétrica. Para determinação dos fatores que estão atuando no processo erosivo foi realizada a classificação dos solos, determinação da erosividade e erodibilidade, análise das propriedades físicas, morfometria e determinação da correlação entre o total precipitado e o volume de solo erodido e o tamanho do perímetro. O monitoramento mostrou-se eficaz e capaz de mensurar a perda de solo com relativa precisão e rapidez, além de apresentar escala temporal adequada permitindo que pequenas alterações fossem detectadas com precisão, indicando, portanto, que o método se encontra próximo à realidade detectando as irregularidades existentes na incisão. A geoestatística apresentou-se como uma ferramenta essencial para obtenção das informações de volume de solo erodido e no entendimento do comportamento da incisão. O solo do voçorocamento foi classificado como Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico. O estudo das propriedades físicas do solo indicou a presença de altos valores para densidade de solo, baixa porosidade total e baixa umidade gravimétrica, textura indicada como franco-argilo-arenoso e franco-arenoso composta predominantemente de areias muito grossa e areia grossa. A resistência à penetração indicou que o maior aumento ocorreu nos primeiros 10 centímetros da camada do solo, com tendências elevadas sem variações abruptas em profundidade e que o voçorocamento está perdendo resistência nas encostas. A região a montante do voçorocamento apresentou maior suscetibilidade ao desprendimento e transporte de partícula, transportando grande quantidade de sedimentos a jusante, capazes de assorear setores internos da própria erosão e/ou externos, como o próprio canal ou suas imediações. O coeficiente de determinação indicou 72% da variação no volume de solo erodido pelo ser explicado pela intensidade de chuva e 97% do avanço no comprimento do perímetro está relacionado ao total precipitado.

**Palavras-chave:** Monitoramento com GPS geodésico; Análise tridimensional; Evolução do voçorocamento; Morfometria

## ABSTRACT

Monitoring the soil loss has been the object of study of several authors in order to understand how the erosion process occurs, what are the controlling factors, behaviors, what is its relation with environmental, social and economic local and regional. The choice of the city Colorado do Oeste was due to its natural aspects such as relief, soil and land use, as well as the presence of erosional processes at different levels where much of it's related to the anthropic processes due to the migrations in the 70's and 80's. The objective of this study was to identify the processes involved in the evolution of the formation of gullies in tabular surfaces in pasture areas (*Braquiaria brizantha* cv. Marandu) in the city of Colorado do Oeste - Rondônia. The monitoring was performed with Geodetic GPS with two methods of relative positioning: Real Time Kinematic - RTK and Rapid-Static for a period of 06 months. The evaluation of the quantitative of eroded soils occurred by geostatistical techniques of data interpolation (ordinary kriging) of the altimetric dimension. Soils classification, erosivity and erodibility determination, physical properties analysis, morphometry and determination of the correlation between the total precipitate and the volume of eroded soil and the size of the perimeter were used to determine the factors that are acting in the erosive process. Monitoring was effective and able to measure soil loss with relative accuracy and speed, as well as adequate temporal scale, allowing small changes to be accurately detected, thus indicating that the method is close to reality by detecting irregularities that exist in the incision. Geostatistics was presented as an essential tool for obtaining information on the volume of eroded soil and understanding the behavior of the incision. Soil of the gullies were classified as orthic quartzarenic neosoil. The study of the physical properties of the soil indicated the presence of high values for soil density, low total porosity and low gravimetric humidity, texture indicated as clay-sand-loamy and sandy-loam composed predominantly of very thick sand and thick sand. Penetration resistance indicated that the largest increase occurred in the first 10 centimeters in the soil, with high tendencies without abrupt changes in depth and that the gullies are losing resistance on the slopes. The upstream region of the gully was more susceptible to detachment and particle transport, transporting large amounts of sediments downstream, capable of sedimenting internal erosion and/or external sectors such as the canal itself or its surroundings. The coefficient of determination indicated 72% of variation in the volume of the soil eroded due to the rain intensity and 97% of the advance in the perimeter length is related to the total precipitate.

**Key-words:** Geodetic GPS monitoring; Three-dimensional analysis; Evolution of gullies; Morphometry.

## INTRODUÇÃO

O termo erosão é aplicado para designar o desgaste ou arrastamento na superfície da terra por diversos agentes, entre eles a água e o vento. Este é um fenômeno que vem acompanhando o desenvolvimento e evolução da sociedade humana, e como tal, vem sofrendo a ação deste para sua intensificação, culminando com a perda de solos produtivos e afetando em alguns casos a economia local quando ocorrentes em áreas rurais, ou mesmo, deslizamentos em massa em áreas urbanas.

O monitoramento da perda de solo tem sido empregado por diversos autores com a finalidade de entender como ocorre o processo erosivo, quais são os fatores controladores e seus comportamentos, qual a sua relação com a questão ambiental, social e econômica local e regional, além de medidas de contenção ou redução no avanço da perda de solo.

Novas tecnologias têm sido empregadas na análise dos processos erosionais. Tecnologias que foram desenvolvidas a partir da década de 1970. São ferramentas de monitoramento e processamento de dados, a exemplo dos receptores de sinais de satélites, imagens orbitais e *softwares* de geoprocessamento, que foram aprimorados ao longo do tempo oferecendo boa precisão, facilidade de uso e custos acessíveis.

As ferramentas supracitadas têm proporcionado melhorias na precisão e acurácia dos monitoramentos, a integração das informações georreferenciadas em ambiente SIG, a compreensão, análise e distribuição espacial do fenômeno e, a simplificação na gestão da informação (LOPEZ; GUERRA, 2001; ALVES, 2007; FRANCISCO, 2012).

Entendendo os processos erosivos como agentes modificadores da paisagem, o presente estudo faz uma abordagem dos fatores pertinentes a esses processos, dentre os quais; o clima, o solo, o relevo, cobertura vegetal e o uso da terra e sua aptidão, em associação a alguns parâmetros inerentes a determinadas propriedades físicas e químicas do solo tais como; a densidade, a porosidade níveis de compactação se existentes e a matéria orgânica.

Procurando melhor compreender os mecanismos envolvidos no processo erosionais em área selecionada no município de Colorado do Oeste – Rondônia, a análise consistiu no uso de técnicas de geoprocessamento, por meio do monitoramento da evolução na incisão erosiva, com uso de receptores geodésicos do Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS).

O trabalho, ora apresentado, foi desenvolvido em capítulos e organizados da seguinte forma:

- **Capítulo 01:** Apresentação da área de estudo, por meio de seus aspectos físicos expressos no formato de mapas e imagens, com descrição detalhada das informações referentes a sub-bacia hidrográfica do rio Escondido;
- **Capítulo 02:** Revisão bibliográfica sobre o processo erosivo e explanação das técnicas utilizadas, buscando junto à literatura científica especializada nacional e internacional as informações existentes sobre a temática analisada;
- **Capítulo 03:** Os processos metodológicos empregados considerando seus detalhes de aplicação e possíveis adaptações a realidade local;
- **Capítulo 04:** Análise dos resultados;
- **Capítulo 05:** Conclusões;
- **Capítulo 06:** Bibliografia.

### **Justificativa**

A escolha da área selecionada no município de Colorado do Oeste levou em consideração seus aspectos naturais como relevo, solos e uso da terra, no caso, área com pastagens e presença de processo erosivo em estágio avançado de evolução.

Grande parte dos processos erosivos observados no município, parecem ser de origem antrópica e tiveram relação com o início da remoção da floresta nativa para implantação de atividades agropecuárias, com a intensidade das queimadas, destocamento com uso de máquinas agrícolas e de tração animal, que estiveram presente no quadro da ocupação da terra associado as migrações para região estimuladas pelo Governo Federal, por meio dos Projetos de Colonização para todo o estado de Rondônia nas décadas de 70 e 80.

O modelo empregado pelo INCRA na ocupação do Estado, exigia a retirada da vegetação nativa para a posse da terra ou titularidade e implantação da produção agrícola, não havendo nenhuma preocupação naquele momento com a manutenção da qualidade ambiental local nem regional.

Atualmente, o município apresenta 21% de seu território coberto por florestas nativas. A ocupação de suas terras, em sua maioria, é por pequenos e médios produtores rurais, cuja principal atividade econômica é a pecuária extensiva com pouca ou nenhuma prática de manejo para preservação e conservação dos seus solos.

As áreas de pastagens são, em grande parte, formadas por capim do tipo *Braquiária brizantha* com algum grau de degradação. O rebanho no município no ano de 2014 era de aproximadamente 250 mil cabeças de bovinos para corte e leite.

Peculiaridades da topografia local marcada por formas de relevo de topos levemente arredondados com morros e colinas abertas influenciam a dinâmica de velocidade das águas de superfície e subsuperfície nas encostas. Tais características em associação aos índices pluviométricos elevados parecem fomentar os processos erosionais observados em diversos locais com a ocorrência de incisões erosiva em diferentes estágios que consolidam a visão de degradação profunda nas áreas de pastagens em toda a região de Colorado do Oeste.

O entendimento desse quadro ambiental com especificidade nas questões erosionais associadas ao uso da terra, faz-se necessária uma vez que a queda de produtividade da relação rebanho/ha, promove entre outros problemas a degradação físico-química do solo com declínio na produção (produtividade agropecuária) e a desvalorização do imóvel rural, que hoje, já são objetos de discussão e preocupação de alguns produtores rurais no município.

O estudo de condicionantes agravadores dos problemas do uso da terra no município em questão, torna-se imprescindível e necessário para o efetivo controle dos indicativos erosionais que se observam nas áreas de pastagens da região, com isso os objetivos desse trabalho se alinham em:

## **Objetivos**

### Objetivo geral

Identificar os processos envolvidos na evolução de voçorocamento em superfícies tabulares em áreas de pastagens cultivadas (*Braquiária brizantha* cv. Marandu) no município de Colorado do Oeste – Rondônia.

### Objetivos específicos:

- Analisar a morfometria da sub-bacia hidrográfica do rio Escondido.
- Acompanhar a evolução do processo erosivo ocasionados por águas superficiais e/ou subsuperficiais por um período de 06 meses correspondente a estação chuvosa.
- Relacionar a perda de solo à intensidade pluviométrica registrada.

## CAPÍTULO I

### 1. APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 1.1 Localização e histórico

O Município de Colorado do Oeste está localizado ao sul do Estado de Rondônia. Possui área de 1451.50 km<sup>2</sup>, encontra-se a aproximadamente 700 km da capital Porto Velho e sua população é de 18.591 habitantes de acordo com o censo demográfico (IBGE, 2010).

O mesmo abrange terras das sub-bacias do rio Belo, rio Cabixi, rio Colorado, rio Escondido, rio Sete Voltas e rio Vermelho. As altitudes variam de 203 m, nos vales mais dissecados no extremo sudoeste município na desembocadura do rio Escondido na região limítrofe com o município de Cabixi, a 574 m, cota mais elevada, presente na serra do Colorado a nordeste do município que se estende até ao sul.

A área de estudo localiza-se distante da cidade de Colorado do Oeste aproximadamente 8 km e está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Escondido nas coordenadas geográficas de 13°07'34,21"S e 60°35'48,73"W com altitude de 424 m na cabeceira e 420 m no ponto mais baixo na borda da incisão erosiva como pode ser observado na figura 1.

A área é ocupada por pastagem cultivada (*Braquiária brizantha* cv. Marandu) com mais de 30 anos de formação, implantada após a derrubada da vegetação nativa. Pratica-se a pecuária extensiva com ausência de técnicas de manejo e condução de pastagem. A taxa de lotação animal varia de acordo com a disponibilidade de forragem e sofre sazonalidade em função da pluviosidade. O capim apresenta-se levemente degradado conforme a escala desenvolvida por Nogueira (2016) para o município.

Historicamente, Colorado do Oeste apresentou até a década de 1970 inexpressiva atividade econômica tendo como base o extrativismo que girava em torno da borracha, castanha, ouro e cassiterita conforme os relatos descritos para áreas que se inserem na região do vale do Guaporé por Silva (2012).

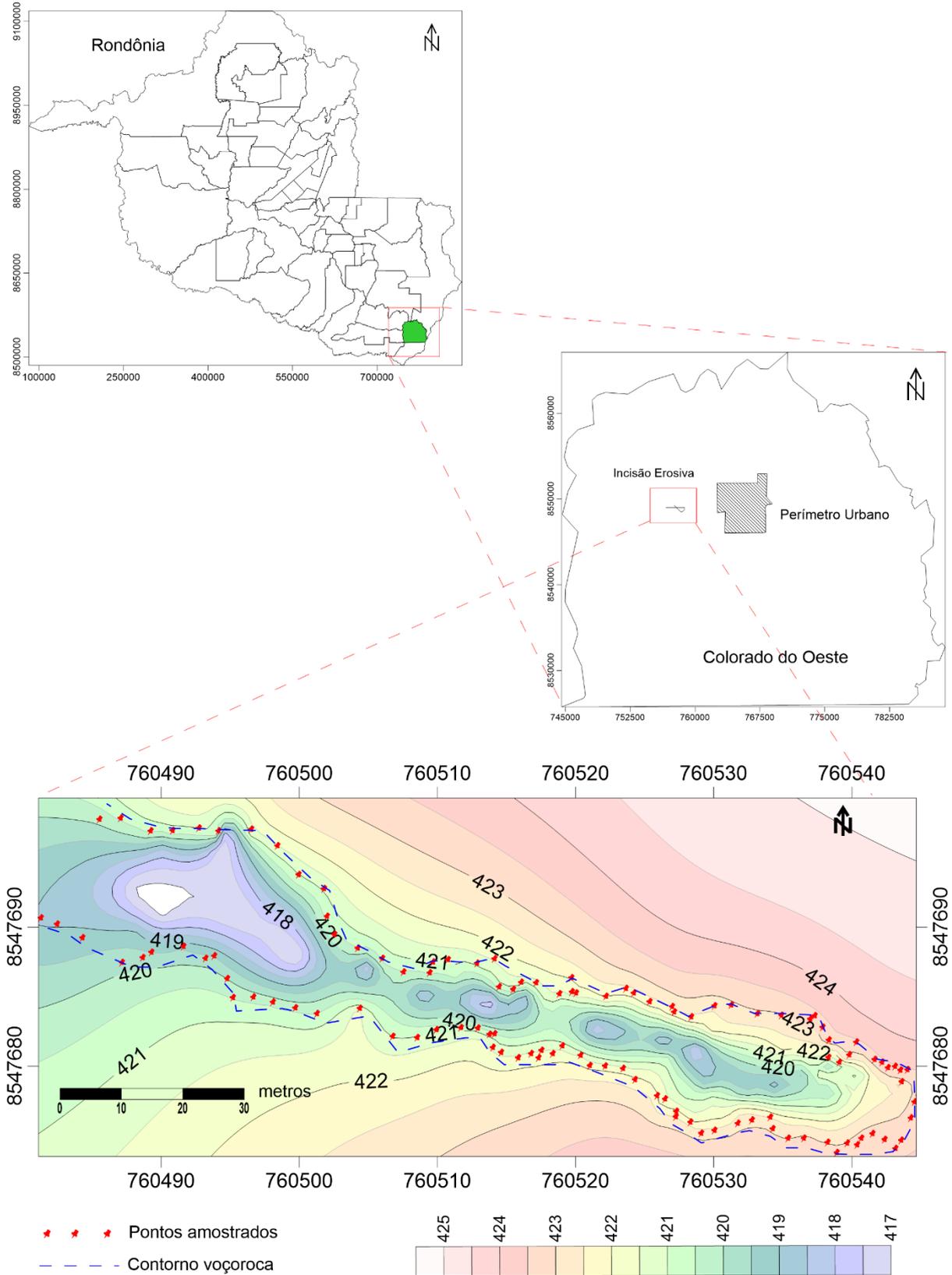


Figura 1 – Localização da área de estudo.  
Fonte: Autora (2017)

A efetiva ocupação do município ocorreu a partir da implantação dos Projetos de Assentamentos Integrados (PIC's) e Colonização e Projetos de Assentamentos Dirigidos (PAD's), como parte da política nacional para ocupação de fato do território brasileiro, durante o governo militar, fazendo com que um grande fluxo de migrantes de várias regiões do país, especialmente pequenos agricultores viessem para o Estado (TEIXEIRA; FONSECA, 2003).

Esse movimento migratório intenso fez Rondônia saltar de uma população de 111.064 habitantes em 1970 para 491.025 habitantes em 1980 (ARAÚJO, 2015). Ainda de acordo com o autor, o Estado recebeu um grande número de projetos de colonização, entre outros motivos, para sanar a necessidade de ocupação da região e aliviar as tensões relativas à luta pela terra no restante do país.

De acordo com Santos et al. (2015), os Projetos de Colonização foram instalados, majoritariamente, em duas categorias: os oficiais, executados pelo governo e, os de colonização de iniciativa particular. Segundo Moser (2008), este último era realizado por empresas particulares de colonização cadastradas no Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em terras particulares ou públicas.

Nesse contexto, surge o PIC - Paulo de Assis Ribeiro, denominado PIC-PAR, no qual estava previsto o assentamento de 3.656 famílias em 293.580 ha<sup>-1</sup>, localizado a 100 km a sudoeste da cidade de Vilhena de onde emergiram cinco municípios: Cabixi, Cerejeiras, Pimenteiras do Oeste, Corumbiara e o núcleo principal, Colorado do Oeste (RABELLO; FERREIRA, 2005).

Porém, foi a conclusão do asfaltamento da BR-364 em 1984 e, o surgimento e ampliação do Núcleo de Assentamento Paulo de Assis Ribeiro ao longo da década de 1980 que provocou a chegada de forte contingente migratório do Paraná, Espírito Santo, Minas Gerais, do Nordeste e do Sul do país que ocuparam as margens da estrada e iniciaram a povoação no interior do Estado que tinha como característica de ação a derrubada da vegetação para implantação de atividades agropecuárias e consequente geração de lucro.

Após esse fluxo migratório para região houve o que Linhares et al. (2014) denominou de incorporação de Rondônia ao sistema econômico-nacional com o crescimento exponencial da atividade agropecuária nas décadas de oitenta e noventa do século XX e significou o alargamento dessas atividades. Conforme ocorria o aumento populacional e desenvolvimento do núcleo urbano houve acréscimo na quantidade de área desmatada e aumento no número de fragmentos florestais.

A figura 2 mostra a evolução do desmatamento ocorrido no município de Colorado nos períodos de 1981, 1995 e 2015. Percebe-se, claramente, a supressão da floresta que se apresenta em pequenos fragmentos. O ponto vermelho em destaque mostra a localização da incisão erosiva, objeto deste estudo.

A década de 1980 é marcada por profundas alterações na paisagem, caracterizadas principalmente pela substituição da vegetação nativa por atividade agropecuárias em especial o cultivo de soja, arroz, milho e a criação de gado. Contudo, as mudanças mais intensas na composição paisagística ocorreram durante a década de 1990 marcada pela intensificação da fragmentação da vegetação como salientado anteriormente.

A base econômica do município é a pecuária, sendo a principal fonte de desenvolvimento socioeconômico, com aplicação de técnicas tradicionais de manejo e condução da pastagem, seguida do cultivo de lavouras temporárias e permanentes como: fruticultura (banana, coco-da-baía, maracujá, mamão, abacaxi, laranja, melancia, entre outras), olerícolas e monocultura (soja, arroz e milho safrinha) (IBGE, 2014).

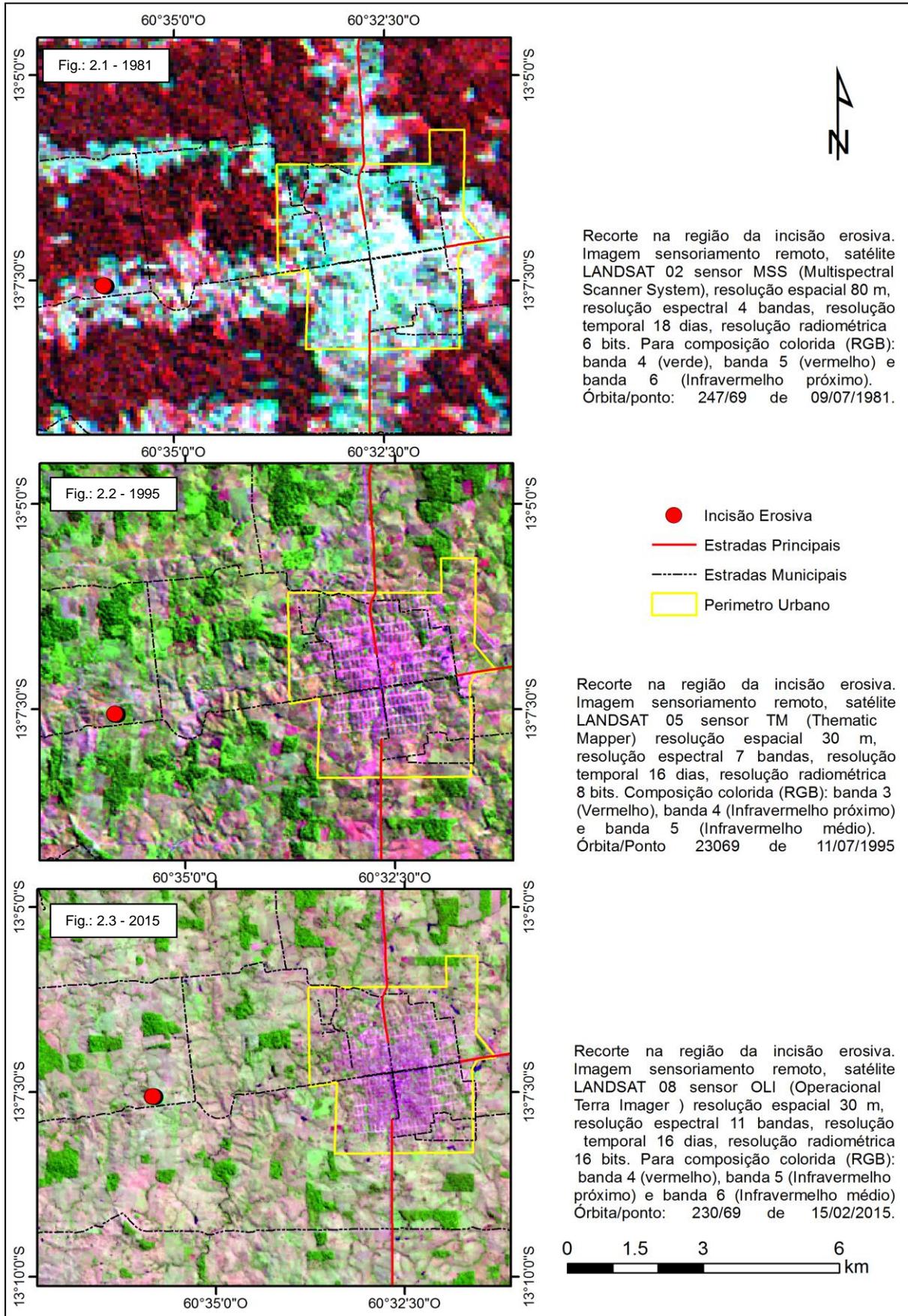


Figura 2 – Imagens orbitais em diferentes anos em áreas próximas a incisão erosiva.

Fonte: Autora (2017)

### 1.1.1 Uso de ocupação do solo de Colorado Oeste

O levantamento do uso do solo é importante para a compreensão dos padrões de organização do espaço, pois fornece informações sobre como o espaço geográfico está sendo ocupado pelo homem e seus feitos.

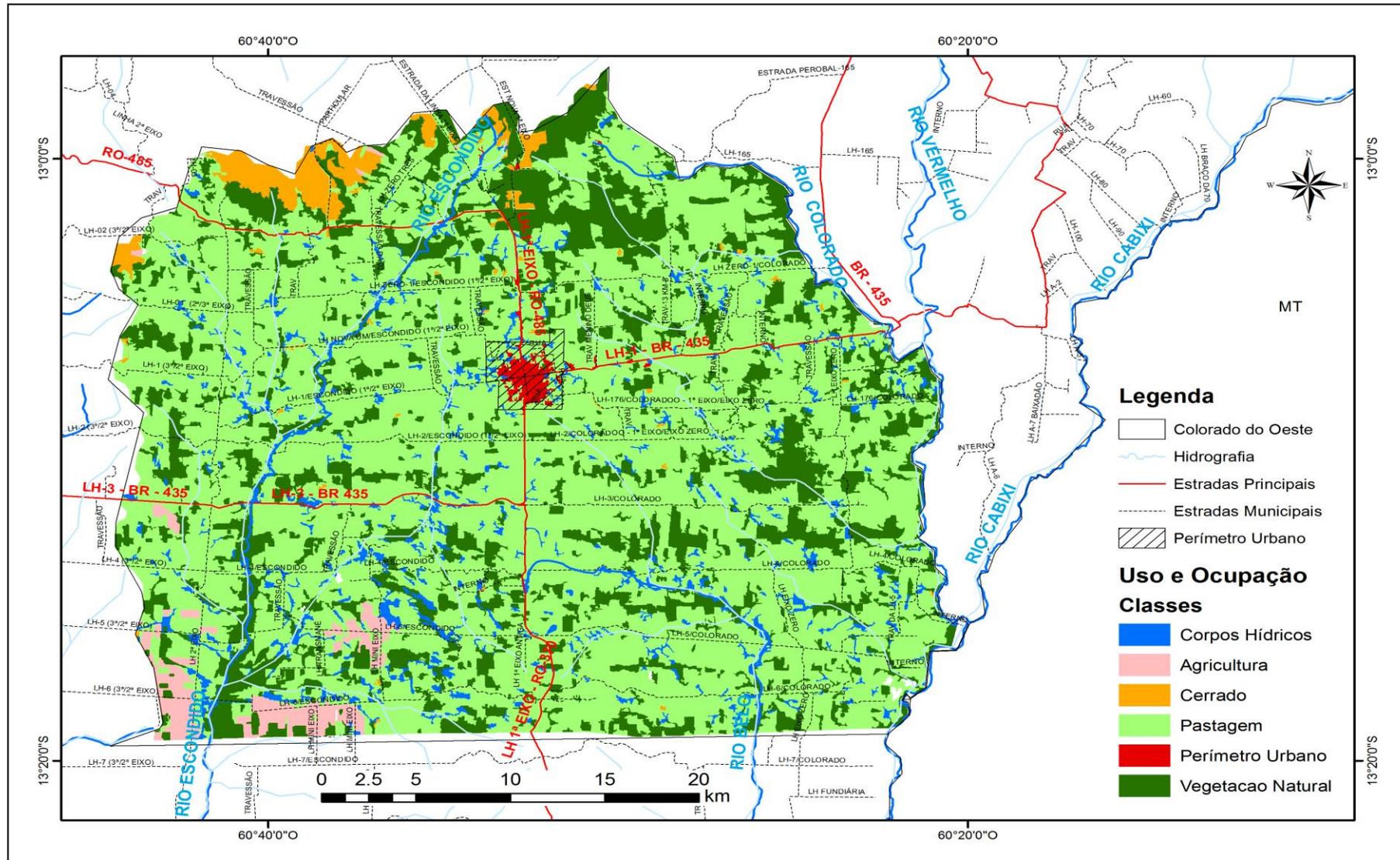
A distribuição espacial do uso de ocupação do solo de Colorado do Oeste no ano de 2015, pode ser visualizada no mapa 1. O mapa foi obtido por meio da classificação supervisionada da imagem obtida pelo satélite Landsat 08/OLI. A partir da forma, textura e coloração do *pixel* foi possível agrupar as principais atividades em 06 (seis) classes de uso conforme descrito no quadro 1.

Embora não tenha alcançado o resultado ideal, o método do mapeamento apresentou resultado aceitável na identificação de alvos adjacentes a outros alvos cujo padrão de assinatura espectral apresenta ampla diferença. O índice de acerto Kappa (matriz de confusão) para a classificação realizada foi de 0,71, valor considerado muito bom.

Quadro 1 - Chave de interpretação sintetizada.

<b>Classes</b>	<b>Descrição</b>
Vegetação Natural	Caracterizada por florestas e fragmentos florestais arbóreos naturais ou regenerados após intervenção antrópica.
Cerrado	Caracterizada pela presença de vegetação típica de cerrado e áreas em transição.
Agricultura	Caracterizada por áreas destinadas a produção agrícola.
Pastagem	Caracterizada pela presença de vegetação rasteira destinada a produção animal.
Perímetro Urbano	Caracterizada pela cidade de Colorado do Oeste.
Corpos Hídricos	Caracterizado por rios, lagos e demais corpos d'água encontrados na imagem.

Fonte: Adaptado de Fonseca (2015) e Nogueira (2016)



Mapa 1 – Mapa de uso de ocupação do solo do município de Colorado do Oeste ano 2015.

Fonte: Autora (2016)

O percentual de participação de cada classe está descrito na tabela 1.

Tabela 1 – Classes de uso e ocupação do solo de Colorado do Oeste

<b>Classes</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
Vegetação Natural	295,69	21,04
<b>Agricultura</b>	<b>21,25</b>	<b>1,51</b>
Cerrado	41,92	2,98
Corpos Hídricos	60,02	4,27
Perímetro urbano	10,23	0,73
<b>Pastagem</b>	<b>976,17</b>	<b>69,46</b>
<b>Total</b>	<b>1.405,29</b>	<b>100,00</b>

Adaptado de Nogueira (2016).

De forma geral, as classes se caracterizam por:

- **Vegetação Natural:** são as áreas referentes à floresta nativa, assim como, as áreas ocupadas por florestas e fragmentos florestais arbóreos naturais ou regenerados e equivale a 21.04% da área do município;
- **Cerrado:** localiza-se principalmente a noroeste do município e em termos quantitativos corresponde a 2.98%;
- **Agricultura:** apesar de pouco expressiva (1.51%) são áreas destinadas ao cultivo de lavouras anuais e concentram-se a sudoeste do município;
- **Corpos Hídricos:** refere-se a toda hidrografia do município, além das represas das Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH e representam 4.27% da área total;
- **Perímetro Urbano:** é a área correspondente à cidade (0.73%);
- **Pastagem:** a mais significativa, com aproximadamente 69.46% da área, ratificando a predominância da pecuária e a sua importância como atividade econômica.

## 1.2 Clima

### 1.2.1 Temperatura

O clima de Rondônia é equatorial, com transição tropical, úmido, com forte decréscimo de precipitação no período de maio a setembro. Segundo a classificação de

Köppen, o clima predominante no município é do tipo Clima Tropical Chuvoso (Aw), com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C (megatérmico) e um período seco bem definido durante a estação de inverno (SEDAM, 2010).

Evidenciando assim, a estacionalidade do clima, com estação chuvosa no verão e seca no inverno e, a isotermia que corresponde à pequena diferença das médias de temperatura entre os meses mais frios e os mais quentes.

A temperatura média anual do ar apresenta-se elevada e uniforme ao longo do ano, com variação média de 24 a 26 °C (VIEIRA et al. 2014), isso ocorre porque o Estado de Rondônia localiza-se em uma zona de transição entre a região equatorial e a região tropical (SEDAM, 2010).

O período da seca caracteriza-se por três meses secos (junho, julho e agosto) com pluviosidade inferior a 50 mm e baixa amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diária, quando ocorre temperaturas noturnas abaixo de 18°C nas planícies e abaixo de 9°C nos altiplanos dos planaltos (NASCIMENTO, 2011).

### 1.2.2 Precipitação

A média anual da precipitação pluviométrica para o município é de 1900 mm ano<sup>-1</sup> (INMET, 2016). No entanto, no ano de 2014, a média de precipitação para o município foi 2024 mm, considerado um ano atípico. A distribuição da pluviosidade encontra-se no gráfico 1.

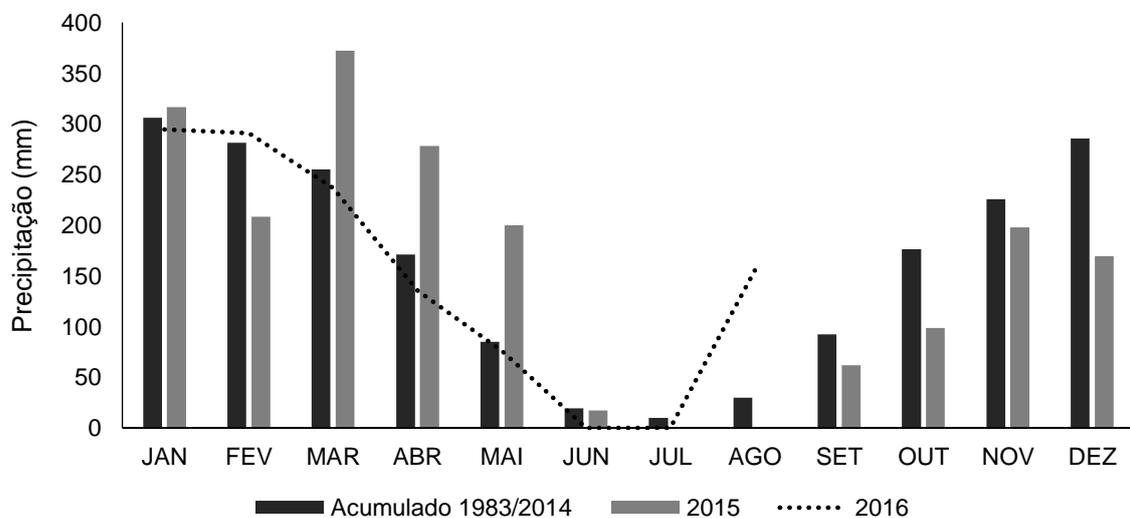


Gráfico 1 – Distribuição do volume precipitado no município de Colorado do Oeste.  
Fonte: INMET (2016)

No acumulado entre 1983 e o ano de 2014 o volume precipitado durante o período seco sempre ficou abaixo dos 50 mm, em que, o mês de agosto apresenta maior pluviosidade, ocorreram médias próximas entre janeiro e março, e que há uma tendência de crescimento mensal a partir do mês de setembro.

O ano de 2015 apresentou 1920.3 mm de total precipitado, portanto, dentro da média anual esperada para o município. Os meses de março, abril e maio apresentaram média mensal de chuvas acima da média histórica para o município. A precipitação máxima de 79.8 mm ocorreu no mês de maio e a mínima no mês de julho com 0 mm.

O volume precipitado para o ano de 2016 no gráfico são referentes aos meses de janeiro a agosto. A média pluviométrica mensal manteve-se dentro da média esperada para o município e os volumes para os meses de março, abril e maio ficaram abaixo do volume precipitado no ano de 2015 com exceção do mês de fevereiro que ficou acima da média mensal.

### 1.3 Hidrografia

A hidrografia do município corresponde ao conjunto de rios e lagos, formado pelo rio principal, seus afluentes e subafluentes. A conexão desses corpos hídricos compõe a sua rede de drenagem de caráter temporário ou permanente.

O arranjo desse escoamento forma no município 06 (seis) unidades de sub-bacias descritos por Lisboa; Ferreira (2011) e Fonseca; Silva Filho (2017). As sub-bacias são unidades territoriais separadas entre si pelos divisores de água ou interflúvios, ou seja, conjunto de canais fluviais delimitados por terrenos adjacentes mais elevados.

As sub-bacias estão ordenadas com base na hierarquia fluvial, sendo: duas sub-bacias de terceira ordem (rio Cabixi e rio Vermelho); duas sub-bacias de quarta ordem (rio Belo e rio Sete Voltas); e duas de quinta ordem (rio Colorado e rio Escondido) (Figura 03).

O voçorocamento está localizado na sub-bacia do rio Escondido, que doravante será objeto de descrição dos aspectos físicos, e próximo ao divisor de águas entre esta e a sub-bacia do Rio Sete Voltas.

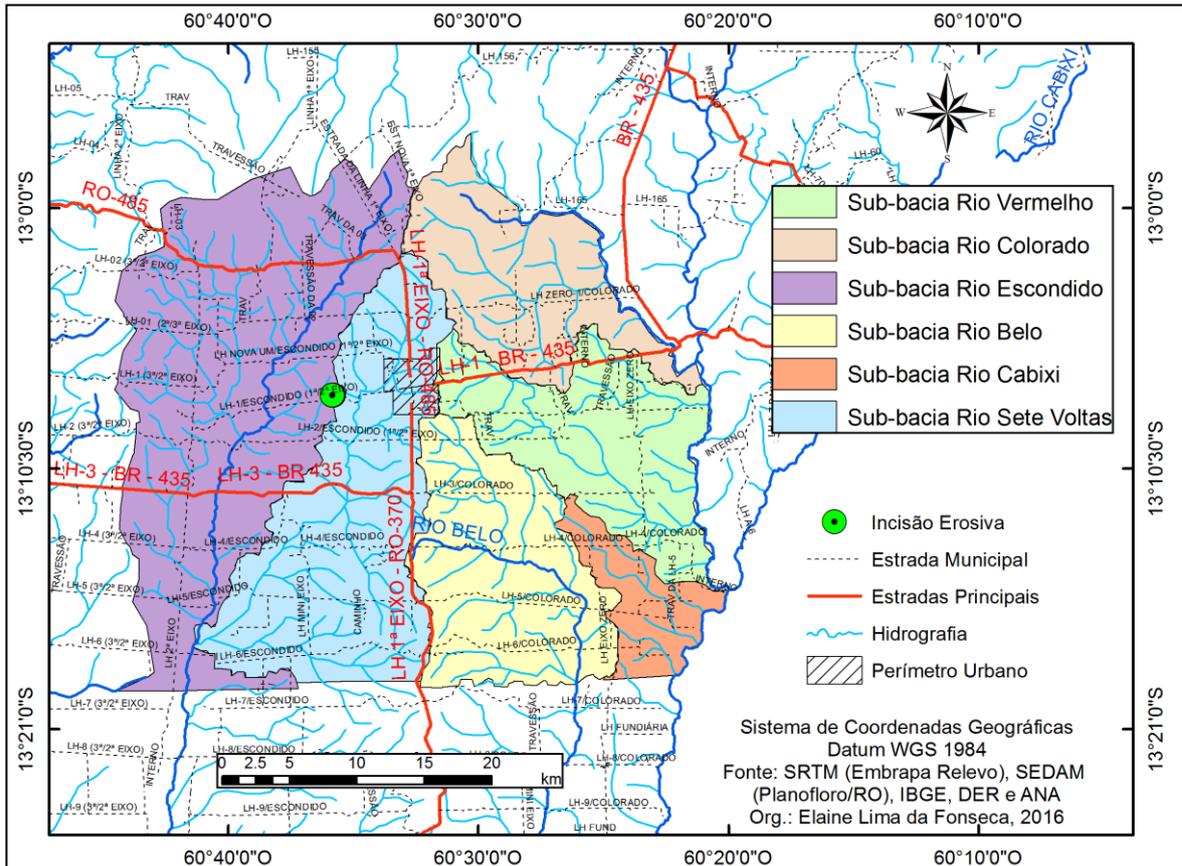


Figura 3 - Sub-bacias hidrográficas do município de Colorado do Oeste.  
Fonte: Autora (2016)

Os rios que compõe a sub-bacia do rio Escondido têm como destino o Rio Guaporé que nasce na chapada dos Parecis – MT e forma a fronteira do Brasil com a Bolívia. Os canais apresentam-se retilíneos dispostos em uma rede de drenagem dendrítica, conformação semelhante à configuração de uma árvore, distribuídos em uma área de 485.45 km<sup>2</sup> e 137.84 km de perímetro.

#### 1.4 Geologia

As unidades litoestratigráficas do Estado descritas pela CPRM (2007) descreve os litotipos e interpreta a origem, ambiente de formação, posição estratigráfica e relações com eventos tectonomagmáticos das várias unidades.

A formação da sub-bacia do rio Escondido está relacionada a três Eras distintas: Era Mesoproterozoica no período ectasiano; Era Mesozoica nos períodos Jurássico e Cretáceo e Era Cenozoica nos períodos, Quaternário Pleistoceno e Quaternário Holoceno.

A caracterização das unidades litoestratigráficas, indicadas no mapa 2, foi baseada na nomenclatura apresentada no Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2007), conforme descrição a seguir:

### **Mesoproterozóico**

- **MP2\_delta\_mu\_sc - Suíte Intrusiva Cerrado Colorado (sc):** associação de rochas máfico-ultramáficas, representada por metagabro e metagabronorito acamadados, hornblendito, tremolitos e actinolitos, além de olivina gabronorito e leucogabronorito.
- **MP2\_gamma23\_c - Suíte Intrusiva Cerejeiras (c):** granada-biotita monzogranito inequigranular a porfiróide de granulação grossa, sienogranito subordinado, ambos com trama de fluxo magmático.
- **MP2\_gamma23\_ie - Suíte Intrusiva Igarapé Enganado (ie):** allanita-biotita monzogranito inequigranular, granodiorito e tonalito subordinados. Forte trama de fluxo magmático e deformação no estágio "subsolidus" e localmente feições de "mingling".
- **MP2\_gamma34\_ae - Suíte Intrusiva Alto Escondido (ae):** biotita monzogranito e granadabiotita biotita incipiente trama de fluxo magmático.
- **MP2\_mu\_t - Complexo Máfico-Ultramáfico Trincheira (t):** gnaiss anfibolítico e anfibolito associados ou não com metagabros, metanoritos e dioritos. Talco xisto, actinolita xisto, além de gnaiss calcissilicático e metamarga subordinados.
- **MP2co - Complexo Colorado (co):** plagioclásio-biotita-quartzo-paragnaisse migmatizado, xisto, BIF, quartzito, gnaiss calcissilicático, metagabro e anfibolito.

### **Mesozoico**

- **Jco - Formação Corumbiara (co):** conglomerado polimítico estratificado, composto por seixos e grânulos, subarredondados a arredondados, de quartzito, gnaiss, granito, xisto, quartzo leitoso e de anfibolito, matriz arenosa média com grânulos, interdigitado

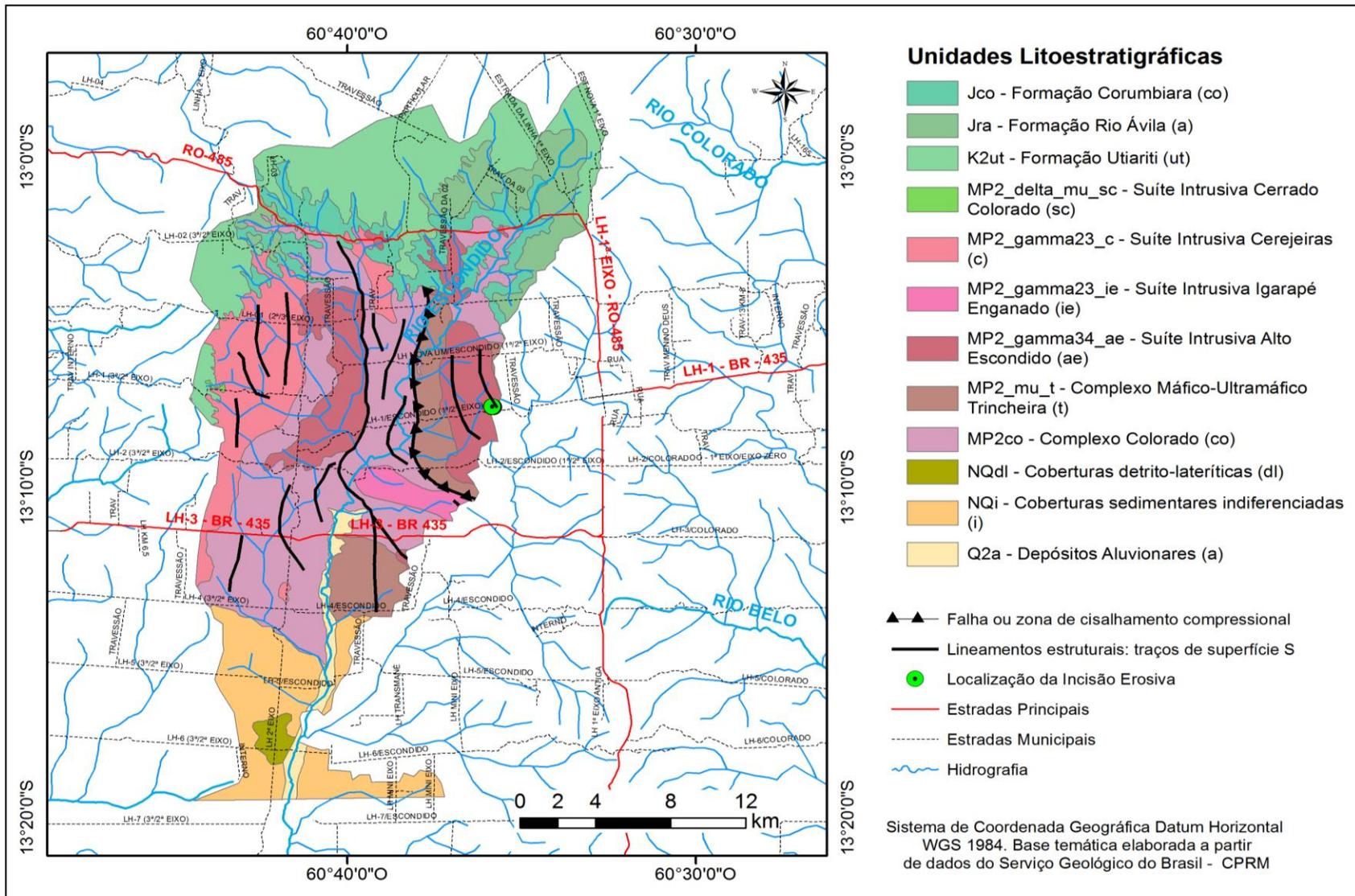
e/ou sobreposto por arenito feldspático fino a médio estratificado. Ambiente do tipo leque-planície aluvial.

- ***Jra - Formação Rio Ávila (a)***: arenito fino com estratificação cruzada de grande porte, arenitos com seixos de quartzo e conglomerados estratificados com seixos de quartzo arredondados. Arenitos com grãos bem selecionados, arredondados e exibindo bimodalidade. Ambiente desértico com fácies de dunas, fluvial de "wadi" e de lagos interdunas.
- ***K2ut - Formação Utariti (ut)***: arenito fino a médio, cor vermelha, amarela e branca, estratificação cruzada de pequeno a médio porte e pelito laminado a maciço. Ambiente fluvial.

### **Quaternário**

- ***NQdl - Coberturas detrito-lateríticas (dl)***: depósitos argilo-arenosos e siltico-arenosos, ricos em concreções ferruginosas; horizonte argiloso/ mosqueado, crosta laterítica ferruginosa, concrecionária ou colunar, além materiais coluvionares e eluvionares ricos em detritos lateríticos e fragmentos de quartzo
- ***NQi - Coberturas sedimentares indiferenciadas (i)***: depósitos de areia, silte, argila ou cascalho; restos de materiais lateríticos (horizontes mosqueado e argiloso. Além de restos de crosta laterítica ferruginosa); sedimentos aluvionares, coluvionares e eluvionares indiferenciados, recobertos por cobertura de solos indiscriminados
- ***Q2a - Depósitos Aluvionares (a)***: depósitos arenosos, siltosos e argilosos, com níveis de cascalho. Ambiente fluvial.

Conforme descrito no mapa, a incisão erosiva encontra-se na ***Suíte Intrusiva Alto Escondido*** (ae), da Era Mesoproterozoica no período ectasiano, formada por uma série de corpos e maciços de granitoides isotrópicos a foliados, de natureza sin-, tardi- a pós-orogênica e com idades de cristalização no intervalo entre 1387 Ma e 1309 Ma (biotita-sienogranitos e biotita-monzogranitos, com ou sem granada, leucocráticos).



Mapa 2 – Mapa de Geologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.

Fonte: Autora (2016)

## 1.5 Geomorfologia

O relevo da superfície terrestre apresenta modelagem irregular em toda a sua extensão. Entre as características analisadas do relevo estão a sua forma, sua gênese, material de origem e os seus processos de atuação na sua modelagem,

O município de Colorado do Oeste localiza-se no planalto do Parecis e seu rebordo. O Planalto dos Parecis se configura como o mais extenso divisor de águas das bacias Amazônica e Platina circundado pela depressão do Rio Guaporé, mais ao sul, e que faz parte da Depressão Marginal Sul Amazônica, marcado por formas de relevo de topos levemente convexizados e presença de relevo residuais de topo plano, de morros e colinas abertas.

A descrição das unidades geomorfológicas indicadas na legenda do mapa 3, se baseou na classificação utilizada para o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2000), sendo descritas a seguir as unidades geomorfológicas da sub-bacia do rio Escondido.

### Unidades Agradacionais

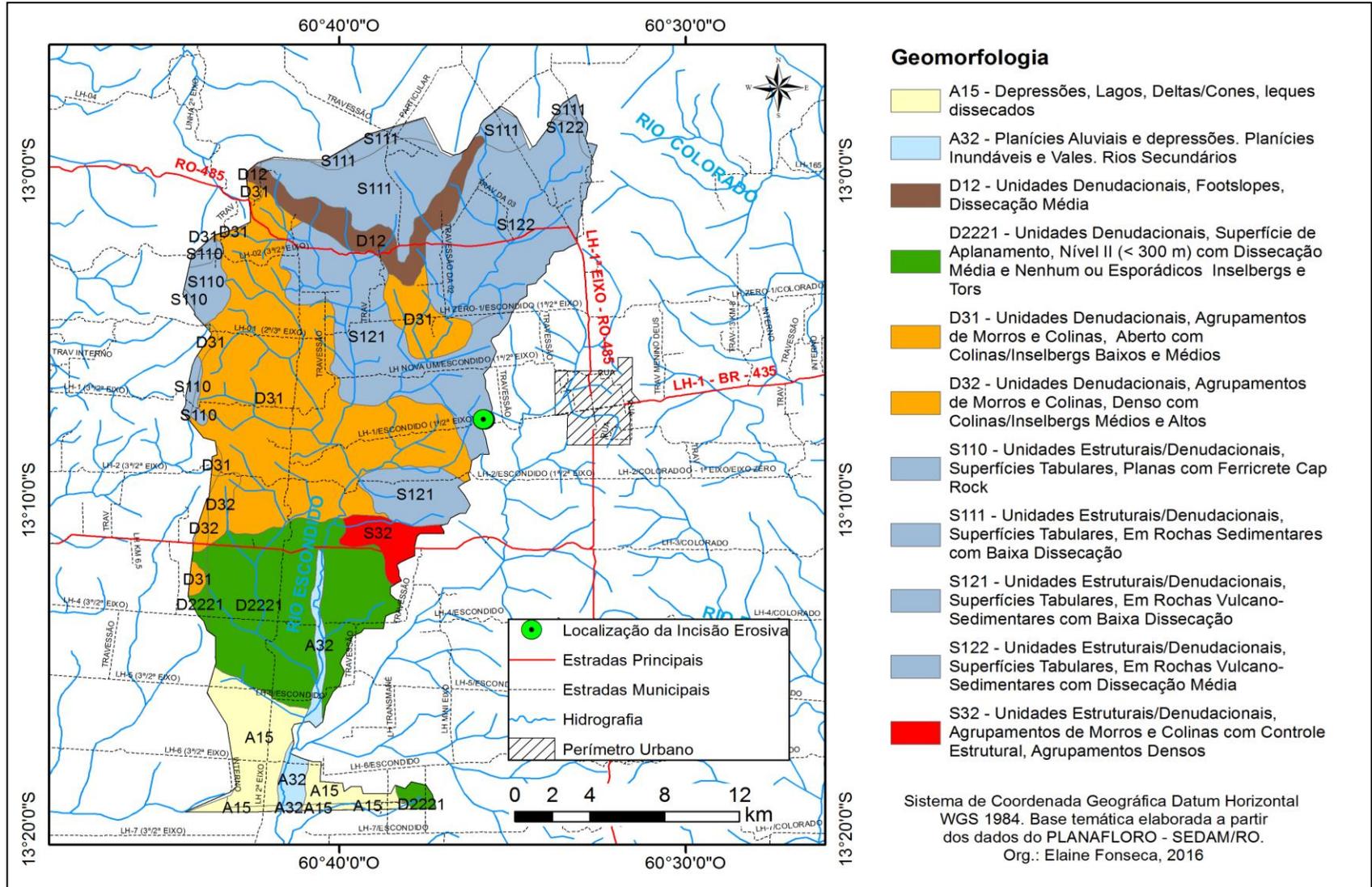
- **A - Planícies Aluviais e Depressões:** as planícies aluviais caracterizam-se por ser uma área plana a levemente plana por faixas alongadas, de origem fluvial e sujeita a inundações periódicas, e depressões que se apresentam em altitudes mais baixas que as porções contíguas e podem ter dimensões, formas e origens bem variadas.
  - **A15 - Depressões, Lagos, Deltas/Cones, leques dissecados:** São áreas onde o sistema fluvial se comporta de forma similar a um padrão distributário, ou onde as baixas declividades não permitem o escoamento concentrado em canais fluviais, estando sujeitas a inundações excepcionais.

**A32 - Planícies Inundáveis e Vales do rio Escondido:** localizado próximo a foz do rio Escondido em terrenos de baixa declividade que sofrem processos de inundação pelo transbordamento do canal. O lençol freático é subafiorante na maior parte do período de vazante. As planícies fluviais elaboradas por rios com padrão retilíneo, não apresentam marcas de paleocanais em forma de meandros. Também são observadas pequenas soleiras, fato que ocasiona pequenas

descontinuidades na planície, servindo de anteparo para os sedimentos depositados a montante e também para dinamizar o fluxo a jusante.

### Unidades Denudacionais

- **D - Unidades denudacionais:** corresponde as superfícies de aplanamento que compreende extensas superfícies aplanadas por processos de pediplanação. Tem como embasamento as rochas do piso regional encobertas parcialmente por sedimentos indiferenciados do Terciário-Quaternário. Estas superfícies têm caimento geral no sentido dos grandes rios que cortam a área de estudo (DELLA JUSTINA, 2009).
  - **D1 – *Footslopes*:** compreende áreas posicionadas topograficamente abaixo de uma superfície que está sendo erodida, que no caso da área de estudo é o Planalto dos Parecis. Nos *footslopes* podem ocorrer processos de erosão, mas também de deposição a partir de processos gravitacionais. Muitas vezes chegam a conformar escarpas erosivas, com presença de depósitos gravitacionais no sopé. Também pode corresponder a áreas de transição entre unidades geomorfológicas.
  - **D2221 - Superfície de Aplanamento Nivel II, altitudes entre 200 e 300 metros;** ocorre sobre rochas cristalinas com quantidades variáveis *inselbergs*: Declividade inferiores a 1%. Interflúvios acima de 5000 metros, tabulares. Vales amplos. Sedimentos inconsolidados terciário-quaternário Material areno-argiloso. Escoamento superficial laminar e infiltração predominantemente.
  - **D31/D32 Agrupamentos de morro e colinas:** compreende relevos em formas de morros e colinas dispersos por todo o Estado. Representam relevos residuais, associado a diferentes embasamentos litológicos e não possuindo controle estrutural evidente. Este sistema apresenta-se como uma área de colinas e morros dissecados pela ação fluvial, conformando um relevo muito dissecado, circundado por áreas aplanadas. Localmente recebem denominação de serras, em função de desníveis de até 150 metros.



Mapa 3 – Mapa de Geomorfologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.

Fonte: Autora (2016)

*S - Unidades Estruturais/Denudacionais:*

- **S110/S111 - Superfícies Tabulares:** compreende uma série de relevos elaborados sobre rochas sedimentares de idade Cretácica e Formações Terciário-Quaternárias. O padrão de formas predominantes é composto por interflúvios amplos e levemente tabulares, com fundos de vale geralmente aberto e amplos. Pequenas planícies fluviais formam-se em setores restritos da rede de drenagem.
- **S121/S122 – Superfícies Tabulares, em rochas vulcosedimentares:** É constituído por colinas amplas e colinas médias com topos aplanados ou levemente convexizados. As vertentes são longas e predominantemente retilíneas, apresentando baixas declividades. O material do embasamento é composto predominantemente por rochas do Grupo Metavulcano Sedimentar Colorado do Oeste, gerando materiais superficiais argilosos fracamente pedogenizados e com pequena espessura, conformando solos do Cambissolos Eutróficos e Argissolos Vermelho-Amarelo. Nas áreas com declividade mais acentuadas são observados colúvios nas baixas vertentes
- **S32 - Agrupamentos de Morros e Colinas com Controle Estrutural:** Corresponde a unidades geomorfológicas associadas a forte controle estrutural que resulta em alinhamento das formas de relevo. Conformam relevos em forma de Morros e Colinas, geralmente agrupados e localmente denominados de serras, pois encontram-se alçados geralmente a mais de 100 metros dos relevos aplanados que geralmente os circundam. O embasamento é variável, predominando rochas do Supergrupo Gnaiss Jamarí e rochas do Embasamento Pré-Rondoniano.

## 1.6 Pedologia

Os solos representam a superfície terrestre resultante da ação dos organismos vivos e do clima sobre o material litológico, denominada pedogênese que corresponde aos processos físico-químicos de alteração. Estes, porém, apresentam características morfológicas

individuais como profundidade e espessura, cor, textura, estrutura, consistência entre outras características que os distinguem e os agrupam em classes.

As classes de solos constituem a base fundamental para composição de unidades de mapeamento. Assim, a unidade de mapeamento é o grupamento de área de solos, estabelecido para possibilitar a representação em bases cartográficas e mostrar a distribuição espacial, extensão e limites dos solos (IBGE, 2015).

Em geral, são solos com características distróficas, de baixa fertilidade, elevada acidez e altos teores de alumínio, com base nos dados analíticos para as unidades SOTRO do município (SEDAM, 2000).

Os mapeamentos das unidades pedológicas da sub-bacia do Rio Escondido estão no mapa 4, cuja descrição basearam-se na classificação apresentada pelo Manual Técnico de Pedologia – 3ª Edição (IBGE, 2015) e no Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Rondônia – 2ª Edição (PLANAFLORO, 2009), considerando a escala regional de 1:250.000, na realidade a classificação de solos nacionais segue uma única classificação que a do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (2013), que foi aplicada na área de estudo considerando nossa escala de detalhamento de informação quanto aos aspectos referentes à erosão e classificação de solos.

- **Argissolo:** Têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores e outras características. As cores do horizonte Bt variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A, são sempre mais escurecidas. A profundidade dos solos é variável, mas, em geral, são pouco profundos a profundos. Na sub-bacia são encontradas as seguintes classes de Argissolos: Argissolo Amarelo Distrófico; Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico.
- **Neossolo:** Solos constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, congregam solos rasos, ou profundos e arenosos. Boa parte dos Neossolos ocorre em praticamente todas as regiões do País, embora sem constituir representatividade espacial expressiva.

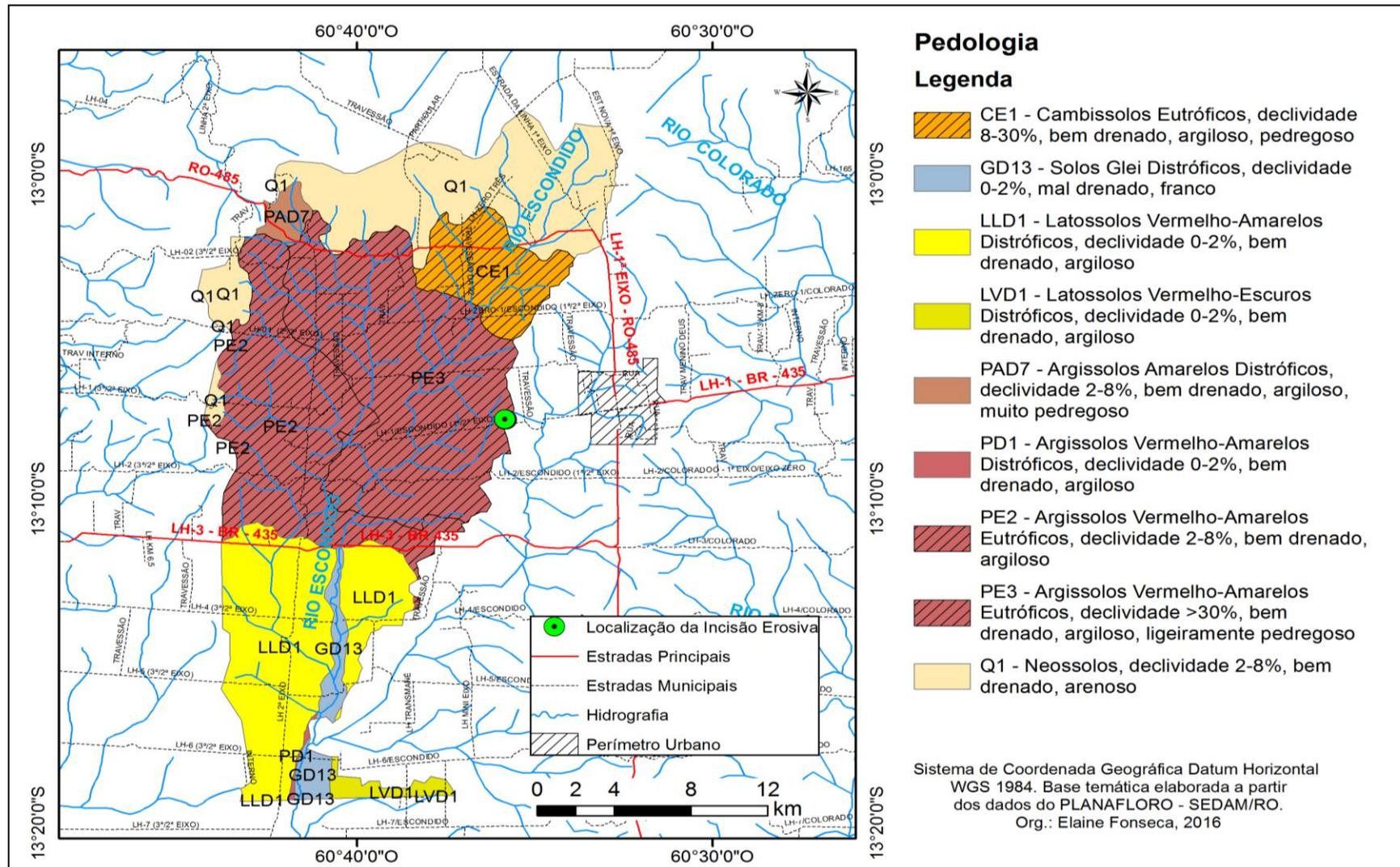
**Cambissolo:** Apresentam grande variação na profundidade, ocorrendo desde solos rasos a profundos, além de grande variabilidade também em relação às demais características, a drenagem varia de acentuada a imperfeita, muitas vezes são pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos. Ocorrem disseminados em todas as regiões do Brasil, preferencialmente em regiões serranas ou montanhosas. Na sub-bacia do Rio escondido encontra-se o Cambissolo Eutrófico.

- **Gleissolo:** Característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50cm da superfície.

Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso. Ocorrem em praticamente todas as regiões brasileiras, ocupando principalmente as planícies de inundação de rios e córregos. Ocorre o *Glei Distrófico* na sub-bacia.

- **Latossolo:** Em geral são solos muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Caracterizam-se por grande homogeneidade de características ao longo do perfil, mineralogia da fração argila predominantemente caulinítica ou caulinítica-oxídrica, que se reflete em valores de relação  $K_i$  baixos, inferiores a 2,2, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Distribuem-se por amplas superfícies no Território Nacional, ocorrendo em praticamente todas as regiões. Entre as classes dos Latossolos encontramos o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Latossolo Vermelho-Amarelo Escuro Distrófico na presente sub-bacia.

No mapa 04, verifica-se que a incisão erosiva se localiza em área classificada como *Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico*, para escala de 1:250.000. Porém, as condições verificadas de descrição morfológica do perfil na incisão erosiva contestam a generalização dessa escala e de sua classificação para área de estudo (boçoroca) levando em conta seus aspectos morfológicos e texturais observados em campo e laboratório.



Mapa 4 – Mapa de pedologia da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.

Fonte: Autora (2016)

## 1.7 Vegetação

A cobertura vegetal da superfície da terra pode ser de origem natural ou plantada. Essa cobertura é fortemente influenciada por variações sazonais dadas por características da fenologia vegetativas das espécies, que são variações na quantidade de folhas, assim como, por outras características ambientais como o tipo de solo, o clima e a altitude na qual se encontra.

A vegetação exerce papel de proteção da superfície do solo, por isso, é considerada fator de extrema importância para a conservação do meio ambiente, pois funciona como teto protetor do solo evitando a perda por processo erosivo, resguarda a fauna e a flora mantendo o equilíbrio da temperatura.

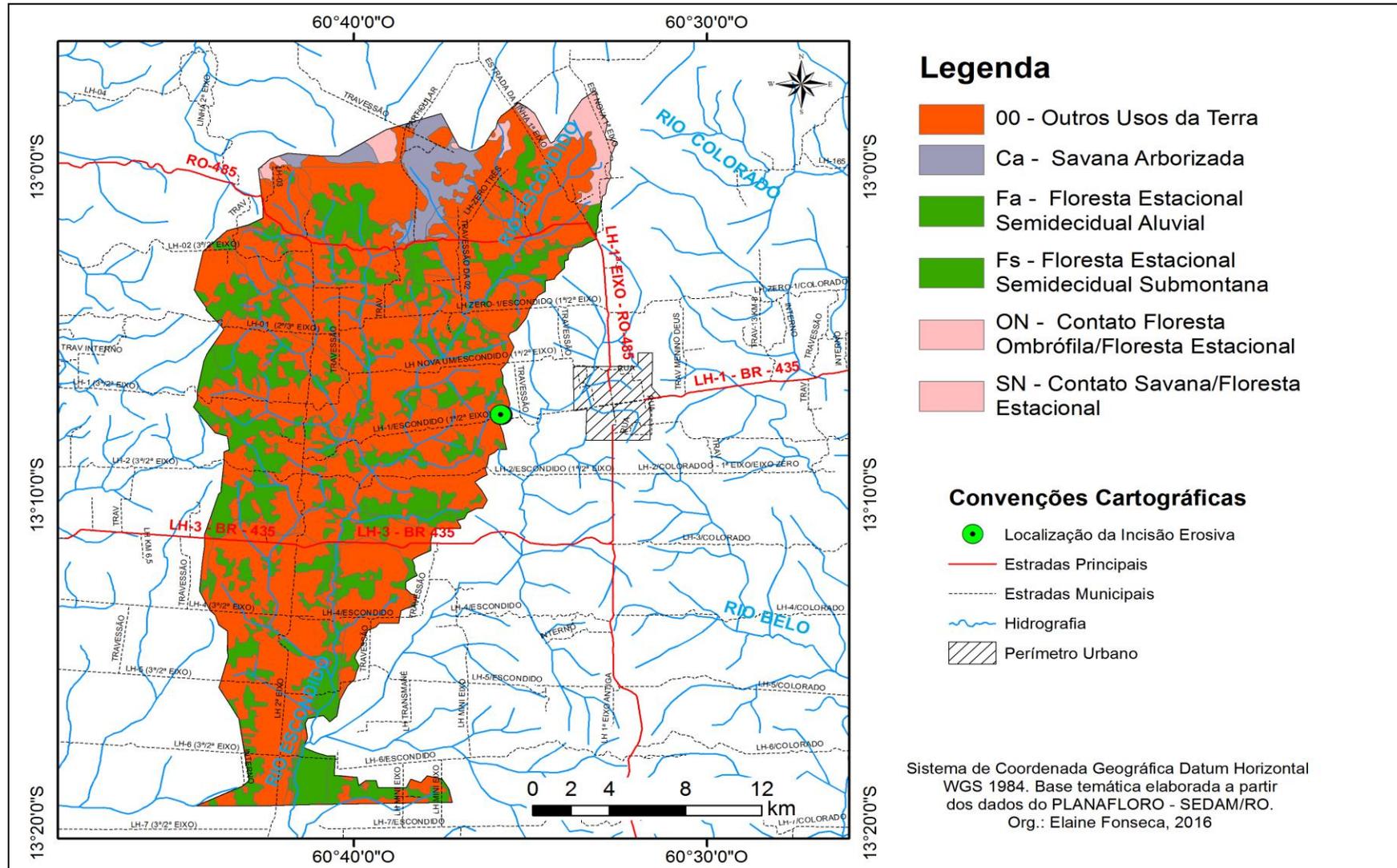
A vegetação do Estado de Rondônia, de uma maneira global, é caracterizada pelo contato entre as formações vegetais das Florestas Tropicais da Região Amazônica e as do Cerrado do Brasil Central, com predominância da floresta Ombrófila Aberta (ICMBio, 2009).

A análise dos fragmentos de florestas fornecida pelo Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Rondônia, (Mapa 5), no entorno da incisão atesta que a área foi ocupada por formação vegetal denominada Floresta Estacional Semidecidual Submontana, que crescem em solos rasos e rochosos nas encostas e planaltos de serras muito antigos.

Esta formação florestal é constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais. O conceito ecológico deste tipo florestal se estabelece em função da ocorrência de clima estacional, que determina semidecuidade da folhagem da cobertura florestal.

A descrição da composição florística da área de estudo encontra-se no mapa 05, entretanto, apesar da pouca extensão da sub-bacia, a mesma apresenta variação considerável no tipo de cobertura vegetal, sendo importante mencionar a existência de uma fração relevante da área ocupada por “Outros usos da terra” com destaque para a prática da pecuária extensiva.

A descrição do mapa 5, baseou-se nos critérios adotados pelo Zoneamento Socioeconômico-Ecológico de Rondônia – ZSEE complementado pelo Manual Técnico da Vegetação Brasileira – 2ª Edição, elaborado pelo IBGE (2012), para classificação da vegetação brasileira.



Mapa 5 – Mapa de vegetação da sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido.

Fonte: Autora (2016)

As formações vegetais identificadas na área de estudo são:

- ***Outros usos da terra:*** corresponde às áreas onde ocorre vegetação secundária, compreendendo as áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária. A Vegetação Secundária que surge reflete sempre, e de maneira bastante uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente, de forma que a sucessão vegetal obedece ao ritmo de recuperação do solo degradado pela ação predatória do homem. A incisão erosiva localiza-se nesta tipologia de uso.
  
- ***Savana Arborizada:*** São formações com feições xeromórficas produzidas por estacionalidade ou estresse edafoclimático de origem hídrica ou de saturação de alumínio e ferro. As savanas brasileiras, denominadas cerrados, podem ser definidas como ambientes onde existe um estrato herbáceo ou graminoso contínuo, exceto em algumas feições florestadas como o cerradão.  
A savana arborizada são áreas densamente povoadas por elementos arbóreos formando ilhas ou aglomerados, somando-se então ao estrato arbustivo. Esta categoria corresponde a forma típica de cerrado.
  
- ***Floresta Estacional Semidecidual Aluvial:*** formam matas ciliares que ocorrem associadas nas margens dos rios. É encontrada com maior frequência na grande depressão pantaneira mato-grossense-do-sul. Este tipo florestal se desenvolve sobre solos hidromórficos aluviais com baixa capacidade de retenção hídrica, especialmente em planícies e nos meandros abandonados de rios de água branca, em altitudes de até 100 m.
  
- ***Floresta Estacional Semidecidual Submontana:*** Estas florestas crescem em solos rasos e rochosos, geralmente argissolos, nas encostas e planaltos de serras muito antigos. Essas áreas, com forte declividade como encostas e vales, geralmente estão acima de 600 m de altitude. Esta formação é constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas, e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais. O conceito ecológico deste tipo florestal se estabelece em função da ocorrência de clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal.

- ***Contato Floresta Ombrófila/Floresta Estacional:*** Este tipo de contato é caracterizado pela ocorrência conjunta de espécies e feições em mosaico de florestas ombrófilas e estacionais. Ocorre na chapada dos Parecis, sobre solos férteis, como terra roxa estruturada. O dossel é irregular, onde a parte estacional é bem mais aberta do que o componente de floresta ombrófila.
- ***Contato Savana/Floresta Estacional:*** Esta feição transicional é comum no centro e no vale do rio Guaporé, cresce sobre solos com certa deficiência hídrica.

## 1.8 Aptidão agrícola

A avaliação da aptidão agrícola consiste em interpretar as qualidades do ecossistema por meio da estimativa das limitações das terras para uso agrícola e das possibilidades de correção ou redução dessas limitações de acordo com diferentes níveis de manejo. A indicação do nível de manejo é dada por meio das letras A, B e C, as quais podem aparecer na simbologia da classificação escrita de diferentes formas, segundo as classes de aptidão que apresentem as terras, em cada um dos níveis adotados.

Portanto, o mapa de aptidão agrícola é um instrumento técnico de informação para planejamento da ocupação racional, um instrumento político para regularização do uso do território e instrumento de gestão territorial, onde se buscou dividir o estado em zonas de acordo com as características de uso de cada região que o compõe, considerando suas potencialidades e restrições, de acordo com Fritzsos; Correa (2009).

São reconhecidos seis grupos de aptidão agrícola, representados pelos algarismos de 1 a 6, em escala decrescente, segundo as possibilidades de utilização das terras.

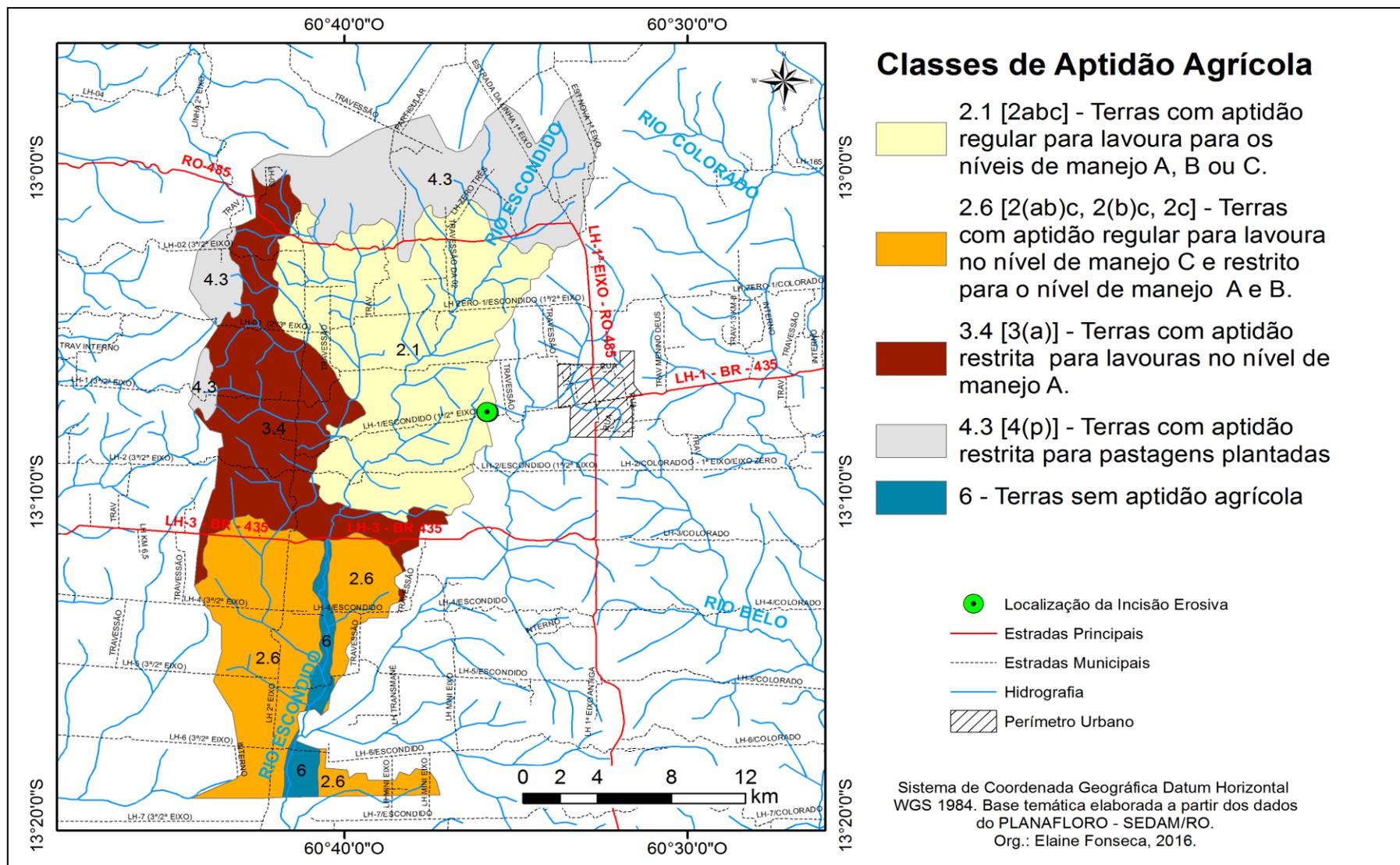
Os grupos de aptidão 1, 2 e 3 indicam as terras mais adequadas para lavouras, além de representar, no subgrupo, as melhores classes, e os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam os tipos de utilização: respectivamente, pastagem plantada, silvicultura, pastagem natural e preservação independentemente da classe de aptidão.

As diferentes classes de aptidão agrícola referente à área de estudo estão descritas no mapa 6. A classe de aptidão agrícola boa significa terras sem limitações significativas para a

produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado; na aptidão regular há limitações moderadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado; a classe restrita apresenta limitações fortes para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização, observando-se as condições do manejo considerado.

Essas limitações reduzem a produtividade ou os benefícios, ou então, aumentam os insumos necessários de tal maneira que os custos só seriam justificados marginalmente; e na classe de aptidão agrícola inapta as terras não são adequadas para a produção sustentada de um determinado tipo de utilização.

A área onde se encontra a incisão erosiva possui classe de aptidão agrícola 2.1 [abc], ou seja, são terras com aptidão agrícola regular em pelo menos um dos três níveis de manejo A, B ou C. A principal limitação encontra-se nas práticas agrícolas de alta tecnificação, que requer o uso de maquinários agrícolas, pois ocorrem relevos com declividade considerável, presença de matacões e textura arenosa que são limitantes ao cultivo de monoculturas.



Mapa 6 – Mapa das classes de aptidão agrícola da sub-bacia do rio Escondido.

Fonte: Autora (2016)

## CAPÍTULO II

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 2.1 Voçorocamento

##### 2.1.1 Início e evolução

Todo processo erosivo de origem pluvial tem seu início no instante em que as gotas da chuva atingem o solo, a partir desse momento o impacto das gotas na superfície determina sua erosividade, ou seja, sua capacidade de causar erosão, e tende a acelerar à medida que ocorre a remoção da cobertura natural para fins econômicos ao permitir a incidência direta da chuva no solo.

O surgimento e evolução de um processo erosivo pode ser descrito como na figura 4.

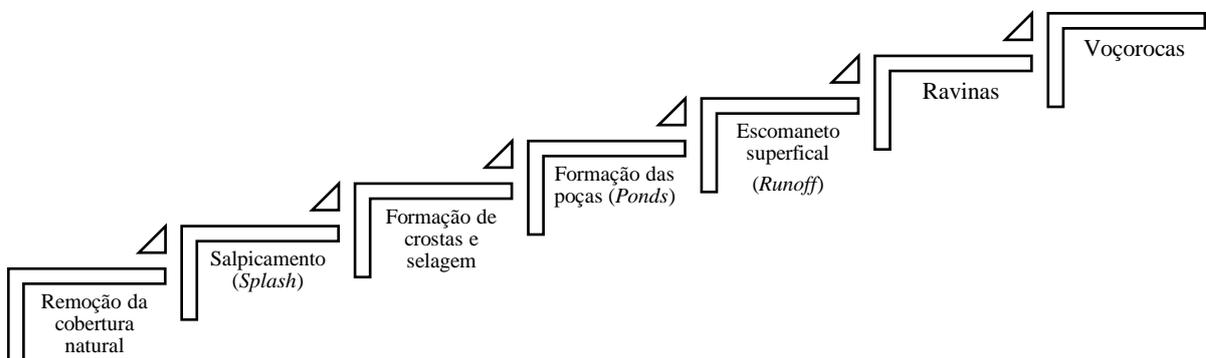


Figura 4 – Processo erosivo em sequenciamento.  
Fonte: Autora (2016)

O potencial erosivo das gotas é dado pela sua energia cinética que está relacionado a intensidade da chuva, mensurada pela duração, massa, tamanho da gota e velocidade. A

energia cinética que envolve uma gota de chuva é capaz de promover a ruptura dos agregados de solo, dando início a um processo conhecido por erosão por salpicamento ou *splash*. Segundo Guerra et al. (2014), *splash* é o estágio inicial do processo erosivo que prepara as partículas que compõem o solo para serem transportadas pelo escoamento superficial.

A ruptura dos agregados provocada pelo salpicamento forma partículas menores que irão preencher os poros existentes no topo do solo dando início a formação das crostas na superfície, caracterizada pela diminuição da porosidade e consequente aumento da densidade. E, conforme ocorre o aumento das crostas na superfície surge o fenômeno de selagem dos solos que impede a infiltração da água.

A consequente redução na taxa de infiltração de água no solo é capaz de formar poças ou *ponds* na superfície que acabam por dar início ao processo de escoamento superficial, denominado *runoff* segundo Guerra et al. (2014). Poças ou *ponds* é o estágio que antecede ao escoamento superficial e *Runoff* é o processo de desprendimento e transporte de sedimento em uma etapa inicial da formação de ravinas por meio do escoamento superficial.

Entre os fatores responsáveis pela diminuição da infiltração da água no solo podemos destacar: estabilidade dos agregados, propriedades físico-químicas do solo, características das chuvas, tipo de cobertura vegetal, uso e manejo do solo, características das encostas e microtopografia do terreno. Todos esses fatores em conjunto determinam a dinâmica dos processos erosivos que apresentará uma variação distinta conforme o grau de atuação de cada fator.

O escoamento superficial acontece quando o volume precipitado excede a capacidade de infiltração e a água acumulada no solo começa a remover os sedimentos. A primeira etapa é conhecida como escoamento em lençol ou fluxo laminar, que de acordo com Guerra et al. (2014), este fluxo ainda não tem força para transportar partículas, porém à medida que o fluxo aumenta inicia-se o processo erosivo, denominado de erosão laminar, onde começa a ocorrer pequenas incisões no solo que pode vir a formar as ravinas.

Guerra (2004) afirma ainda, que erosão laminar são comandadas por diversos fatores, como os grandes volumes de chuvas, a falta de vegetação no solo e topografia acentuada e a combinação destes deixa o local com o aspecto de solo lavado, pois conforme elucidado Silva et al. (2007), a mesma caracteriza-se por incidir na retirada de uma camada fina e relativamente uniforme do solo.

Essa etapa do escoamento superficial é uma das formas mais danosas, pois remove a camada onde se encontram a matéria orgânica e boa parte dos nutrientes do solo, alterando

também, as condições para ocorrência dos processos microbianos que refletem na fertilidade do solo, decomposição do material orgânico, disponibilidade dos nutrientes para as plantas (CANTALICE, 2002).

A partir do escoamento superficial tem-se início a formação das ravinas. De acordo com Magalhães (2001), as ravinas correspondem aos canais de escoamento pluvial concentrado, apresentando feições erosionais com traçado bem definido com tendência a se aprofundar a cada estação chuvosa devido aos efeitos das enxurradas.

Bryan (1990) identificou 05 estágios do processo de ravinamento que tem início com o escoamento superficial, desenvolvimento do fluxo linear, formação das microrravinas, o surgimento de microrravinas de cabeceira, e finaliza com o desenvolvimento de bifurcações através dos pontos de rupturas.

Bryan (1987) afirma ainda, que se as ravinas persistirem por um período prolongado podem evoluir para voçorocas. O termo voçorocas possuem diferentes definições na literatura, segundo Cavaguti (1994), Canil et al. (1995) e Lopes; Guerra (2001), são canais esculpidos pelo afloramento do lençol freático. Guerra (1998), a definiu como incisões que possuem mais de 50 centímetros de largura e, de acordo com Bacellar (2006), as voçorocas podem ser formadas através de erosão superficial, erosão subsuperficial e movimentos de massa.

O termo voçoroca, por sua vez, é empregado para se referir à incisões onde o lençol freático foi atingido e passa a assumir uma dinâmica de evolução própria, por isso, o monitoramento dessas incisões erosivas tornou-se vital para compreensão dos fenômenos de arraste de solos, que se comporta de maneira específica a depender das variações das taxas de erosão, as quais estão ligadas à ação de fatores controladores, como os processos hidrológicos, as propriedades físicas dos solos, a erosividade, as características da encosta, a cobertura vegetal (GUERRA, 1994).

### 2.1.2 Fatores condicionantes do voçorocamento

O desgaste da superfície terrestre promovidos por agentes naturais e intensificados pela ação antrópica pode ser classificado em erosão hídrica (pluvial e fluvial), erosão eólica, erosão marinha, erosão glacial e erosão gravitacional de acordo com os agentes erosivos atuante. Contudo, o processo erosivo produzido pelas chuvas tem uma abrangência maior no

globo terrestre, em especial na zona intertropical, onde o índice pluviométrico é elevado, agravado à medida que ocorrem as remoções da cobertura vegetal natural.

Foster; Meyer (1977) afirmam que, o processo de erosão pluvial pode ser dividido em três etapas: desagregação, transporte e deposição. Volk (2006), descreve essas etapas como: desagregação a separação das partículas de solo provocado pelo impacto das gotas e pela tensão tangencial chuva; o transporte ocorre pelo salpicamento e pela enxurrada que pode ser maior de acordo com a declividade do terreno; e a deposição do material aumentando a carga de sedimentos na enxurrada além da sua capacidade.

De acordo com Tucci (2004), o arraste de partículas é dependente de um grande número de fatores, sendo o relevo, a cobertura da bacia, modificações artificiais nos rios, a distribuição, duração e intensidade da precipitação e o tipo de solo, os mais importantes. Entre os fatores de modificações artificiais destacam-se a remoção das florestas para implantação de práticas agropecuárias com técnicas inadequadas de condução associada a alta vulnerabilidade à erosão devido ao tipo de solo e a topografia acidentada e, a instalação e desenvolvimento do núcleo urbano sem prévio planejamento.

A remoção da cobertura vegetal afeta a proteção natural do solo, que tem a função de amenizar o impacto das gotas de chuvas, permitir a maior taxa de infiltração e, reduzir a quantidade e a velocidade das enxurradas que provocam o arrastamento da camada superficial e mais fértil do solo para os recursos hídricos.

### 2.1.3 Erosividade e erodibilidade

A precipitação é um importante fator no desencadeamento de processos erosionais. Conhecer as características do solo e da chuva de uma região num contexto de relações paisagística é preponderante para o entendimento do processo (ALMEIDA et al. 2009).

Segundo Della Justina (1998), a magnitude da ação da chuva é determinada pela sua capacidade de provocar erosão. Nesse contexto, a chuva atua como agente ativo no processo erosivo e pode ser expressa pelo seu potencial em causar erosão (erosividade). E, o solo, como paciente no processo erosivo, por sua vez, expressa a sua suscetibilidade à erosão (erodibilidade).

A determinação dos valores de erosividade permite identificar os meses nos quais o risco de erosão é mais elevado, o que é importante no planejamento de uso da terra

(HUDSON, 1995; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999;). Ainda de acordo com Silva (2004), a faixa de variação para a erosividade no Brasil é de 3.116 a 20.035 MJ mm ha<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Por outro lado, erodibilidade é a capacidade do solo em resistir à erosão e está diretamente relacionada às suas propriedades físicas. Segundo Braidá; Cassol (1996), a erodibilidade do solo representa sua suscetibilidade de erodir em diferentes taxas, devido exclusivamente às suas características intrínsecas dadas por suas propriedades físicas, químicas e mineralógicas.

A erodibilidade é o efeito integrado de processos que regulam a chuva no momento que encontra o solo e a sua respectiva resistência no que tange a desagregação de partículas e conseqüentemente movimentos destas, indicando o grau de suscetibilidade a erosão em relação às propriedades inerentes ao solo.

A erodibilidade é definida, segundo Bastos (1999), como a maior ou menor facilidade com que as partículas de solo/rocha são destacadas e transportadas pela ação de um agente erosivo. Esta propriedade está relacionada à natureza do solo/rocha e está intimamente associada à textura, estrutura, estratificação, permeabilidade, teor de umidade, e composição destes materiais.

Santana et al. 2007, ao estudar a erodibilidade na alta bacia do rio Araguaia constatou que as classes de erodibilidade Forte e Moderada representam 74.74% do total para a área. Esses valores de erodibilidade variando de moderado a forte podem resultar em solos altamente suscetíveis à erosão principalmente nas áreas com Neossolos Quartzarênicos.

## 2.2 Aspectos morfométricos como subsídio aos processos erosivos

A bacia hidrográfica é uma importante unidade espacial utilizada para gerenciar as atividades de uso e a conservação dos recursos naturais (PISSARA et al. 2004), e, a morfometria é um recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, além de ser uma ferramenta de auxílio no planejamento territorial.

De acordo com Antonelli; Thomaz (2007), a combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas, além da sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental e nos indicadores para gestão ambiental, uma vez que

o comportamento hidrológico de uma bacia está em função de suas características geomorfológicas e de cobertura vegetal (LIMA, 1986), assim como, as características físicas e bióticas (TONELLO et al. 2006).

Para o estudo analítico das bacias hidrográficas Christofolletti (1980) sugere a abordagem de quatro itens: hierarquia fluvial, análise areal, análise linear e análise hipsométrica. Desse modo, os estudos relacionados aos cursos fluviais por meio de métodos sistêmicos e racionais como parâmetros quantitativos levam ao esclarecimento de várias questões acerca da morfogênese e morfodinâmica da paisagem (IBGE, 2009).

Segundo Christofolletti (1999), os parâmetros morfométricos servem como referencial para o planejamento ambiental e auxilia na tomada de decisão nos projetos de gestão dos recursos hídricos por corresponder a um conjunto de procedimentos que caracteriza os aspectos geométricos e de composição dos sistemas ambientais e que, portanto, a morfometria é um tipo de avaliação quantitativa que revela indicadores físicos específicos de forma a qualificar as alterações ambientais que ocorreram e/ou ocorrem.

### 2.2.1 Hierarquia fluvial

De acordo com Christofolletti (1980), hierarquia fluvial consiste em estabelecer a classificação de determinado curso de água para facilitar e tornar mais objetivo os estudos morfométricos. Porém, pesquisadores como Horton (1945), Strahler (1952), Scheidegger (1965) e Shreve (1966) propuseram diversos critérios para ordenamento de canais.

A opção pelo modelo proposto por Strahler (1952) deve-se ao entendimento que os canais de primeira ordem são aqueles que partem da nascente até o encontro com outros canais e apresentam uma condição natural de fragilidade e, que a confluência entre dois canais implicaria no surgimento de uma ordem subsequente facilitando assim, a compreensão da rede de drenagem.

Dessa forma, a hierarquização no presente estudo seguirá o modelo descrito por (SANTOS, 2014) onde os rios de primeira ordem correspondem às nascentes, onde o volume de água ainda é baixo. Os rios de segunda ordem correspondem à junção de dois rios de primeira ordem e os rios de terceira ordem, a junção de dois de segunda, assim sucessivamente formando uma hierarquia conforme o modelo proposto por Strahler (1952) que pode ser visualizado na figura 5.

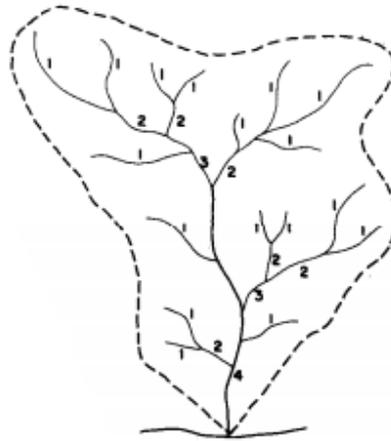


Figura 5 – Hierarquia fluvial proposta por Strahler (1952)  
 Fonte: Christofolletti (1980)

### 2.2.2 Análise linear da rede hidrográfica

Na análise linear são englobados os índices e relações a propósito da rede hidrográfica, cujas medições necessárias são efetuadas ao longo das linhas de escoamento (ALCÂNTARA; AMORIM, 2005) e são distintos pelos seguintes parâmetros:

1. *Relação de bifurcação*: é um parâmetro adimensional que tende a apresentar similaridade, contudo devido as variações na geometria o valor não será exatamente o mesmo de uma ordem para outra. Valores extremamente altos deste índice podem ser esperado em regiões de vale rochosos e escarpados e vão sugerir bacias alongadas. Essas regiões geralmente apresentam numerosos tributários de pequena extensão, enquanto nas regiões planas de solo profundo e permeável somente os tributários relativamente longo permanecem (WISLER; BRATER, 1964)
2. *Índice de sinuosidade*: o índice próximo a 1 indicam que os canais tendem a serem retilíneos, já os valores superiores a 2.0, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares (TEODORO et al. 2007). Sendo este, um indicador da velocidade de escoamento, pois quanto maior a sinuosidade de um rio maiores obstáculos as águas encontrarão e menor será a velocidade de deslocamento e menos capacidade de transporte de sedimento terá.
3. *Extensão do percurso superficial*: este valor indica a distância média que a gota de chuva deve percorrer até atingir um canal, caso o trajeto se desse em linha reta.

4. *Comprimento médio dos rios*: o comprimento dos canais aumenta à medida que aumenta a ordem em que os mesmos se enquadram.
5. *Gradiente do canal principal*: o índice de gradiente de canal é comumente utilizado para avaliação do controle exercido por fatores geológicos sobre o perfil longitudinal dos rios. Embora amplamente utilizado, sobretudo recentemente no Brasil, por vezes o índice não é plenamente entendido em seu sentido geomorfológico e em suas transformações matemáticas (LIMA, 2013).

### 2.2.3 Análise areal da rede hidrográfica

Na análise areal envolvem diversos índices e parâmetros nos quais intervêm medições planimétricas e lineares. Dentre os parâmetros encontram-se:

1. *Forma da bacia*: o valor máximo a ser obtido é igual a 1.0, e quanto maior o valor, mais próxima da forma circular estará a bacia hidrográfica. O fator forma também dá alguma indicação sobre a tendência a inundações, pois em uma bacia com fator de forma baixo há uma possibilidade menor de chuva intensa cobrir toda a extensão do que uma bacia com mesma área e fator de forma maior.
2. *Densidade de drenagem*: correlaciona o comprimento total dos canais de escoamento com a área da bacia hidrográfica. Este varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, pois quanto maior a densidade de drenagem menor a distância média que a gota de chuva deve percorrer até atingir um canal.
3. *Densidade de rio*: é a relação entre número de rios e a área da bacia com a finalidade de comparar a frequência ou a quantidade de cursos de água existentes, sendo um parâmetro hidrológico importante, pois determina a capacidade da bacia hidrográfica em gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLLETI, 1980).
4. *Coefficiente de manutenção*: este índice tem o objetivo de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.

#### 2.2.4 Análise hipsométrica da rede hidrográfica

Conforme o proposto por Christofolletti (1980), a hipsometria preocupa-se em estudar as inter-relações em determinadas unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição e relação às faixas altitudinais. A hipsometria está representada pelos seguintes parâmetros:

1. *Coefficiente de massividade e coeficiente orográfico*: os coeficientes orográficos e de massividade representam respectivamente o volume rochoso e a massa rochosa remanescentes numa bacia hidrográfica, e, são importantes na definição do grau de resistência das rochas, que por sua vez definem a relação entre erosão e infiltração de água no solo (CHRISTOFOLLETI, 1980).
2. *Amplitude altimétrica*: corresponde à diferença altimétrica entre altitude da desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica.
3. *Índice de rugosidade*: este índice tem influência no processo de infiltração/escoamento, índices fracos a médios favorecem maior infiltração, enquanto índices médios a altos favorecem o escoamento superficial, estimulando eventos erosivos, desconsiderando, portanto, outras variáveis que influenciam no processo, como uso e ocupação das vertentes, conservação da vegetação nativa, constituição rochosa e regime pluviométrico (SOUZA; RODRIGUES, 2012).
4. *Textura topográfica*: representa o grau de entalhamento da superfície terrestre. É um indicador do estágio erosivo (geológico) de região, uma vez que as formas e o processo de evolução da textura da topografia variam conforme alguns fatores atuam na drenagem (SILVA et al. 2007).
5. *Relação de relevo*: este índice considera o relacionamento existente entre a amplitude altimétrica máxima de uma bacia e a maior extensão da referida bacia, medida paralelamente à principal linha de drenagem.
6. *Curva hipsométrica*: a curva hipsométrica é uma maneira simplificada de representar o ciclo geomorfológico, podendo caracterizar uma fase jovem do relevo com maiores elevações até uma fase madura, onde o relevo está praticamente aplainado (SOUZA; RODRIGUES, 2012). De acordo com Christofolletti (1980), a curva hipsométrica tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo e conhecendo-se a altura

e a área de cada faixa altitudinal analisada, é fácil calcular o volume de cada faixa respectiva e a soma de todas representará o volume rochoso ainda existente na região.

## 2.3 Geotecnologias aplicada no monitoramento de processos erosionais

### 2.3.1 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)

A necessidade do homem em descobrir sua localização no planeta e a partir desse ponto saber se deslocar e retornar ao local de origem, fê-lo com que buscasse diferentes formas de orientações, inicialmente por meios dos astros celestes, seguida da bússola e outros instrumentos de maior porte até o desenvolvimento de satélites artificiais na década de 1970 pelo Departamento de Defesa Americano conhecido como *Navigation System with Time and Ranging Positioning System* (NAVSTAR - GPS).

Esse sistema veio solucionar os problemas de precisão que os outros sistemas desenvolvimentos até então, baseados em ondas de rádios, apresentavam, tais como: Loran, Decca e Ômega (MONICO, 2008). Com a revolução na determinação das posições proporcionada pelo surgimento da constelação GPS em diversas atividade, fez com que diversos outros países passassem a elaborar seu próprio Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS), como a Rússia, União Europeia e a China.

O princípio básico da obtenção da coordenada geográfica com o uso da medida de distâncias entre o usuário e o receptor e o número mínimo de quatro satélites em qualquer ponto do globo terrestre foi adotado pela Rússia com o desenvolvimento do GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*) desde a década de 1970 e bastante similar ao GPS; pela União Europeia com o sistema Galileo a partir de 2005, porém, com boa cobertura apenas para latitudes acima de 75°; e, pela China com o Beidu/Compass com a utilização de satélites geoestacionários cujo primeiro satélite foi lançado no ano 2000.

Os GNSS trabalham basicamente com três segmentos: Espacial, Controle e Usuário. O segmento Espacial é a distribuição ou arranjo espacial dos satélites em torno da Terra. O segmento de Controle visa o monitoramento e controle contínuo dos satélites, predizer as efemérides e atualização das mensagens de navegação de cada satélite. E, o segmento de Usuários está associado os receptores de sinais GNSS empregado no uso civil e militar (MONICO, 2008).

Em razão da alta acurácia proporcionada por esses sistemas surgiu uma grande comunidade usuária em diferentes segmentos da sociedade civil com distintas possibilidades de uso, como no estudo da geodinâmica no monitoramento da crosta terrestre para detecção de possíveis terremotos, na determinação da rede altimétrica para obtenção das altitudes ortométricas, agricultura de precisão que possibilita a localização e orientação das máquinas em qualquer lugar no campo, estudos relacionados a atmosfera para entendimento do comportamento da ionosfera, além de outras aplicações como navegação dos veículos, Sistema de Informação Geográfica (SIG), entre outros.

De todas as constelações disponíveis hoje, sem sombra de dúvida, a mais utilizada é a constelação norte americana GPS que passou a oferecer a seus usuários civis a partir do ano 2000 maior acurácia horizontal e vertical após a abolição definitiva da degradação dos sinais da constelação para os usuários que não fossem militares ou autorizados. Com isso, a demanda por essa tecnologia aumentou e passaram então, a desenvolver receptores de sinais de satélites cada vez mais modernos e precisos ampliando cada vez a possibilidade de uso.

### 2.3.2 Métodos de posicionamento

O conjunto de atividades voltadas para as medições e observações de grandezas físicas e geométricas que conduzem à obtenção das coordenadas dos pontos integrantes do sistema pode ser denominado como levantamento geodésico ou posicionamento geodésico.

O posicionamento consiste basicamente em obter a posição de pontos de interesse num referencial específico. Segundo Monico (2008), os métodos de posicionamentos que geralmente aparecem na prática podem ser classificados, quanto ao referencial, em absoluto e relativo.

De uma maneira geral, o posicionamento por GNSS nada mais é do que a obtenção da coordenada (latitude, longitude e altitude) realizado por diferentes métodos e procedimentos. Sendo o mesmo classificado em: por ponto ou método absoluto e posicionamento relativo. Este se caracteriza por ter a posição determinada com relação a outro ponto cujas coordenadas devem ser conhecidas e aquele por necessitar apenas de um receptor, utilizado apenas em navegação de reduzida precisão.

O posicionamento relativo, por sua vez, obtém as coordenadas do vértice de interesse a partir de um ou mais vértices de coordenadas conhecidas. Neste caso, é necessário que dois

ou mais receptores GNSS sejam empregados, e, apresenta, basicamente, os seguintes métodos de obtenção da coordenada: posicionamento relativo estático, posicionamento relativo em tempo real e posicionamento relativo estático rápido ou cinemático.

O posicionamento relativo em tempo real baseia-se na transmissão instantânea de dados de correções dos sinais de satélites, do receptor instalado no vértice de referência ao receptor que percorre os vértices de interesse. Desta forma, proporciona o conhecimento instantâneo (tempo real) de coordenadas precisas dos vértices levantados. Este método de posicionamento pode ser obtido pelo RTK (*Real Time Kinematic*) e DGPS (*Differential GPS*).

De acordo com INCRA (2010), no método RTK os dados de correção são transmitidos por meio de um *link* de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao receptor que percorre os vértices de interesse. Contudo, apresenta limitação de abrangência devido ao alcance de transmissão das ondas de rádio, definido em função da potência do rádio e das condições locais em termos de obstáculos físicos.

No posicionamento relativo estático rápido ou cinemático a coordenada é obtida enquanto um ou mais receptores estão estacionados no vértice de referência, o receptor que coleta dados dos vértices de interesse permanece em movimento. Este método requer o rastreamento da base durante a coleta dos dados.

Além da escolha do método posicionamento para o levantamento é importante observar que, todo posicionamento geodésico exige a definição de um sistema de referência que pode ser terrestre - TRS (*Terrestrial Reference System*) ou celeste - CRS (*Celestial Reference System*).

Existem hoje diversos Sistemas Geodésicos de Referências (SGR) associado a algumas características terrestres, podendo estes estar relacionados tanto ao eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra, onde a origem está localizada no centro de massa da Terra denominado geocêntrico, quanto ao centro do elipsóide (ou origem dos eixos) que não está localizado no centro de massa da Terra, mas sim no ponto de origem (vértice) escolhido denominado topocêntrico.

Entre os modelos SGR encontra-se o WGS84 (*World Geodetic System*) definida em 1984, sendo esta a quarta versão do sistema de referência geodésico global estabelecido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo. Sendo este o modelo SGR de referência das efemérides operacionais do sistema GPS.

## 2.4 Modelo estatístico

### 2.4.1 Geoestatística

A geoestatística tem por objetivo a caracterização espacial de uma variável de interesse por meio de estudo de sua distribuição e variabilidade espaciais com determinação das incertezas (YAMAMOTO; LANDIN, 2013).

Diferentemente do empregado pela estatística clássica que se utiliza de parâmetros como média e desvio padrão para representar um fenômeno e se baseia na hipótese principal de que as variações de um local para outro são aleatórias. A geoestatística, contudo, leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Segundo Andriotti (2013), de uma maneira geral,

“As técnicas de geoestatísticas podem ser usadas para descrever o modelizar padrões espaciais (variografia), para prever valores em locais não amostrados (krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância de krigagem) e para otimizar malhas de amostragem. [...] a otimização de malhas de amostragens, é oportuno salientar que o erro cometido ao fazer uma avaliação com malhas de amostragem diminui com o detalhamento da malha.” (ANDRIOTTI, 2013, p. 90).

O precursor desse conceito foi Daniel G. Krige que em 1951 trabalhando com dados de concentração de ouro concluiu que somente a informação dada pela variância seria insuficiente para explicar o fenômeno em estudo. Para tal, seria necessário levar em consideração a distância entre as observações.

Atualmente, de acordo com Landin (2006), o termo Geoestatística acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas.

Variável regionalizada foi definida por Blais; Carlier (1968), como qualquer função numérica com uma distribuição e variação espacial. Segundo Matheron (1963), variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples.

De acordo Burrough (1987), variável regionalizada é a soma de três componentes: uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e um ruído aleatório ou erro residual.

Portanto,

“Uma variável regionalizada  $z(x)$  pode ser considerada como uma variável aleatória, no sentido de que os valores das medições feitas podem variar consideravelmente entre si, e assume um caráter estruturado dentro de uma determinada área, segundo certa lei no espaço, considerando que os valores das observações não são completamente independentes da sua localização geográfica”. (BADOTTI NETO, 2012, p.23)

#### 2.4.1.1 Semivariograma

A melhor forma de analisar as hipóteses de autocorrelação entre duas variáveis é por meio do emprego do semivariograma, pois se a variável regionalizada  $z(x)$  for considerada para todos os locais da referida área, torna-se uma dentre um conjunto infinito de variáveis aleatórias  $z(x)$  para todos os locais da área (SOUZA, 1992).

O semivariograma segundo Badotti Neto (2012), tem a função de analisar o grau de dependência espacial entre amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem.

Sendo o variograma a ferramenta básica que permite descrever quantitativamente a variação no espaço de um fenômeno regionalizado (YAMAMOTO, 2001). A natureza estrutural de um conjunto de dados é definida a partir da comparação de valores tomados simultaneamente em dois pontos, segundo uma determinada direção (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978).

E, dependendo do comportamento do semivariograma o modelo a ser usado pode ser classificado em duas categorias: modelo sem patamar e modelo com patamar. Sendo que neste último a semivariância aumenta com o aumento da distância entre amostras, até atingir o patamar, onde se estabiliza (MACHADO, 1994).

Para os modelos de semivariograma com patamar são encontrados, basicamente, quatro funções teóricas que se ajustam aos modelos de semivariograma empírico: linear; esférico; exponencial; gaussiano (VIEIRA et al. 1983; STURARO, 1988).

Graficamente, a função semivariograma é expressa plotando-se as distâncias ( $h$ ) contra a semivariância ( $\gamma(h)$ ), conforme a figura 06.

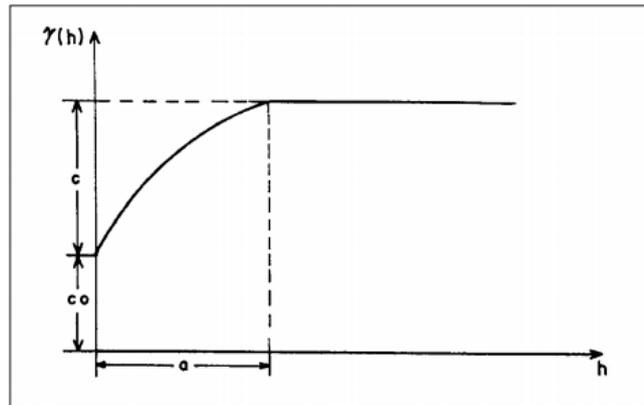


Figura 6 – Função semivariograma.  
Fonte: Adaptado de Lima (2006).

#### 2.4.1.2 Krigagem

Conhecido o semivariograma da variável, e, havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variância mínima (VIEIRA, 2000).

O método de interpolação chama-se krigagem e tem como base os dados amostrais da variável regionalizada e as propriedades estruturais do semivariograma obtido a partir destes dados o que permite visualizar o comportamento da variável na região através de um mapa de isolinhas ou de superfície (NEVES, 2013).

De acordo com Yamamoto; Landin (2013), a estimativa geoestatística tem por objetivo a modelagem do fenômeno espacial, por isso os autores definem krigagem como sendo

“[...] um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e/ou tempo, com base em valores adjacentes quando considerados interdependentes pela análise variográfica. Pode ser comparado com os métodos tradicionais de estimativa por médias ponderadas ou por médias móveis, mas a diferença fundamental é que somente a krigagem apresenta estimativas não tendenciosas e a mínima variância associada ao valor estimado.” (YAMAMOTO; LANDIN, 2013, p.55).

Andriotti (2013), evidencia que a krigagem leva em consideração, o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área a ser avaliada, as distâncias entre as amostras, a zona a ser estimada e a continuidade espacial da variável em estudo.

Segundo Gonçalves (1997) e Silva Junior (2001), esse interpolador pondera os vizinhos do ponto a ser estimado, obedecendo aos critérios de não tendenciosidade e mínima

variância. Existem diversos tipos de krigagem: simples, ordinária, universal, indicadora, probabilística entre outros.

A krigagem ordinária, que será objeto de estudo na presente obra, utiliza um estimador linear não-viciado com mínima variância para interpolação do atributo medido em posições não-amostradas (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

A krigagem ordinária é considerada por Sturaro (1988) e Inoue et al. (1999), como o melhor estimador linear sem viés, em função das seguintes características: as estimativas são feitas através de uma combinação linear dos dados; objetiva que o erro residual médio seja igual a zero e; minimiza a variância dos erros.

#### 2.4.2 Correlação e regressão lineares

A regressão e a correlação são duas técnicas estreitamente relacionadas que envolvem uma forma de estimação, que podem ser empregadas em situações nas quais há interesse em estudar o comportamento conjunto de uma ou mais variáveis, pois a explicação de um fenômeno de interesse pode estar associada a outros fatores.

O comportamento conjunto de duas variáveis quantitativas, podem ser inicialmente determinados por meio do gráfico de dispersão, cuja representação gráfica se dá por meio dos pares de valores expressos em um sistema cartesiano.

O gráfico ou diagrama de dispersão é um método de representar graficamente a relação, entre duas variáveis. Nesse diagrama duas variáveis são plotadas usando-se coordenadas x e y; os pontos nos darão uma ideia se existe ou não correlação entre as duas variáveis.

De uma maneira geral, a análise de correlação dá um número que resume o grau de relacionamento entre duas variáveis e a análise de regressão tem como resultado uma equação matemática que descreve o relacionamento.

A correlação tem o objetivo do estudo correlacional que é a determinação da força do relacionamento entre duas observações e serve para indicar até que ponto os valores de uma variável estão relacionados com os da outra. Portanto, a correlação mede a força ou grau de relacionamento entre duas variáveis.

A regressão tem a finalidade de fornecer a equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos, pois a análise de dados que sugerem a existência de uma relação

funcional entre duas variáveis pode ser expressa por meio de uma função matemática que exprima esse relacionamento, ou seja, uma equação de regressão.

Contudo, é importante considerar que a relação funcional entre duas variáveis, variáveis, tem o interesse de explicar grande parte da variação de  $Y$  por  $X$ . Entretanto, uma parcela da variabilidade de  $Y$  não explicada por  $X$  será atribuída ao acaso, ou seja, ao erro aleatório, e que quando se estuda a variação de uma variável  $Y$  em função de uma variável  $X$ , dizemos que  $Y$  é a variável dependente e que  $X$  é a variável independente.

## CAPÍTULO III

### 3. Procedimentos metodológicos

A sistemática de estudo empregada fez uso dos seguintes materiais e métodos.

#### 3.1 Materiais

Base cartográfica elaborada a partir de:

- Imagens SRTM (NASA 2000) cenas 13W61S e 14W61S, em escala de 1:250.000;
- Imagens MSS/LANDSAT 02 órbita e ponto 247/69 (INPE, 2015), composição colorida RGB, bandas 4,5 e 6, utilizando o software Spring 5.4.2;
- Imagens TM/LANDSAT 05 órbita e ponto 230/69 (INPE, 2015), composição colorida RGB, bandas 3,4 e 5, utilizando o software Spring 5.4.2;
- Imagens OLI/LANDSAT 08 órbita e ponto 230/69 (INPE, 2015), composição colorida RGB, bandas 4,5 e 6, utilizando o software Spring 5.4.2;
- Mapas e Publicações do Serviço Geológico do Brasil CPRM (2004), Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Folha SD 20 – Guaporé (2016); Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia (2007);
- Mapas do ZEE-RO, SEDAM/RONDÔNIA (1998) em escala 1:250.000 para os temas Geomorfologia, pedologia e vegetação;
- Mapas do ZEE-RO, SEDAM/RONDÔNIA (2000) em escala 1:250.000 para os temas Aptidão agrícola.
- Mapa de uso da terra elaborado a partir de imagens de Satélite OLI/LANDSAT 08 TM, Bandas 4,5 e 6, composição colorida, RGB, 230/69 de 15/10/2015.

#### Registro fotográficos:

- Fotos na região da sub-bacia do rio Escondido referentes a declividade, tipo de relevo, grau de degradação da pastagem e no local do voçorocamento destacando aspectos do uso da terra;

#### Arquivos vetoriais:

- Malha viária (2008) executada pelo Departamento Estadual de Estradas e Rodagens (DER) e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT.

#### *Softwares* utilizados no processamento dos dados:

- *Software* Global Mapper 13 (*Global Mapper Software LLC*);
- *Software* Spring 5.4.2 (Sistema de processamento de informações georreferenciadas – INPE);
- *Software* Surfer 12 (*Golden Software*);
- *Software* Topcon Tools v8.2.3;
- *Software* GS+ *Geostatistic for the Environmental Science*;
- Toda base de dados foi organizada em ambiente SIG adotando o Sistema de Coordenadas Geográficas utilizando o *software* ArcGIS 10.2.2;
- Planilha eletrônica.

#### Equipamentos utilizados no monitoramento:

- Receptores de sinais do Sistema Global de Navegação por Satélite: GPS Geodésico Hiper TopCon e GPS Juno 3D trimble.
- Penetrômetro de impacto;
- Anéis volumétricos de Kopec;

## 3.2 Métodos

As atividades desenvolvidas estão descritas no resumo a seguir (Figura 7).

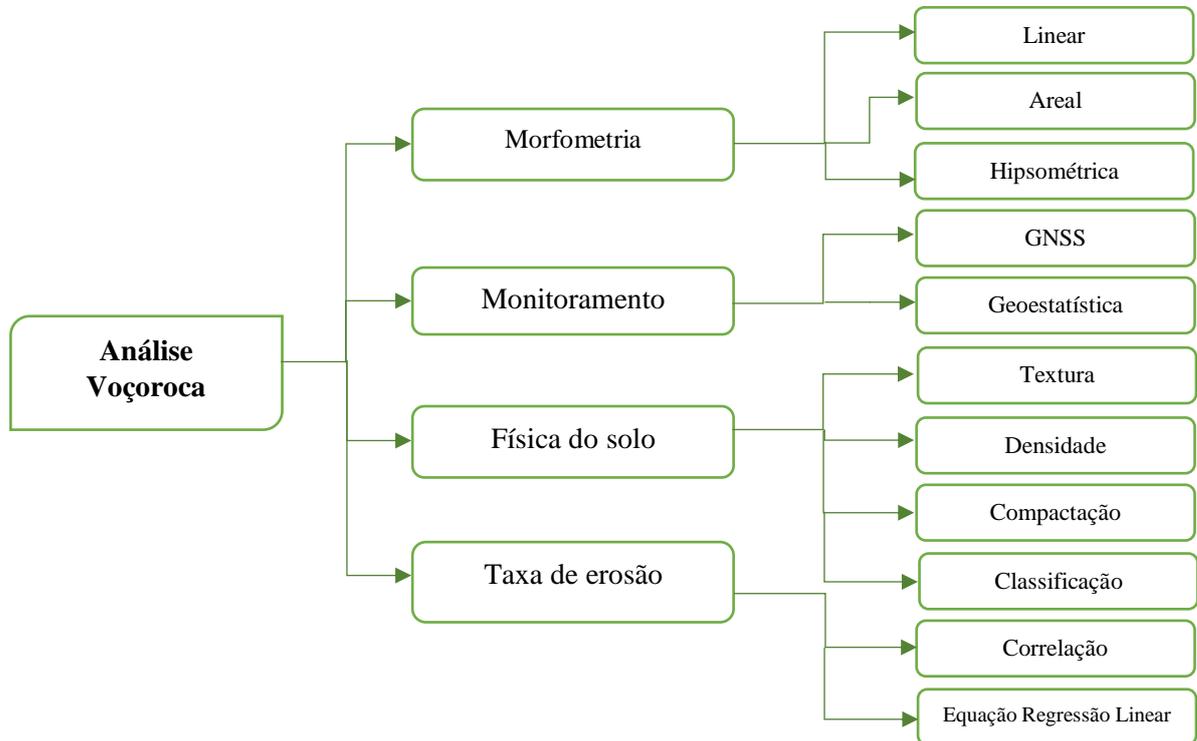


Figura 7 – Resumo das atividades de análise do voçorocamento em Colorado do Oeste.

### 3.2.1 Análise morfométrica

A morfometria é um tipo de avaliação quantitativa que revela indicadores físicos específicos de forma a qualificar as alterações ambientais que ocorreram e/ou ocorrem e levam ao esclarecimento de várias questões acerca da morfogênese e morfodinâmica da paisagem. Para tanto, optou-se por realizar a análise da morfometria da sub-bacia do rio Escondido.

O primeiro passo foi a ordenação dos canais, em que, rios de primeira ordem corresponderam às nascentes e o volume de água ainda é baixo, os de segunda ordem corresponderam à junção de dois rios de primeira ordem e os rios de terceira ordem, a junção de dois de segunda, assim sucessivamente, formando uma hierarquia (CASTRO; CARVALHO, 2009).

Em seguida, foram aplicadas operações aritméticas conforme o modelo proposto por Christofolletti (1980) para análise linear, areal e hipsométrica.

### 3.2.1.1 Análise linear

Segundo Christofolletti (1980), a análise linear compreende as medições efetuadas ao longo das linhas de escoamentos e pode ser descrita a parti das operações descritas abaixo.

1. Relação de bifurcação ( $Rb$ ):

$$Rb = Nw / Nw+1$$

Em que:  $Nw$  = é o número de canais de uma dada ordem;  $Nw+1$  = número de canais de ordem imediatamente superior.

2. Índice de sinuosidade ( $I_{sin}$ )

$$I_{sin} = \frac{L}{Lt}$$

Em que:  $L$  = comp.do rio principal (km);  $Lt$  = comprimento do eixo da bacia (km).

3. Extensão do percurso superficial ( $Eps$ )

$$Eps = \frac{1}{2 \cdot Dd}$$

Em que:  $Dd$  = densidade de drenagem ( $km \ km^{-2}$ ).

4. Comprimento médio dos rios ( $Lm$ )

$$Lm = \frac{Lu}{Nu}$$

Em que:  $Lu$  = extensão total dos rios (km);  $Nu$  = nº total de rios (quantidade).

5. Gradiente do canal principal ( $G$ )

$$G = H / Lm \cdot 1000$$

Em que:  $H$  = amplitude altimétrica do canal principal;  $Lm$  o comprimento do canal principal.

### 3.2.1.2 Análise areal

A análise areal engloba vários índices que utilizam medições planimétricas, além de lineares (CRISTOFOLETTI, 1980) e, pode ser compreendida a partir dos seguintes parâmetros.

1. Fator forma da bacia ( $Ff$ ):

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

Em que:  $A$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ );  $L$  = comprimento do eixo.

2. Densidade de drenagem ( $Dd$ )

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

Em que:  $Lt$  = comprimento total dos canais ( $\text{km}$ );  $A$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

3. Coeficiente de manutenção ( $Cm$ )

$$Cm = \frac{1}{Dd}$$

Em que:  $Dd$  = densidade de drenagem ( $\text{km km}^{-2}$ )

4. Densidade de rio ( $Dr$ )

$$Dr = N / A$$

Em que:  $N$  = número de canais;  $A$  = área da bacia ( $\text{km}^2$ );

### 3.2.1.3 Análise hipsométrica

A hipsometria preocupa-se em estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal de espaço no tocante a sua distribuição em relação às faixas altitudinais (CRISTOFOLETTI, 1980). Que em linhas gerais, compreende a distribuição altimétrica da bacia e são entendidos a partir dos parâmetros abaixo:

1. Amplitude altimétrica máxima da bacia ( $Hm$ )

$$Hm = AN - AF$$

Em que:  $AF$  = altitude da foz ( $\text{m}$ );  $AN$  = altitude do ponto mais alto do divisor topográfico ( $\text{m}$ ).

2. Coeficiente de massividade ( $Cma$ ) e o coeficiente orográfico ( $Co$ ):

$$Cma = \frac{Am}{A}$$

$$Co = Am \times Cma$$

Em que:  $A_m$  = Altura média da bacia (m);  $A$  = área da bacia ( $m^2$ )

### 3. Índice de rugosidade ( $I_r$ )

$$I_r = H \times D_d$$

Em que:  $H_m$  = amplitude altimétrica;  $D_d$  é a densidade de drenagem.

### 4. Textura topográfica ( $T_t$ )

$$\log T_t = 0,219649 + 1,115 \log D_d,$$

Em que:  $D_d$  = densidade de drenagem ( $km \ km^{-2}$ ).

## 3.2.2 Monitoramento

### 3.2.2.1 Coleta dos dados

A avaliação sistemática da perda de solo foi realizada por meio do monitoramento de uma incisão erosiva por período de 06 meses (novembro de 2015 a maio de 2016) correspondente ao período de maior intensidade de chuvas.

Foram realizados 05 levantamentos com uso do GPS Geodésico - TOPCON com dois métodos de posicionamento relativo: *Real Time Kinematic* - RTK e Estático Rápido. Sendo o RTK utilizado na coleta dos pontos na borda da erosão e o Estático Rápido no interior voçorocamento devido a profundidade e a presença da vegetação que impedia a comunicação via rádio entre a base o *rover* necessária no posicionamento anterior.

Sistema de Coordenadas adotado foi o Plano – *Universal Transversa de Mercator* (UTM) no Datum horizontal geocêntrico WGS 1984.

Primeiramente, foi necessário o estaqueamento de um ponto próximo a incisão cuja coordenada foi obtida com o rastreo da base pelo posicionamento estático por um período de 120 minutos com posterior pós-processamento para correção dos valores de latitude, longitude e altitude.

Os valores da coordenada da base corrigidos foram empregados em todos os demais levantamentos que ocorreram conforme a descrição da tabela 2, que traz o detalhamento dos levantamentos topográficos realizados no voçorocamento como datas, número de pontos amostrados e condições climáticas que proporcionou interferências no número de pontos amostrados.

Tabela 2 – Detalhamento dos levantamentos topográficos.

Data	Pontos amostrados	Condições meteorológicas
02/11/2015	215	Chuva leve com trovão (06 mm), máxima de 30°C, mínima 22°C
10/12/2015	266	Parcialmente nublado (10,5 mm), máxima de 32°C, mínima 22°C
16/02/2016	221	Poucas nuvens (3,2 mm), máxima de 32°C, mínima 23°C
11/03/2016	189	Parcialmente nublado, máxima de 28°C, mínima 22°C
18/04/2016	224	Parcialmente nublado, máxima de 29°C, mínima 21°C

### 3.2.2.2 Processamento dos dados

Os dados coletados foram pós-processados utilizando as informações fornecidas pelas Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) de Colorado do Oeste e Ji-Paraná em um processo denominado trilateração (Figura 08).

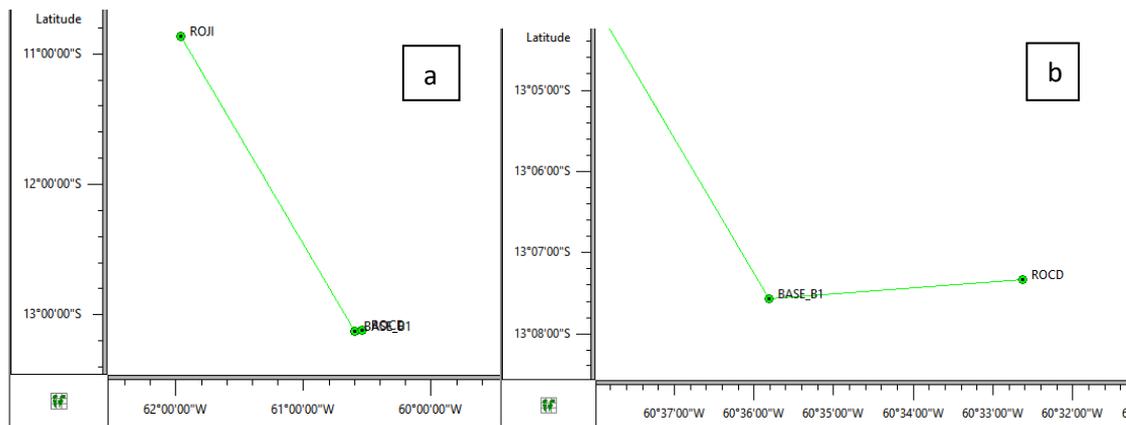


Figura 8 – Processo de trilateração para o pós-processamento da base: a) BASE\_B1 - Ponto da base, ROJI – RBMC de Ji-Paraná; b) ROCD – RBMC de Colorado do Oeste

A figura 8(a) apresenta a comunicação entre a RBMC de Ji-paraná e de Colorado do Oeste, e a figura 8(b) a comunicação entre a RBMC de Colorado do Oeste e o ponto da base rastreado.

As RBMC são um conjunto de estações com receptores GNSS que operam 24 horas por dia, durante os sete dias da semana. A maioria dos receptores da rede possui a capacidade de rastrear satélites GPS e GLONASS. Esses receptores coletam e armazenam continuamente as observações do código e da fase das ondas portadoras transmitidos pelos satélites.

O processo de trilateração empregado no pós-processamento da base consistiu no cálculo através de três pontos de referência que indicarão a posição exata de um ponto no espaço. Utilizando as informações das RBMCs supracitadas fez-se a correção horizontal e vertical do ponto de rastreamento, empregando o *software* Topcon Tools v.8.2.3, cujos valores estão descritos na tabela 3.

Tabela 3 – Descrição das coordenadas no rastreamento da base

<b>Dados</b>	<b>Valor rastreado</b>	<b>Valor pós-processado</b>	<b>Resíduo</b>
Longitude	760535.712	760535,400711	0.038
Latitude	8547669.492	8547670,12186	-0.016
Altitude	427.111	425,703	0.033

Essa etapa é necessária para que haja a correção em tempo real no posicionamento RTK nos levantamentos subsequentes, assim como, no levantamento estático rápido a fim de verificar a acurácia. Os valores da coordenada da base corrigida foram empregados em todos os demais monitoramentos.

### 3.2.2.2.1 Obtenção arquivo vetorial

Após cada trabalho de campo foi realizado processamento dos dados de forma semelhante ao processo citado anteriormente e, a partir dos arquivos de pontos pós-processados foi obtido uma nuvem de dispersão dos pontos em ambiente SIG.

### 3.2.2.3 Análise geoestatística

A união dos dados obtidos nos posicionamentos RTK e Estático Rápido permitiu a construção de um modelo tridimensional para avaliação do quantitativo de solos erodidos por meio de técnicas de geoestatística de interpolação dos dados da cota altimétrica.

A análise geoestatística foi desenvolvida no *software* ArcGIS 10.2.2 com a ferramenta *Geoestatistical Analyst* e no *software* Gamma GS+ e, consistiu na elaboração dos modelos do

semivariograma que serviu de indicador da qualidade do levantamento por determinar a dependência espacial entre os pontos amostrados.

Matematicamente a função semivariograma é expressa da seguinte forma:

$$y(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (v_{(x)} - v_{(x-h)})^2$$

Em que:

$n$  = número de pares da variável considerados em uma determinada direção;

$v_{(x)} - v_{(x-h)}$  = é a mesma variável em dois pontos diferentes, separados por uma distância pré-estabelecida e constante a uma certa direção;

$\frac{1}{2}$  = corresponde à metade da média das diferenças quadráticas e que representa a distância perpendicular dos pontos em relação à linha de 45 graus do diagrama de dispersão espacial;

$h$  = é o intervalo de distância pré-estabelecida.

Após a análise do semivariograma foi realizada a interpolação dos dados com uso da krigagem ordinária para obtenção do modelo digital superfície. A estimativa desse interpolador pode ser obtida por meio da expressão:

$$v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

Em que:

$v^*$  = a estimativa de uma variável em local não amostrado;

$v_i$  = Dados amostrados disponíveis na vizinhança do ponto analisado;

$\lambda_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) = são os pesos atribuídos a cada valor amostral.

Os produtos obtidos a partir da interpolação dos dados foram: o mapa de contorno ou isolinhas que expressam as curvas de nível no voçorocamento; o mapa de 3D *wireframe* a fim de expressar visualmente o modelo da incisão erosiva em três dimensões; e o mapa de *shaded relief* que retrata a elevação da superfície de relevo protegido. Todos os mapas foram obtidos no *software* Surfer 12.

O modelo digital de superfície que é a representação tridimensional do voçorocamento permitiu o cálculo do volume de solo com a ferramenta Superfície do *software* ArcGIS 10.2.2.

### 3.2.3 Classificação do solo

A classificação dos solos baseou-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, SiBCS (EMBRAPA, 2013) até o quarto nível categórico no estudo morfológico do perfil de identificação associado a sondagens de trado confirmativas aleatórias, pois a área de estudo é pequena e com poucas variações morfológicas observáveis.

### 3.2.4 Erosividade e erodibilidade

#### 3.2.4.1 Erosividade

O cálculo da erosividade da chuva foi realizado por meio dos dados pluviométricos em séries de dados diários da estação em funcionamento ANA (Agência Nacional de Águas) no município de Colorado do Oeste.

Os dados pluviométricos utilizados para cálculo da erosividade da chuva foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB) da Agência Nacional de Águas (ANA) no endereço eletrônico <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Estes dados são constituídos por uma série histórica de 32 anos.

Em seguida, os dados foram organizados em planilha eletrônica por ano a partir de 1983 contendo informações sobre os totais precipitados anuais, sazonais e mensais com suas respectivas médias, além da máxima em 24 horas e do número de dias de chuva.

A partir dessas informações realizou-se o cálculo da erosividade utilizando o coeficiente de chuva proposto por Della Justina (1998) por meio da expressão:

$$Elm = p^2 / P$$

Em que:

$Elm$  = índice de erosividade média mensal (mm)

$p^2$  = precipitação média mensal (mm)

$P$  = precipitação média anual

Dessa forma, foi obtido o valor de erosividade para os anos de 2015 e 2016, além da série histórica de 1985 a 2010 agrupada em períodos de 5 anos. A partir da somatória dos

valores médios mensais foi obtida também os valores de erosividade anual por estação climática (verão, outono, inverno e primavera).

### 3.2.4.2 Erodibilidade

A estimativa do valor da erodibilidade do solo (K) na profundidade de 0 – 20 cm foi calculada conforme a norma estabelecida pela equação desenvolvida por Denardin (1990), que possibilita inferir dados do processo direto da causa e efeito e obtida por meio do seguinte modelo matemático:

$$K = 7,48 \cdot 10^{-6} M + 4,48059 \cdot 10^{-3} P - 6,311750 \cdot 10^{-2} DMP + 1,0399567 \cdot 10^{-2} R$$

Em que:

M (%) = (areia fina + silte) x [(areia fina + silte) + areia grossa];

P = valor da permeabilidade, dada de acordo com a tabela 4 apresentada por Corrêa et al. (2015).

Tabela 4 – Índices de permeabilidade (P) para cada classe textural de solo

<b>Classes texturais</b>	<b>P</b>
Arenosa, Areia Franca, Franco Arenosa	2
Franco Argilo Arenosa, Franca, Franco Siltosa	3
Argilosa, Muito Argilosa, Franco Argilo Siltosa, Franco Argilosa, Argilo Arenosa, Siltosa	4
Argilo Siltosa	5

Fonte: Corrêa et al. (2015)

DPM = diâmetro médio ponderado das partículas de solo (mm) foi calculado pela seguinte equação (ARRAES et al. 2010):

$$DMP = [(0,65 \times \text{Areia grossa}) + (0,15 \times \text{Areia fina}) + (0,0117 \times \text{Silte}) + (0,00024 \times \text{Argila})]/100$$

R = [areia grossa x (teor de matéria orgânica/100)].

### 3.2.4.3 Granulometria

Foram coletadas 05 amostras por perfil e submetidas a análise no laboratório Agroanálise na cidade de Cuiabá/MT. Para análise textural foi utilizado o método da pipeta para determinação do teor de areia, silte e argila e a classificação de areia para determinar a quantidade em  $\text{g kg}^{-1}$  de areia muito grossa (1,19 mm), areia grossa (0,50 mm), areia média (0,25 mm), areia fina (0,106 mm) e areia muito fina (0,053 mm).

### 3.2.4.4 Densidade de solo (DS)

A densidade aparente ou densidade do solo foi calculada a partir de amostras indeformadas com anéis volumétricos, utilizando a metodologia empregada pela Embrapa (1997). O material foi coletado em anéis com volume  $102 \text{ m}^3$  distribuídos ao longo de 03 perfis até a profundidade de 150 centímetros com 04 amostras por perfil totalizando 12 amostras (Quadro 2).

Quadro 2 – Profundidade de coleta de amostras indeformadas

<b>Amostra</b>	<b>01</b>	<b>02</b>	<b>03</b>	<b>04</b>
Profundidade (cm)	0 – 30	30 – 75	75 – 110	110 – 150

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em caixas térmicas para não haver perda de umidade. O material foi saturado e submetido a estufa a  $105^\circ\text{C}$  por 72 horas e então pesado.

A DS foi obtida através da expressão dada em  $\text{g/cm}^3$ :

$$DS = \frac{\text{Peso de sólidos}}{\text{Volume total}}$$

### 3.2.4.5 Porosidade total (PT)

É a relação entre o volume de vazios e o volume total do solo. Determinada pelo método da Embrapa (1997) a partir do volume de água perdida a  $105^\circ\text{C}$  após a saturação dos anéis e dividida pelo volume da amostra multiplicada por 100 e expressa em %.

#### 3.2.4.6 Umidade gravimétrica (UG)

É dada pela diferença entre a massa da amostra úmida (kg) e a massa da amostra seca (kg) dividida pela massa da amostra seca (kg). A UG é dada em  $\text{kg kg}^{-1}$  (EMBRAPA, 1997).

#### 3.2.4.7 Resistência a penetração (RP)

A resistência à penetração no solo foi determinada com auxílio do equipamento denominado penetrômetro de impacto, descrito por Stolf (1991), e apresenta as seguintes características: peso de carga móvel = 4 kg; curso de queda livre = 0.40 m; ângulo do cone da extremidade da haste = 30°; área da base da haste = 1.29  $\text{cm}^2$  (ponteira fina); peso total do equipamento = 7.20 kg

As informações foram coletadas até a profundidade de análise de 70 cm estratificado a cada 5 cm. Em seguida, as informações foram transferidas para uma planilha eletrônica (STOFF, 2011) para obtenção da resistência em Megapascal (MPa).

Cada ponto amostrado foi georreferenciado com uso de GPS Juno 3D.

#### 3.2.5 Determinação taxa de perda do solo

A verificação da relação entre o volume precipitado e a perda de solo no voçorocamento foi realizado por meio de análises estatísticas como: a correlação entre a quantidade de chuva em um determinado período e o volume de solo erodido, seguida da regressão linear capaz de prever a tendência de remoção de partículas em função da intensidade pluviométrica.

A correlação refere-se a uma associação numérica entre duas variáveis, não implicando necessariamente uma relação de causa e efeito, sendo que a correlação pode ser linear ou não (ANDRIOTTI, 2013). E, a regressão estuda o relacionamento entre uma variável chamada variável dependente, e outras variáveis chamadas variáveis independentes.

Contudo, conforme Andriotti (2013) esclarece, só se deve utilizar a regressão se a correlação entre as variáveis for significativa. Pois, ainda segundo o autor, a correlação mede

a força de relacionamento entre as variáveis e a regressão fornece uma equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos.

### 3.2.5.1 Coeficiente de correlação linear (r)

A medida de correlação utilizou-se do coeficiente de correlação linear de Pearson descrito na equação abaixo aplicado tanto para prever a relação entre o volume precipitado e o volume de solo erodido quanto na evolução do tamanho do perímetro:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2}}$$

Em que X = volume precipitado em mm e Y = volume de solo erodido em m<sup>3</sup> ou tamanho do perímetro em m.

Os valores de “r” estarão sempre no intervalo de +1 a -1, sendo os valores -1 (correlação inversa) e +1 (correlação direta) e o valor zero é a ausência de correlação linear.

Os valores do coeficiente de correlação linear são testados no que diz respeito a variância que pode ser explicada pela sua relação linear por meio do coeficiente de determinação e pelo seu nível de significância.

O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>) indica quanto da variação total é comum aos elementos que constituem os pares analisados, sendo, portanto, uma medida descritiva da proporção da variação de Y que pode ser explicada por variações em X, segundo o modelo de regressão especificado.

$$R^2 = \frac{a \sum_{i=1}^n y_i + b \sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{y}^2}{\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2}$$

Os valores de R<sup>2</sup> variam de zero a um. Quando a variação explicada for baixa, R<sup>2</sup> será pequeno e quando a dispersão for pequena e a variação explicada for elevada o valor de R<sup>2</sup> será próximo de 1.

O nível de significância ( $t_{\text{calc}}$ ) do coeficiente de correlação linear utiliza como grau de liberdade o valor  $(n - 2)$ , onde  $n$  é o número de observações.

$$t_{\text{calc}} = [r \sqrt{(n - 2)}] / \sqrt{[1 - R^2]}$$

Se o  $t$  calculado for maior que o  $t$  tabelado correspondente, diz-se que a correlação linear é significativa.

### 3.2.5.2 Regressão linear simples

A regressão linear simples constitui uma tentativa de estabelecer uma equação matemática linear que descreva o relacionamento entre duas variáveis.

Para determinação da reta de regressão, considera-se uma reta arbitrária,  $Y = a + bX$ , cujo objetivo é estimar valores para  $a$  e  $b$  através dos dados fornecidos pela amostra e, encontrar a reta que passe o mais próximo possível dos pontos observados segundo um critério pré-estabelecido.

O método dos mínimos quadrados será empregado para ajustar uma linha entre as variáveis  $X$  e  $Y$  e, consiste em estimar os parâmetros do modelo ( $a$  e  $b$ ) de forma que a soma dos erros quadráticos seja menor possível.

Em que:

$$a = \frac{\sum y_i - b \sum x_i}{n} \quad b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 Morfometria

A morfometria é um importante recurso para caracterizar e identificar a dinâmica de um sistema fluvial, cujo monitoramento é uma das principais maneiras de estudar as mudanças que ocorrem, sejam essas desejáveis ou não, além de fornecer elementos que auxiliam na compreensão dos impactos das mudanças no uso e cobertura da terra e na manutenção dos ecossistemas existentes (FONSECA; SILVA FILHO, 2017).

A análise morfométrica forneceu subsídios consistentes para a ratificação da fragilidade e da vulnerabilidade aos processos erosionais na sub-bacia hidrográfica do Rio Escondido, requerendo assim, que os fatores desencadeantes de erosão sejam minimizados a fim de que as perdas de solo não ocasionem prejuízos ao ambiente e ao setor agropecuário.

Dessa forma, tais análises estão melhores elucidadas nos itens subsequentes.

##### 4.1.1 Hierarquia dos canais

A sub-bacia é formada em sua maioria por canais de 1ª ordem que representam 50.5% do comprimento total de canais. Estes assinalam por apresentar pouca extensão e baixo volume de água e são altamente suscetíveis aos impactos negativos causados pelo homem no meio.

A presença de muitos canais de 1ª ordem evidencia a fragilidade à pressão antrópica cujo manejo inadequado das atividades desenvolvidas pode acarretar na redução na quantidade de água fornecida ao canal subsequente ou na morte deste com graves consequências para o meio ambiente.

A hierarquia e o comprimento linear estão descritos na tabela 5 e no mapa 7.

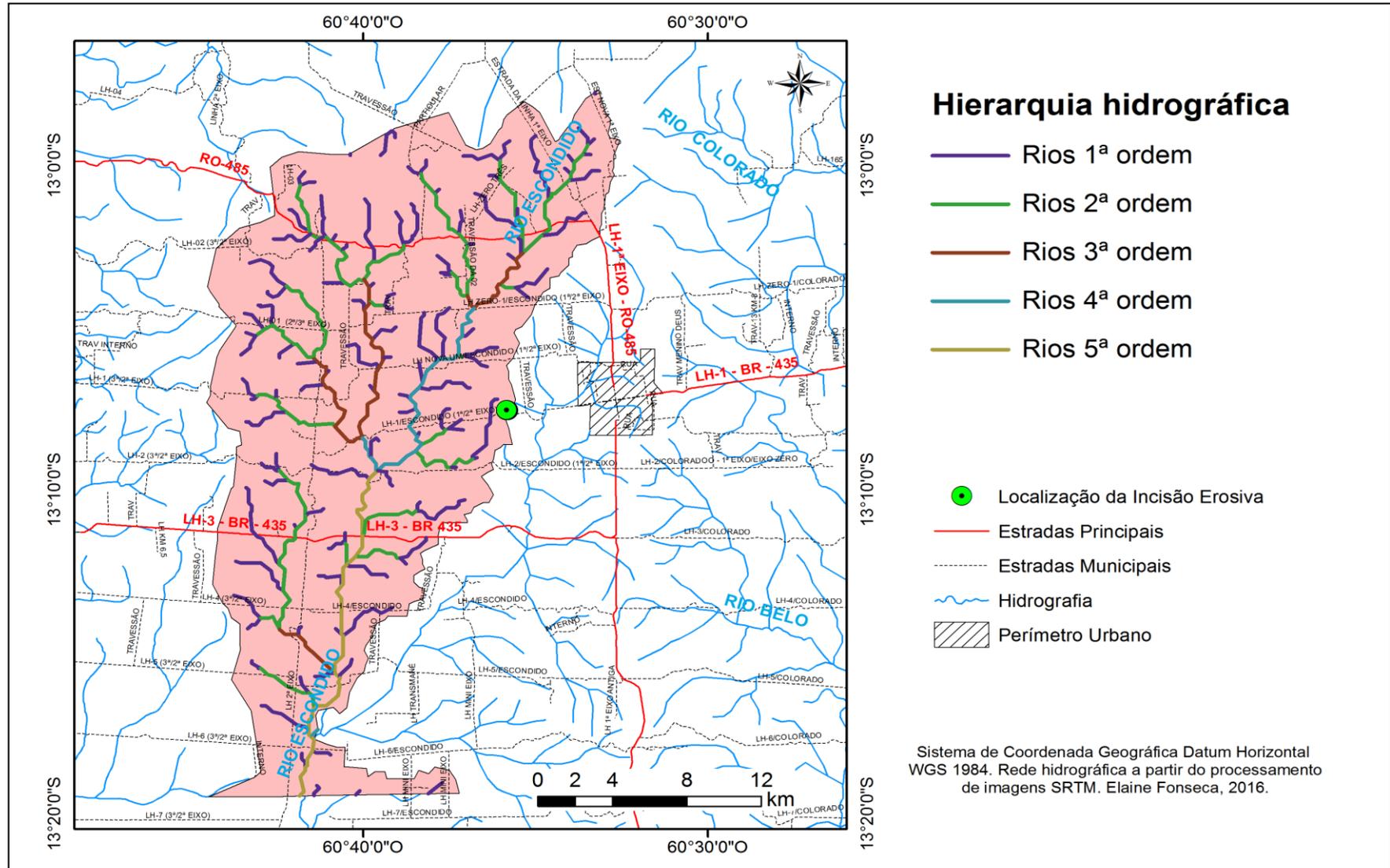


Tabela 5 – Ordem, quantidade e comprimento linear dos canais

Parâmetro	Ordem					Total
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>	
Nº de canais	111	18	5	2	1	215
Comp. linear (km)	150.84	82.71	27.20	16.24	21.11	298.12
Comp. médio (km)	1.36	4.59	5.44	8.16	21.11	1.40

#### 4.1.2 Análise linear

A drenagem é dendrítica também designada como arborescente, pois o rio principal corresponde ao tronco e os tributários aos demais ramos que se distribuem em todas direções e formam ângulos agudos.

O escoamento global ocorre em um sistema exorréico, quando o escoamento da água se faz de modo contínuo até o mar ou oceano, isto é, quando as bacias desembocam diretamente no nível marinho (CHRISTOFOLLETI, 1980).

Na tabela 6 estão descritos os valores para relação de bifurcação.

Tabela 6 – Relação de bifurcação para a sub-bacia do rio Escondido

Ordem	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	5 <sup>a</sup>
Relação de bifurcação ( <i>Rb</i> )	6.16	3.60	2.50	2.00	-

A sub-bacia apresenta alto valor de *Rb* em todas as ordens analisadas. De acordo com Silva et al. (2007), o valor desse parâmetro é maior para áreas amorreadas com bacias de drenagem muito dissecadas com *Rb* de 3 a 4, e em áreas colinosas somente 2.

Os tributários de primeira e segunda ordem estão localizados em áreas com forte dissecação. Enquanto que os tributários de terceira, quarta e quinta ordem possuem *Rb* menor que 3, conseqüentemente o relevo é menos acidentado, com menores amplitudes altimétricas e com menor intensidade de processos erosivos.

De forma geral, os valores obtidos indicaram que a maioria dos canais estão presentes em áreas em que há relevo com intensa ação dos agentes erosivos como o clima, animais e o

homem, consoante ao observado por Fonseca; Silva Filho (2017) para o município em questão.

Tais características evidenciam a fragilidade natural associada ao intenso trabalho dos agentes erosivos, exigindo maiores cuidados em relação ao tipo de cobertura vegetal e com as atividades desenvolvidas a fim de evitar os fenômenos da perda de solos.

Pissara et al. (2006), ao verificar a morfometria na microbacia hidrográfica do Córrego Rico na região nordeste do Estado de São Paulo identificou que a região mais suscetível ao processo erosivo corresponde às áreas onde predominam os solos com avançado estágio de dissecação e maior declividade.

Os demais parâmetros lineares analisados estão descritos na tabela 7.

Tabela 7 – Parâmetros linear para a sub-bacia do rio Escondido

<b>Parâmetro linear</b>	<b>Valor</b>
Índice de sinuosidade (ad.)	1.14
Extensão do percurso superficial (km)	0.76
Gradiente do canal principal (%)	0.66
Comprimento do canal principal (km)	48.06

O *Isin* médio para a sub-bacia foi de 1.14 evidenciando a tendência natural dos tributários em ser retilíneos associados a elevação da área e a presença de juntas geológicas. Importante observar que, o voçorocamento em questão, encontra-se sob falha geológica corroborando com os dados encontrados para a sub-bacia, assunto este que será melhor detalhado posteriormente.

Feitosa et al. (2011) afirma que, *Isin* próximo a 1 indica que os canais tendem a ser retilíneos, já os valores superiores a 2.0 indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Ainda de acordo com Riccomini et al. (2000), canais que apresentam índices de sinuosidade superior ou igual a 1.5 são considerados meândricos.

Os canais que apresentam tendências retilíneas têm capacidade de transportar carga em suspensão ou mista em uma velocidade maior e são capazes de promover a diminuição da capacidade de inundação por promover o rápido escoamento superficial em caso de chuvas intensas.

A maior suscetibilidade de carreamento de materiais sólidos pode gerar transtornos de ordem econômica e social por afetar a disponibilidade de água para o abastecimento das populações rurais residentes e dos animais domésticos destinados a produção de renda.

Tal capacidade aliada à falta de vegetação natural ao longo de seus cursos pode resultar no assoreamento destes por sedimentos oriundos das vertentes ocupadas, em sua maioria, por atividades agropecuárias e, conseqüentemente, haver redução na vazão dos rios (FONSECA; SILVA FILHO, 2017).

O valor da *Eps* para sub-bacia foi de 0.76 km, logo a água da chuva deve percorrer em média a distância de 760 m, desde o ponto de precipitação até o canal, caso o escoamento se desse em linha reta.

Este é um importante indicador da distância média percorrida pela água precipitada e permite inferir, se a bacia hidrográfica apresenta ou não risco de inundação. Como a água na sub-bacia percorre uma distância considerável até atingir o canal, o risco de inundação é baixo.

A *Eps* apresenta correspondência inversamente proporcional com a densidade de drenagem, ou seja, quanto menor a densidade de drenagem, maior a distância que a água deve percorrer até o leito do rio, e está relacionada também, com textura topográfica grosseira porque há maior espaçamento entre os cursos de água.

O valor de *G* médio do rio principal foi de 0.66%, o baixo valor encontrado deve-se a grande extensão do percurso do rio que ultrapassa 48 km, logo, o município apresenta caimento suave e de baixa declividade, sendo este um parâmetro hidrológico importante, especialmente para as bacias pequenas porque a declividade é a principal reguladora da velocidade do escoamento superficial.

Contudo, considerando apenas o *G* e as classes de declividade da sub-bacia, composta em sua maioria por relevo suave e suave ondulado com declividade de até 8% há uma tendência de redução da velocidade no deslocamento do fluxo de água.

#### 4.1.3 Análise areal

A sub-bacia do rio Escondido possui a extensão de 458.45 km<sup>2</sup>, correspondendo a 28.79% da área do município de Colorado do Oeste, e perímetro de 137.84 km. É uma bacia

de tamanho mediano, conforme proposto por Borsato; Martoni (2004), em que, em bacias médias, a área varia de 3 km<sup>2</sup> a 1000 km<sup>2</sup>.

A área da bacia tem influência sobre a quantidade de água produzida como deflúvio, pois há uma relação entre o volume de água precipitado e o volume de água escoado pelo exutório.

O deflúvio associado à ausência de cobertura vegetal natural pode acarretar no aumento da taxa de transporte de sedimento, na perda de solo produtivo, na redução da vazão dos canais e na perda da qualidade da água. Tais características podem afetar a produção e o rendimento das atividades, por provocar uma série de mudanças físicas, químicas, biológicas e hidrológicas no solo (FONSECA; SILVA FILHO, 2017).

Os parâmetros areais estão descritos na tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros areais para a sub-bacia do rio Escondido

<b>Parâmetro areal</b>	<b>Valor</b>
Fator forma (ad.)	0.31
Densidade de drenagem (km km <sup>-2</sup> )	0.65
Densidade de rio (rios km <sup>-2</sup> )	0.24
Coefficiente de manutenção (m <sup>2</sup> m <sup>-1</sup> )	1538.46

O  $F_f$  está relacionado a capacidade da sub-bacia de sofrer inundações, isso ocorre porque o formato geométrico de uma bacia hidrográfica pode determinar a possibilidade de seus fluxos provocar enchentes.

Quanto menor o  $F_f$ , mais comprida é a bacia e, portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois a mesma possui menor tempo de concentração que é dado como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, com isso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia.

A sub-bacia do rio Escondido apresentou valor médio de  $F_f$  de 0.31, indicando que seu formato é alongado com baixas probabilidades de sofrer enchentes, corroborando com Tonello et al. (2006) ao estudar a morfometria da BH da Cachoeira das Pombas-MG com  $F_f = 0.409$ , com os estudos realizados por Lira et al. (2010) na BH do Igarapé Judia que apresentou baixo valor de forma (0.590), revelando menor probabilidade de enchentes, e com Soares; Souza (2012), com valor de 0.24 com baixa propensão à ocorrência de enchentes.

A densidade de drenagem apresentou  $0.65 \text{ km km}^{-2}$ , indicando ser esta, mal drenada e com poucos canais, de acordo com Pissara et al. (2004), a densidade de drenagem pode variar de  $0.5 \text{ km km}^{-2}$  para mal drenadas a  $3,5$  para bacias excepcionalmente bem drenadas. Contudo, de acordo com Florenzano (2008) valores de  $Dd$  entre  $0.5$  e  $3.0$  são considerados baixos.

Segundo Christofolletti (1980), existe uma forte ligação entre a litologia e a hidrografia, pois a primeira responde pelo fator permeabilidade que, conseqüentemente, irá interferir na segunda e que esta variável representa o grau de dissecação topográfica em paisagens elaboradas pela atuação fluvial.

A  $Dr$  apresentou valor médio de  $0.24 \text{ km}^{-2}$  e significa a quantidade de rio por unidade de área e representa a capacidade de gerar novos cursos de água, logo a sub-bacia possui baixa capacidade de gerar novos canais (CHRISTOFOLETTI, 1980). Portanto, a sub-bacia apresenta baixa capacidade de gerar novos canais.

O valor médio de  $Cm$  para a sub-bacia foi de  $1538.46 \text{ m}^2$  para manter  $01(\text{um})$  metro linear de rio, este índice tem o objetivo de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento.

A baixa densidade de drenagem demanda coeficiente de manutenção alto, corroborando com Machado et al. (2011) ao analisar a bacia do rio Jacuípe/BA e detectar que a densidade de drenagem de  $0.852 \text{ km km}^{-2}$ , considerada muito baixa, demanda um coeficiente de manutenção de  $1173.47 \text{ m}^2 \text{ m}^{-1}$ .

#### 4.1.4 Análise hipsométrica

A sub-bacia do rio Escondido apresenta altitude máxima de  $569 \text{ m}$  a noroeste no município na divisa com os municípios de Corumbiara e Chupinguaia e, mínima de  $204 \text{ m}$  próximo a calha do rio na região limítrofe com Cabixi.

A amplitude altimétrica é de  $365$  metros que influencia na declividade sendo um dos principais fatores que regulam a velocidade do escoamento e exerce grande influência nos processos de erosão e infiltração. Apesar da  $Hm$  ser considerável, a sub-bacia apresenta gradiente de canal baixo dado o seu formato longo e estreito também determinado por relevos mais íngremes.

A declividade média encontrada na sub-bacia hidrográfica foi de 7.06%, valor condizente com o relevo suave ondulado da região. Esta apresenta-se altamente erosiva por possuir diferença altimétrica superior a 200 metros e encontrar-se no rebordo da chapada dos Guimarães.

A distribuição das cotas altimétricas encontra-se na figura 9.

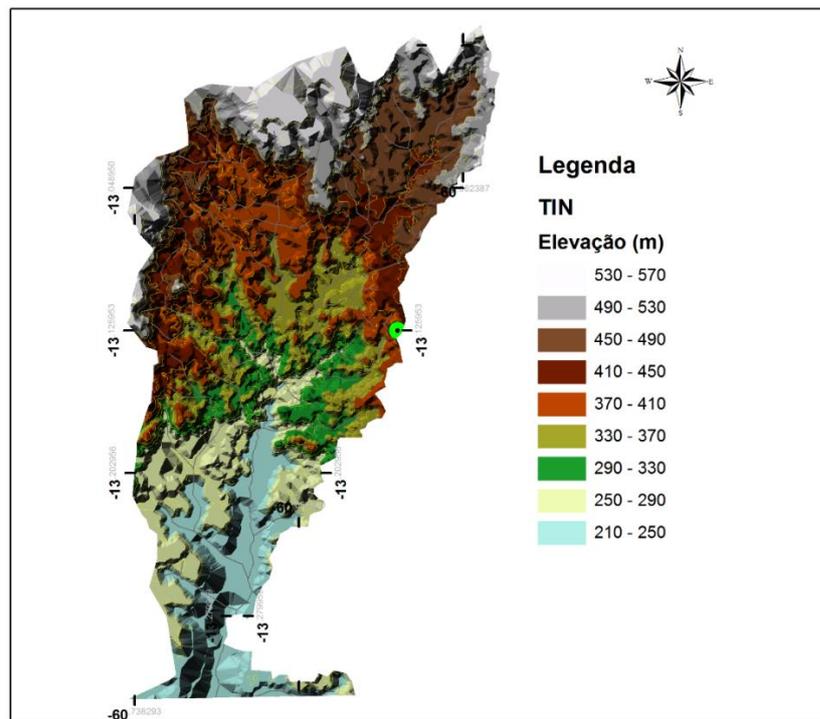


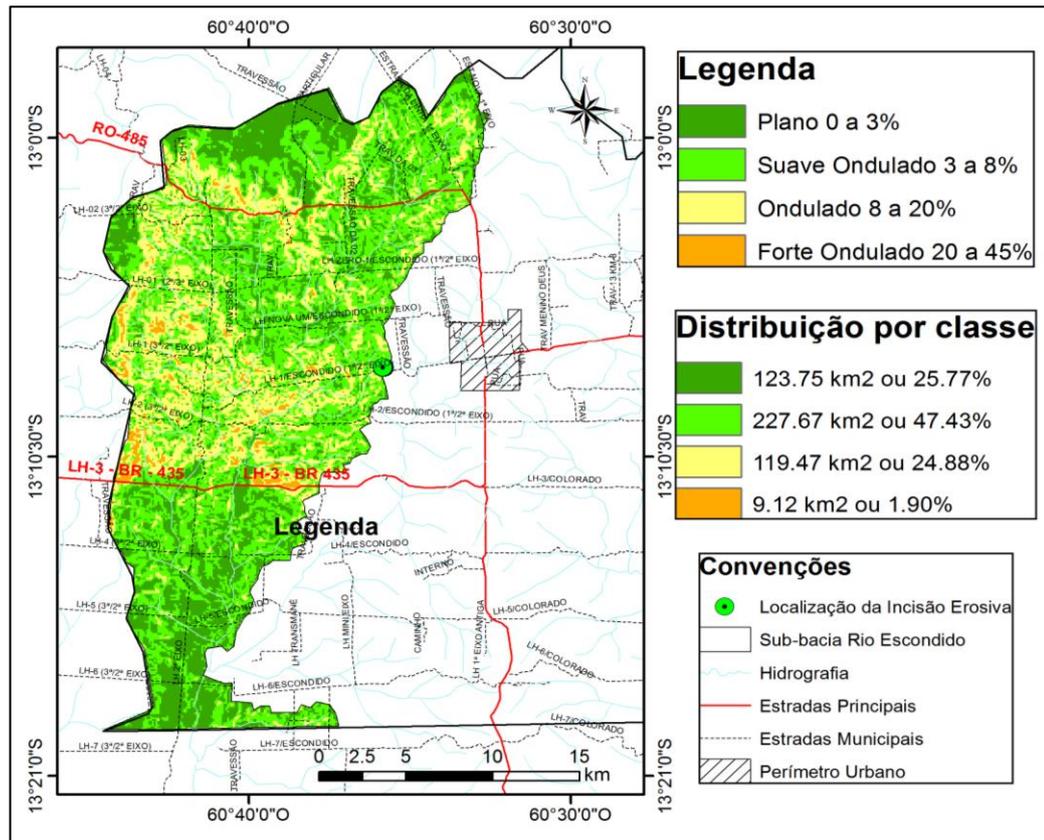
Figura 9 – Imagem TIN (Rede Triangular Irregular), criado a partir de curvas de nível e/ou pontos cotados, aonde ocorre a interpolação dos valores de altitude

Grande parte do relevo que a compõe corresponde ao suave ondulado (3 a 8%) de declividade, representando 47.43% da área total. Aos relevos planos (0 a 3%) ocupam 25.77% e ao relevo ondulado (8-20) com 27.88%, e em menor representatividade, os relevos fortes ondulados (20 a 45%) com 1.90%, descrito na tabela 9 e no mapa 8.

Tabela 9 – Classes de declividade da sub-bacia do rio Escondido

Classe	Declividade (%)	Quantificação	
		Km <sup>2</sup>	%
Plano	0 - 3	123.74	25.77
Suave Ondulado	3 - 8	227.67	47.43
Ondulado	8 - 20	119.47	24.88
Forte Ondulado	20 - 45	9.12	1.90

Fonte: CPRM (2010)



Mapa 8 – Classes de declividades encontrada na sub-bacia do rio Escondido

Segundo Tonello et al. (2006), a declividade média de uma bacia hidrográfica é relevante no planejamento, tanto para com o cumprimento da legislação quanto para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio e possui importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros processos.

Ainda segundo o autor, a maior declividade conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e resultará em enchentes mais pronunciadas, sujeitando a bacia à degradação.

O mapa de declividade do terreno constitui-se, portanto, em importante instrumento de apoio nos estudos das potencialidades de uso agrícola na determinação da suscetibilidade do solo à erosão, pois a sub-bacia, composta majoritariamente por relevo com até 08%, sob condições de solos arenosos e manejo inadequado das atividades favorecem o surgimento e a evolução de processos erosionais requerendo maiores cuidados na condução das atividades agropecuárias.

Os locais marcados por relevo plano ou suave ondulado promoveram o desenvolvimento de atividades de pecuárias como a região de cerrados a noroeste da cidade

da Colorado do Oeste e de agricultura mais a sudoeste próximo ao município de Cerejeiras, com destaque ao monocultivo de soja, arroz e milho safrinha, além da existência de áreas próximas ao rio principal que formam planícies aluviais inundáveis durante o período chuvoso.

Relevos com declividade entre 8-20% (Foto 1a) que compõe 25% da paisagem da sub-bacia e são compostos por morros levemente convexizados e os relevos acima de 20% (Foto 1b) são locais majoritariamente dedicados à produção de gado ocupada por pastagens que, apresentam algum grau de degradação tornando esses locais naturalmente mais suscetíveis à incidência de processos erosionais.



Foto 1 – Fotos na sub-bacia do rio Escondido: a) áreas com declividade 8 – 20%; b) áreas com declividade 20 – 45%.

Os parâmetros hipsométrico analisados estão descritos na tabela 10 e estes guardam relações com a definição do grau de resistência das rochas, assim como, com o estágio de evolução do relevo e da sua distribuição altitudinal (SOUZA; RODRIGUES, 2012).

Tabela 10 – Parâmetros hipsométricos para a sub-bacia do rio Escondido

<b>Parâmetro Hipsométrico</b>	<b>Valor</b>
Amplitude altimétrica (m)	365
Coefficiente de massividade (m km <sup>-2</sup> )	0.78
Coefficiente orográfico (ad.)	297.67
Índice de rugosidade (ad.)	0.234
Textura topográfica (ad.)	2.68
Relação de relevo	7.6 x 10 <sup>-3</sup>

Os valores de coeficiente de massividade representa a massa rochosa remanescente (0.78) indicando relevo instável com existência de intensos processos erosivos. O coeficiente orográfico é o volume rochoso (297.67) sendo este um valor alto indicando que maior é a energia de desgaste de água escoada, propiciando maiores concentrações de sedimentos transportados.

Melo et al. (1986), ao realizar análise morfométrica no rio Encantado/RN verificou que as bacias que apresentaram  $Cma = 0.695$  indicando maior quantidade de volume rochoso, estágio de instabilidade para evolução com predominância de intensos processos erosivos, enquanto que bacias apresentaram  $Cma = 0.265$  a situação é contrária com o desenvolvimento do relevo foi definido como *monadnock* e predominam processos de sedimentação aluvionar.

A sub-bacia apresentou  $Ir$  médio de 0.234, este índice é indicador de vertentes íngremes e longas, pois de acordo com Christofolletti (1980), os valores extremamente altos do índice de rugosidade ocorrem quando os valores de densidade e a amplitude altimétrica são elevados.

A  $Rr$  foi de 0.0076 sugerindo que a sub-bacia possui um relevo relativamente suave, consoante ao observado por Lana et al. (2001) no rio Tanque no município de Minas Gerais que encontrou valor de  $Rr = 0.0082$ .

O valor  $Tt$  da sub-bacia de 2.68, conforme a tabela 11 de interpretação apresentada por Silva ET al. (2007), valores abaixo de 4.00 são classificados como textura topográfica grosseira. Em geral, indicam que a sub-bacia se assenta sobre rochas resistentes com maior

espaçamento das curvas de nível e rarefação das linhas de drenagem (CHRISTOFOLLETTI, 1969).

Este parâmetro possui relação direta com a densidade de drenagem, pois bacias onde a textura topográfica é denominada como grosseira, possuem, conseqüentemente, baixa densidade de drenagem.

Tabela 11 – Classes de interpretação para os valores de textura topográfica

Razão de textura média	Classe de textura topográfica
Abaixo de 4,0	Grosseira
Entre 4,0 e 10,0	Média
Acima de 10,0	Fina

Fonte: Silva, (2007)

A curva hipsométrica representa graficamente o relevo médio e sua construção gráfica em termos da porcentagem da área de drenagem acima ou abaixo das variações de altitude.

A curva hipsométrica da sub-bacia está descrita no gráfico 2.

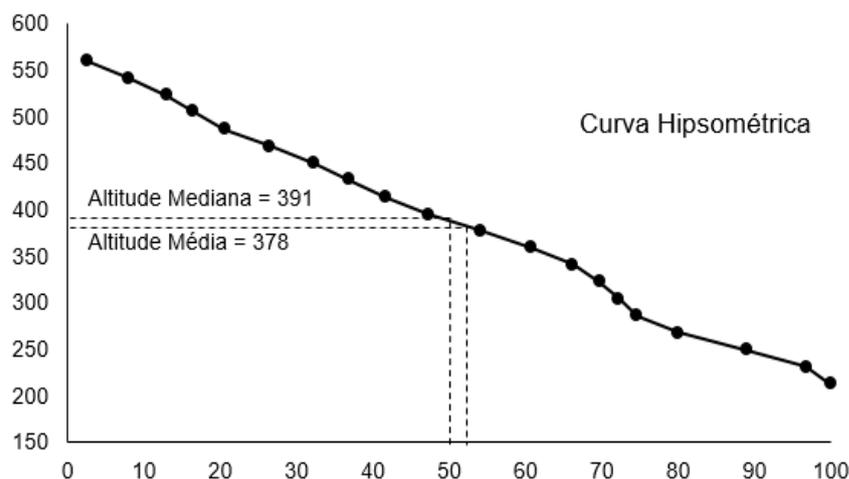


Gráfico 2 – Curva hipsométrica da sub-bacia hidrográfica do rio Escondido

A curva hipsométrica tem a finalidade de exprimir a maneira pela qual o volume rochoso situado abaixo da superfície topográfica está distribuído desde a base até o topo (CHRISTOFOLLETTI, 1980). Ainda conforme Souza; Rodrigues (2012), todo o espaço contido entre a linha que representa a curva hipsométrica, o eixo (X) e o eixo (Y) representa o volume rochoso ainda existente.

A curva hipsométrica é capaz também de demonstrar a configuração do desgaste do relevo. Os dados obtidos com a curva corroboram os valores de textura topográfica que, indicaram que a mesma se assenta sobre rochas resistentes, pois o modelo obtido não evidencia áreas onde a ação dos agentes externos é mais atuante.

O modelo proposto por Christofolleti (1980), permite ainda calcular o volume rochoso ainda existente na região com base na altura e na área de cada faixa altitudinal analisada, verificando, portanto, que a sub-bacia do rio Escondido possui  $8.28 \text{ km}^3$  de rochas passíveis de processos erosivos.

## 4.2 Monitoramento da evolução do voçorocamento

O GPS Geodésico apresentou-se como ferramenta eficaz no monitoramento de evolução de voçorocamento. Cada levantamento topográfico pode ser realizado em período máximo de 03 horas e atingiu a precisão necessária para compreensão do fenômeno em escala temporal.

A média de tempo de aquisição de cada coordenada utilizando o posicionamento RTK foi de 3 segundos e no posicionamento estático rápido de 5 segundos. Tempo esse, necessário, para que o receptor atingisse a precisão estipulada de erro menor que 0.010 m na horizontal e 0.015 m na vertical.

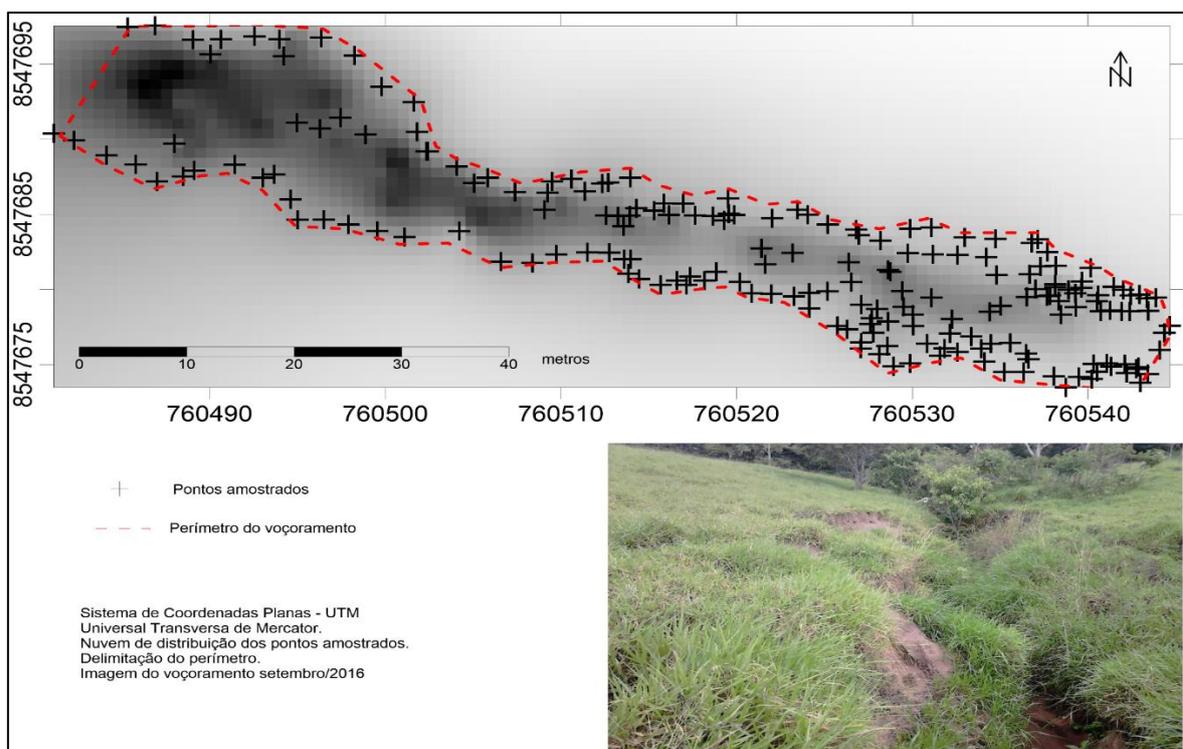
No pós-processamento da base obteve-se solução da ambiguidade fixa consonante com o Manual Técnico de Posicionamento por GNSS (INCRA, 2013) para o tempo de rastreio de 120 minutos, com precisão horizontal de 0.004 m e precisão vertical de 0.007 m. Nos demais levantamentos, a média de erro foi de 0.007 m na horizontal e 0.011 m na vertical, confirmando assim, que ambos os métodos de posicionamento atingiram a precisão necessária e permitiram maior confiabilidade nos dados apresentados.

A precisão obtida corrobora com o apresentado por Leal; Rodrigues (2011) e Leal et al. (2008), ao afirmar que esta deve ser milimétrica (mm), pois a evolução mensal da borda da voçoroca avança em centímetros (cm) e que a precisão dos dados vai depender do objetivo do trabalho, mas o processamento deve ser muito detalhado, sempre identificando todos os pontos, vetores e seus satélites respectivos para identificar erros e ruídos.

Importante ressaltar que, para a avaliação temporal da evolução é necessário a centralização do equipamento em local previamente marcado como base e que o valor da coordenada corrigida seja fornecida sem omissão das casas decimais em todos os levantamentos, pois em levantamentos topográficos de precisão, pequenas falhas de instalação e operação do aparelho podem comprometer o levantamento fazendo que os pontos apresentem erros de localização de ordem centimétrica o que comprometeria os resultados devido a pequena escala de avaliação.

#### 4.2.1 Obtenção arquivo vetorial

Após o processamento dos dados, no qual foram identificados e removidos os pontos que não obtiveram a precisão necessária, os demais foram importados para o *software* de SIG para obtenção da nuvem de dispersão de pontos amostrais, conforme descrito no mapa 9.



Mapa 9 – Mapa de nuvem de dispersão dos pontos amostrados.

A nuvem de dispersão é uma etapa importante porque tem a finalidade de obter o arquivo vetorial no formato *shapefile* – o mais comumente utilizado – definido pelo contorno dos pontos.

O arquivo vetorial seguiu o contorno indicado pelos pontos amostrados. Com isso, foram obtidos 05 (cinco) diferentes modelos de contorno do voçorocamento – que será apresentado mais adiante – e a partir do vetor, foi possível calcular o tamanho do perímetro e identificar os principais pontos de arrastes de partículas por meio da comparação entre os diferentes levantamentos.

#### 4.2.2 Evolução do voçorocamento: análise tridimensional

O estudo da evolução da erosão em Colorado do Oeste foi uma análise importante para elucidação do comportamento e para identificação de possíveis situações futuras caso nada seja feito para conter o avanço da perda de solo.

Cada voçorocamento tende a apresentar traços particulares que não permitem o agrupamento em modelos evolutivos pré-determinados pois há diferentes fatores atuando em condições absolutamente distintas uma das outras. Identificar os fatores e as suas condições de ação são etapas necessárias no entendimento do processo.

Somente uma análise criteriosa e detalhada da voçoroca é capaz de fornecerem elementos fortes e consistentes para a determinação de medidas de contenção e até mesmo de medidas de prevenção evitando que outras incisões surjam acarretando maiores problemas ambientais.

O estudo aplicado na área foi capaz de compreender o processo de evolução ou o seu comportamento, e identificar os fatores que estão atuando para o avanço da erosão. E, para melhor compreensão, o mesmo foi organizado em dois contextos: os fatores que estão atuando na borda do voçorocamento e os fatores de que estão atuando no seu interior, ambos descritos a seguir.

#### 4.2.2.1 Evolução do voçorocamento na borda da incisão

O comportamento da incisão na borda foi determinado por meio da nuvem de dispersão de pontos em ambiente SIG e consistiu na obtenção do vetor referente ao perímetro. A partir da delimitação do perímetro (Figura 10) foi possível identificar os locais de maior desagregação de partículas que são consequentemente as áreas mais fragilizadas.

A partir da análise da figura 10 constatou que as maiores alterações ocorreram na região da cabeceira e nas laterais próximas, enquanto que as menores alterações ocorreram no terço inferior que funcionou como depósito de sedimentos oriundo tanto da incisão quanto das vertentes.

O desprendimento e o arraste de partículas de solo promovidos pelas chuvas ampliaram o detalhamento no perímetro. No primeiro levantamento, o contorno da incisão apresentava-se mais retilíneo, e conforme o solo foi desprendendo passou a apresentar-se mais irregular.

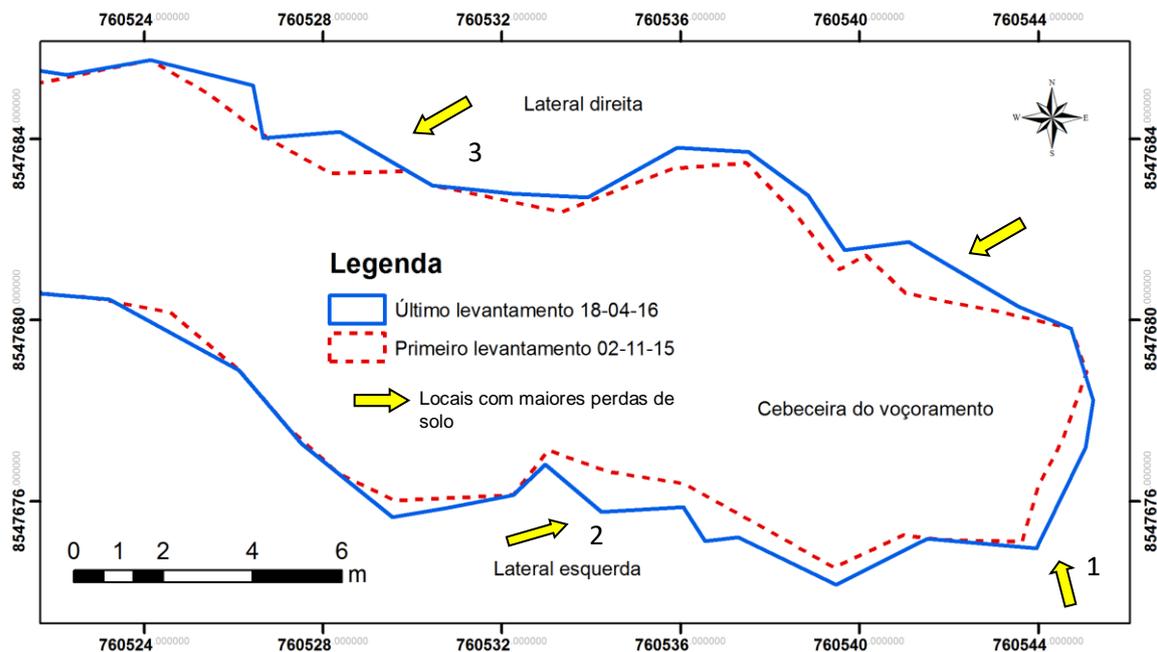


Figura 10 – Detalhamento da borda da incisão erosiva no primeiro e no último levantamento

A irregularidade na borda é a maior responsável pelo aumento no tamanho do perímetro. O comprimento do perímetro em novembro era de 153.67 m e passou a 157.31 m

em abril indicando aumento de aproximadamente 3.64 metros durante o período de avaliação, conforme descritos na tabela 12.

Tabela 12 – Descrição do perímetro do voçorocamento por levantamento

Levantamento	Perímetro (m)
02/11/2015	153,67
10/12/2015	154,21
16/02/2016	155,99
11/03/2016	156,09
18/04/2016	157,31

As áreas indicadas pelas setas na figura 10 destacaram-se pela maior fragilidade à ação do deslocamento da água. São locais que a topografia marcou como canais ou drenos por onde o volume de água deslocado para dentro do voçorocamento é maior, atingindo com mais intensidade as paredes e provocando maior desagregação das partículas.



Foto 3 – Dreno lateral esquerda

Foto 4 – Dreno terço inferior

Os locais marcados nas fotos 2, 3 e 4 determinam a orientação do avanço da voçoroca com forte tendência ao alargamento e expansão na região da cabeceira devido a concentração de dreno e sugerem prioridade nas ações mitigatórias, cujas medidas devem passar por sistemas que evitem a chegada da água com tanto volume e intensidade às paredes da voçoroca.

A figura 11 traz indicadores que corroboram com a tendência maior de evolução na cabeceira. As alterações na geometria do voçorocamento descritos na respectiva figura apontam as diferenças nas larguras e no comprimento após 06 meses de análise. As larguras mensuradas em três locais distintos indicaram avanço da perda de solo na cabeceira foi de 0.97 metros, no terço médio de 0.41 m e no fundo de apenas 0.07 metros. Enquanto que, longitudinalmente, o aumento foi 1.63 metros.

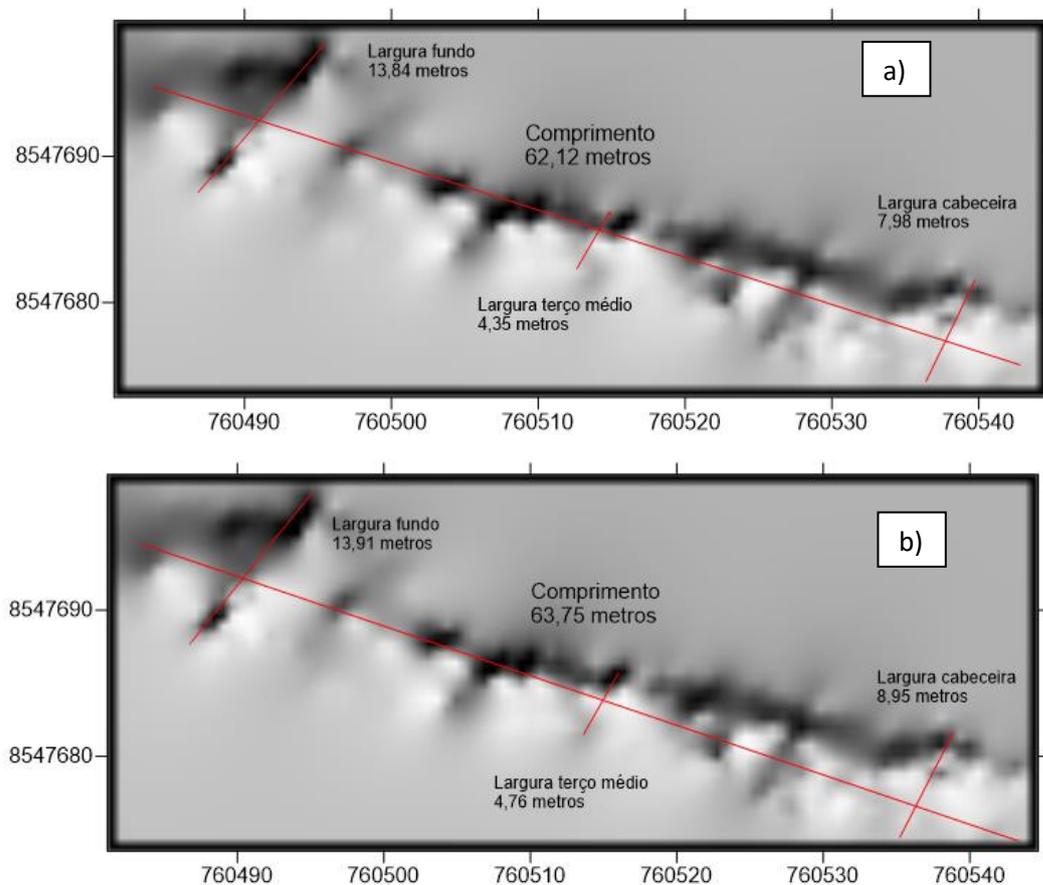


Figura 11 – Dimensão do voçorocamento: a) início da pesquisa em 02/11/2015; b) final da pesquisa em 18/04/2016. Imagem do tipo *shaded relief*.

#### 4.2.2.2 Evolução do voçorocamento no fundo da incisão

O estudo do avanço da erosão no interior da incisão se deu com o auxílio da análise geoestatística. Inicialmente foi determinado os modelos de semivariograma a fim de identificar o grau de dependência espacial entre as amostras. Em seguida, foi adotado a interpolação dos dados por meio da krigagem ordinária que é um estimador linear sem viés. Os sub-produtos oriundos krigagem ordinária foram os mapas *wireframe* (Figura 12) e mapas de isolinhas (Mapas 10 e 11)

O modelo de superfície obtido (*raster*) permitiu a representação do voçorocamento em imagem tridimensional (Figura 12) e os cálculos volumétricos por meio da ferramenta superfície em *softwares* de SIG que possibilitou a quantificação de solo removido do local e o seu incremento após cada avaliação.

A incisão em questão apresentou comportamento atípico ao demonstrar variação negativa no volume de solo erodido contrariando os fenômenos de voçorocamento em geral. O volume de espaço vazio (não ocupado por solo) dentro do voçorocamento que era de 1585.33 m<sup>3</sup> no início do monitoramento passou para 1412.37 m<sup>3</sup> no seu final, isso representa redução na ordem de 11% no volume de espaços não ocupados por solo, descritos na tabela 13.

Tabela 13 – Valores de volume de solo erodido no voçorocamento (m<sup>3</sup>)

<b>Levantamento</b>	<b>Volume erodido (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nº dias entre levantamentos</b>	<b>Chuva no período (mm)</b>
02/11/2015	1585,33	--	
10/12/2015	1508,01	38	271
16/02/2016	1370,79	66	571
11/03/2016	1301,24	26	235
18/04/2016	1412,37	37	394

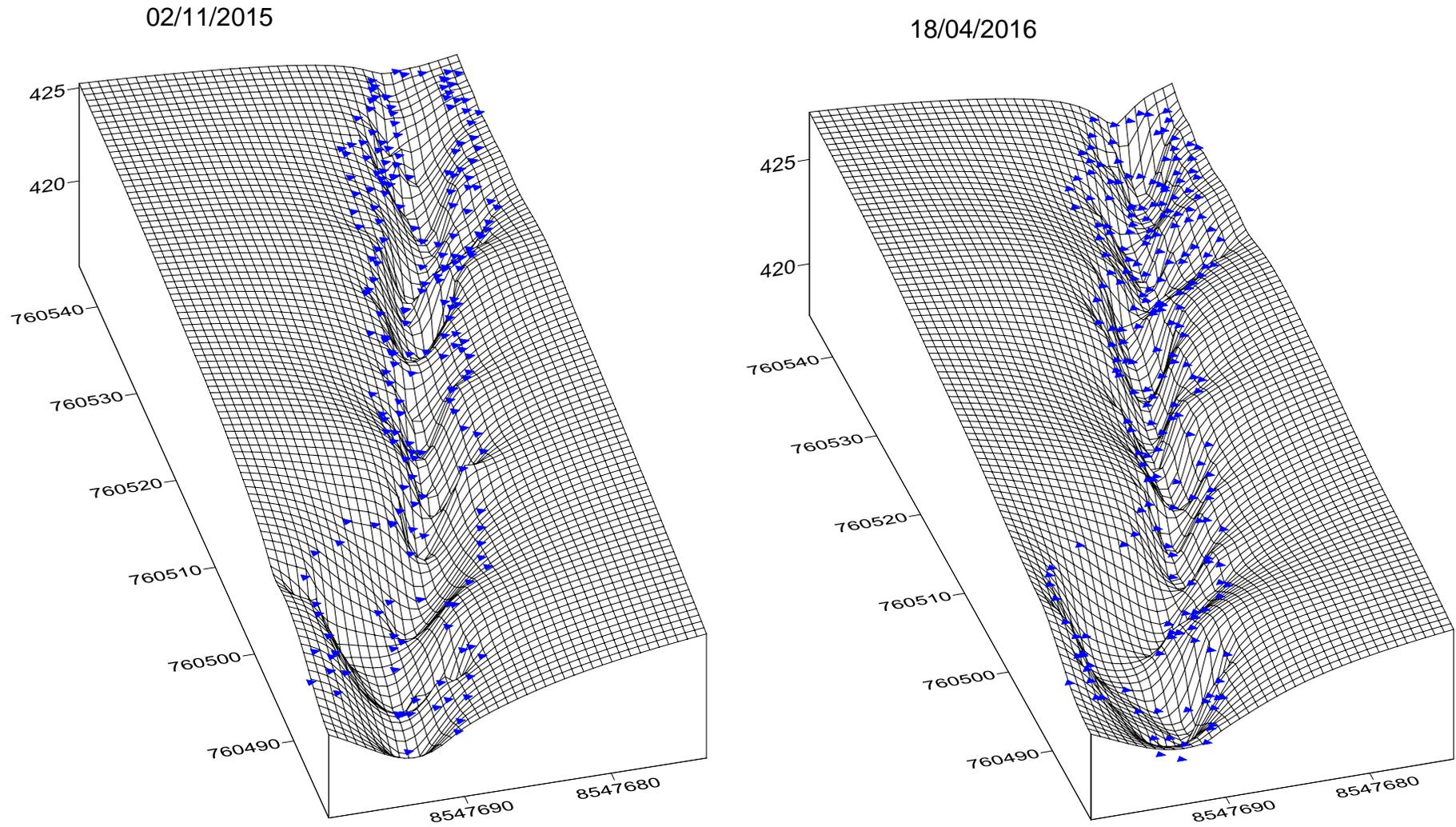
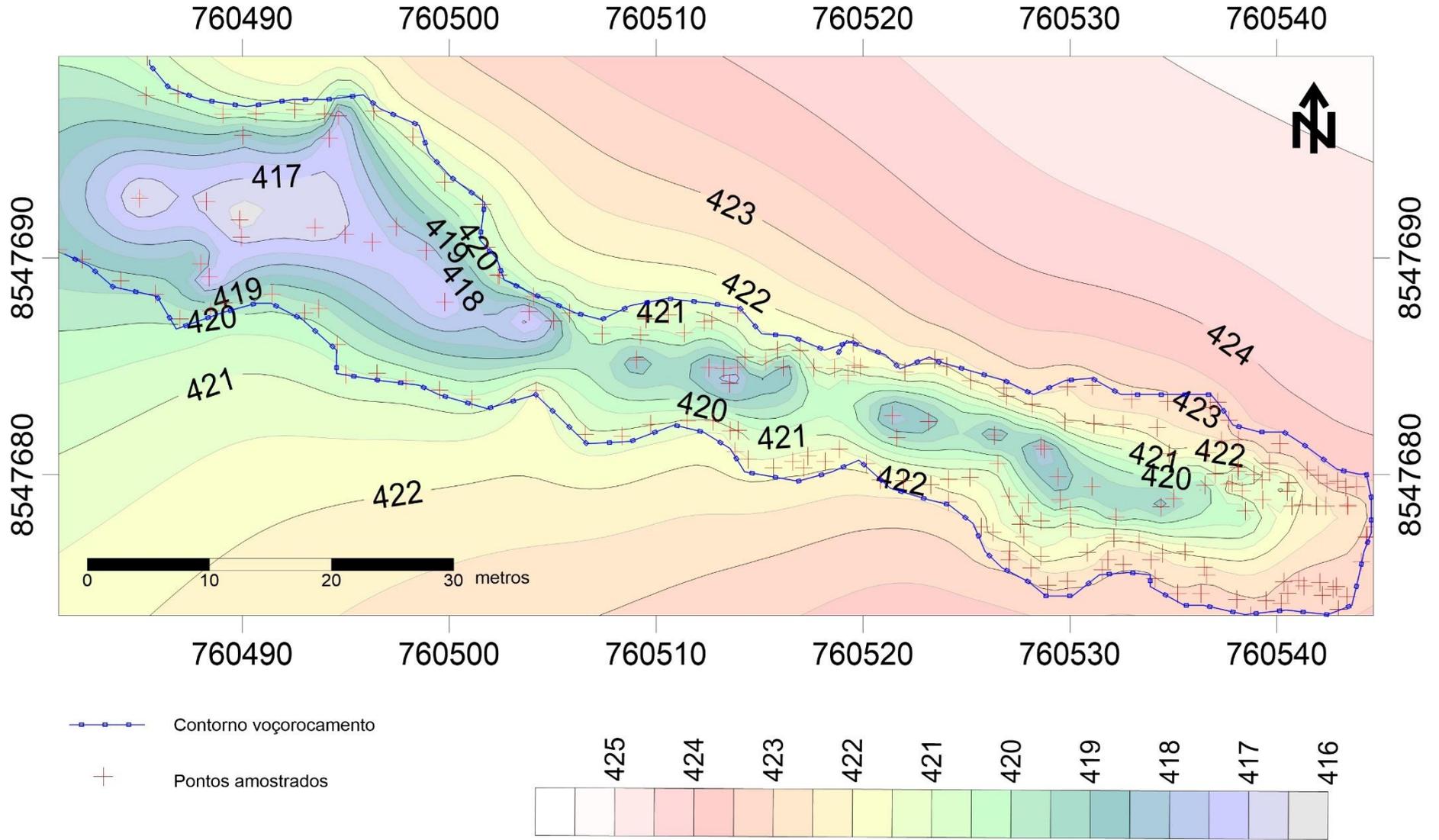
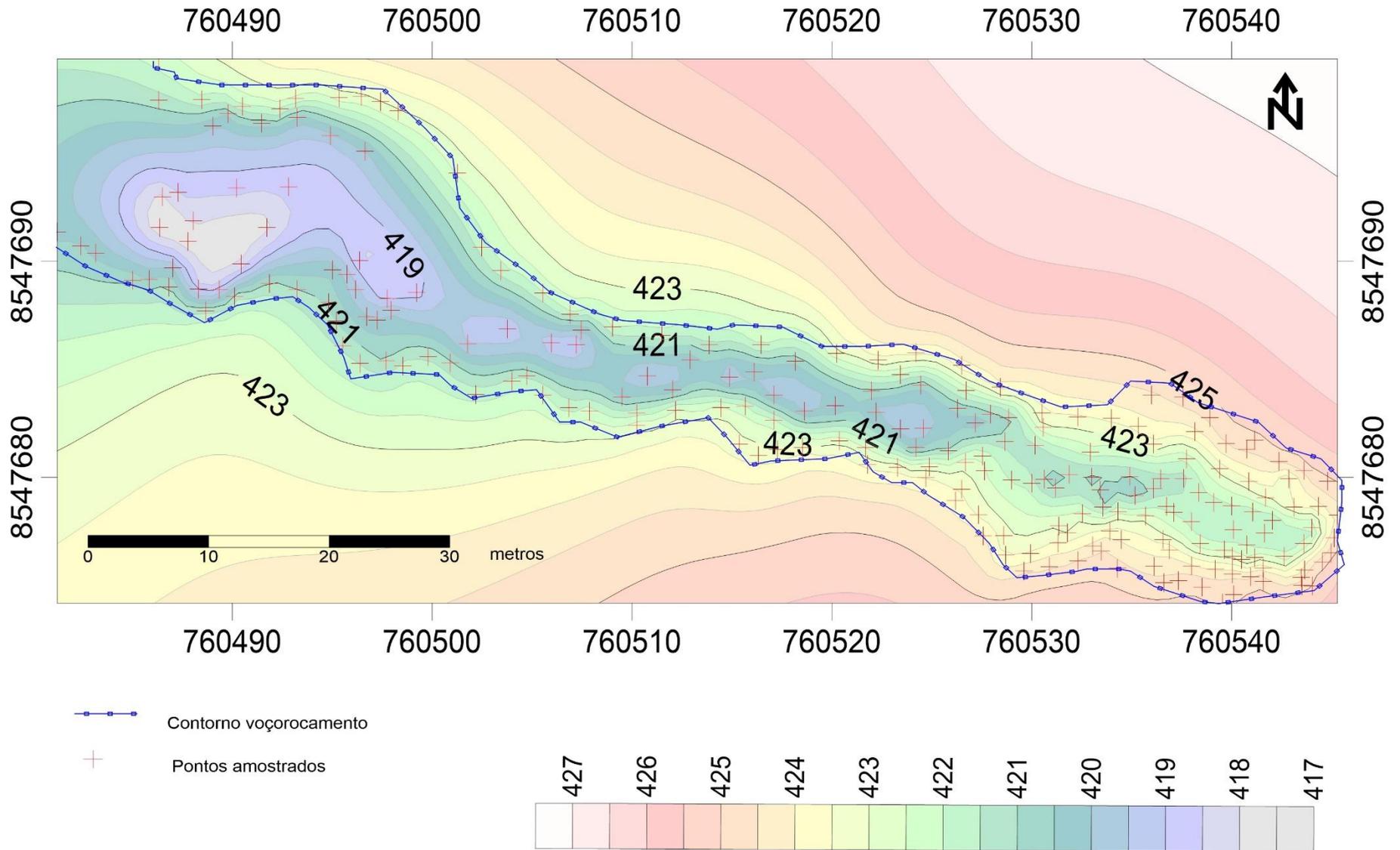


Figura 12 – Detalhamento do voçorocamento em três dimensões



Mapa 10 – Mapa de isolinhas do voçorocamento em 02/11/2015



Mapa 11 – Mapa de isolinhas do voçorocamento em 18/04/2016

A avaliação do mês de dezembro em relação ao mês novembro apresentou queda de 4.87% no volume de espaço vazio. O mês de fevereiro em relação a dezembro a redução foi na ordem 9.9% proporcional ao número de dias entre os levantamentos, e assim, sucessivamente até o mês de março quando esta parou de acumular sedimentos, apresentando taxa de redução mensal de aproximadamente 5%.

Verifica-se que a deposição ocorreu durante todo o período de estudo indicando a forte contribuição dos solos exteriores no processo, levando a crer que parte do material depositado tem origem nas encostas, pois, a presença de solos arenosos em relevos convexos sob cobertura vegetal deficiente e em condições de elevada pluviosidade resultam na alta suscetibilidade aos arrastes hídricos.

Os isogramas representativos da altimetria (Mapa 10 e 11) forneceram elementos elucidativos do processo de expansão ao destacar que fenômeno da perda de solo está ocorrendo principalmente nas bordas da região da cabeira e nas laterais próximas, e que está ocorrendo acúmulo de material sólido em seu interior.

O avanço implica na tomada de áreas produtivas com perdas de solo nas paredes e nas bordas cujo processo inicial é o desprendimento nas camadas superficiais seguida da remoção do restante do material e o acúmulo de sedimentos, ocorre majoritariamente na terça inferior onde é possível observar que a cota mínima de 416 m passa a 417 metros em 06 meses de análise.

O comportamento de acumular sedimentos em seu interior pode ser atribuído a diversos fatores e características como a existência de pequenos poços no fundo, a ausência de canais de escoamento, a presença de vegetação arbórea e a ação das águas subsuperficiais favorecem a deposição do material erodido.

Os pequenos poços, aparecem na maioria das vezes, associados a pequenos desníveis interno - micromorfologia de fundo - que em alguns pontos produz maior energia de turbilhamento da água escoada no mesmo, gerando diferentes aprofundamentos na incisão que ocorre gradativamente no solo.

A estrutura interna da voçoroca é no formato “V” irregular com ausência de canal escoamento dificultando a remoção e o transporte do material depositado. E, a presença de formação florestal após o terço final impede a retirada do sedimento de dentro do canal (Foto 3).



Foto 3 – Formação florestal após o terço inferior do voçorocamento.

A águas subsuperficiais estiveram presentes durante todo o levantamento (Foto 4). O afloramento do lençol freático contribuiu para que a desestabilização do material de fundo na região da cabeceira e do terço médio que foram transportados e depositados no terço inferior. Após a saturação do solo no mês de fevereiro, as águas percoladas nas encostas iniciaram seu movimento no interior do solo e por meio da gravidade atingiram as paredes do voçorocamento em diferentes pontos.



Foto 4 – Afloramento do lençol freático na incisão erosiva.

A presença do fluxo subsuperficial lateral propiciou o surgimento da erosão em dutos (*piping erosion*), que compreende a remoção de material coloidal (GUERRA; JORGE, 2004). Os dutos foram encontrados principalmente na região da cabeceira e em alguns outros pontos nas laterais próximas (Foto 5).



Foto 5 – *Piping* na região da cabeceira.

A presença de ação biológica de pedoturbação (Foto 6) foi outro fator que auxiliou o processo de desagregação das partículas, uma vez que, o hábito de formar galerias de alguns animais encontrados, causaram o desequilíbrio na sustentação do solo na presença de águas subsuperficiais. Essa interferência é denominada de atividade biogênica e Silva Filho (2009), a descreve como sendo um dos fatores responsáveis por promover mudanças em características físicas e morfológicas dos solos.



Foto 6 – Evidências de pedoturbação na região do voçorocamento.

Para melhor compreensão do comportamento do sedimento e da estrutura de fundo do voçorocamento apresenta-se o corte longitudinal no fundo da incisão erosiva na figura 13.

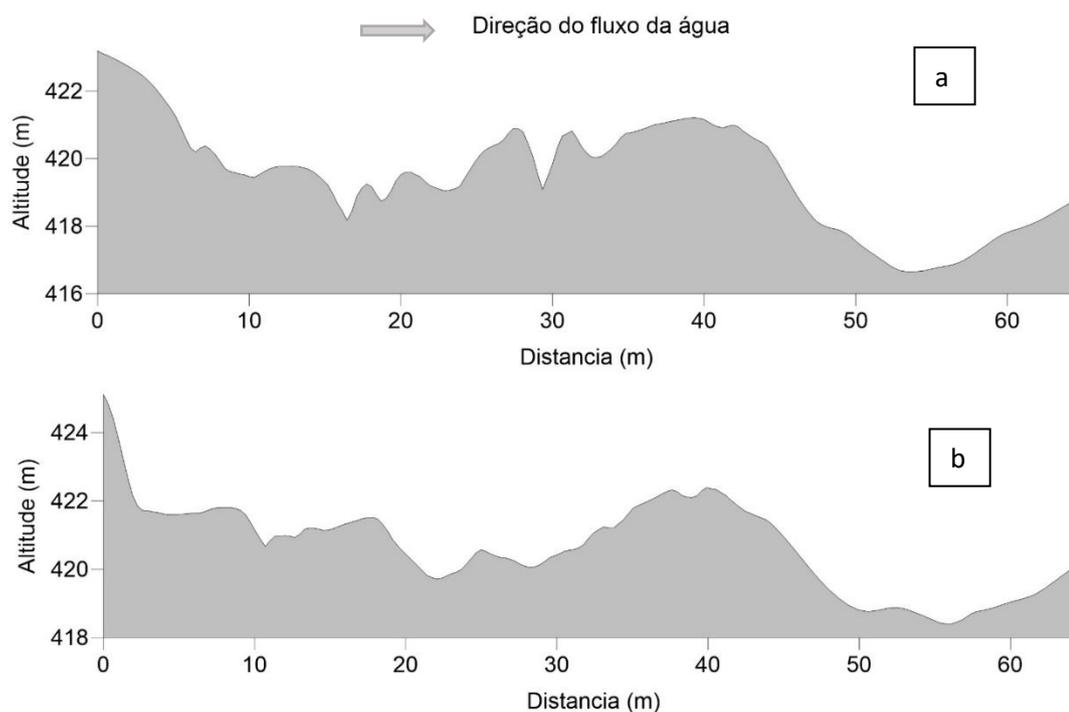


Figura 13 – Perfil longitudinal do fundo da incisão: a) início da pesquisa em 02/11/2015; b) final da pesquisa em 18/04/2016.

Com base na figura 13, verifica-se que a força desagregadora das águas superficiais e subsuperficiais atuaram principalmente na região da cabeceira com tendência ao aplanamento no fundo pelo desgaste dos locais mais altos representado pelos picos na figura (a) e pelo depósito de sedimento oriundo tanto dos taludes quanto das encostas.

O processo de evolução do voçorocamento está consonante com o observado por Augustin; Aranha (2006) ao afirmar que, a perda de solo indica que a água de escoamento inicia seu trabalho de retirada e transporte de material, antes mesmo de atingir as bordas das voçorocas, carreando material de fora para dentro, e após atingir as bordas, o poder erosivo do escoamento aumentado pelo material mais grosso em transporte, acarreta na retirada do solo nas paredes e cabeceira.

Em sentido semelhante, Rocha (2007) assevera que, o surgimento de voçorocas está ligado à formação de escoamento superficial concentrado e a atuação da água subterrânea, esta provoca a intensificação do processo erosivo, favorecendo o desenvolvimento de mecanismos como a erosão interna pelo destaque e transporte de partículas, e aquela por promover o arraste na superfície do voçorocamento.

Bacarro (1999), Alves (2005) e Castro (2005) observaram ainda, que o escoamento subsuperficial tem papel extremamente importante na preparação de condições

hidrodinâmicas favoráveis à ocorrência de processos erosivos, em especial no surgimento e evolução de voçorocas e que o desmatamento e a adoção de pastagens em solos arenosos propiciam elevadas taxas de infiltração e fortalece o *piping*.

#### 4.2.3 Efeito do pastoreio na evolução do voçorocamento

A região da cabeça, local onde houve as maiores alterações nas dimensões da incisão, possui a maior concentração de canais de escoamento por meio de trilhas resultantes do pisoteio dos animais.

As trilhas promovem o aumento na velocidade de deslocamento superficial água por compactar o solo no local e segundo Tomas; Dias (2009), o pastoreio resulta em efeitos de ordem direta e indireta e afetam diferentes partes do sistema geomorfológico como: as terras altas e as terras baixas. A ação dos bovinos não afeta somente os processos geomorfológicos, mas englobam também processos hidrológicos e ecológicos entre outros.

#### 4.3 Fatores condicionantes do voçorocamento

A identificação dos principais agentes potencializadores do processo erosivo consistiu na etapa em que as características físicas do solo no local foi estudado pois este pode determinar a maior ou menor probabilidade do agente erosivo – no caso a água – de causar erosão.

A perda de solo, de uma forma geral, é resultado de um conjunto de fatores atuando de maneira integrada e o estudo pormenorizado de alguns desses agentes facilitou o entendimento do processo. As análises dos parâmetros considerados relevantes estão descritas a seguir.

### 4.3.1 Classificação do solo

Propõe-se que o solo no voçorocamento seja classificado doravante como *Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico*, pois suas características físicas estão consonantes com as propriedades descritas pela Embrapa (2013), onde, a sua morfologia é semelhante à de Latossolos com textura média, apresentam dentro de 150 cm de profundidade textura areia franca no limite de franco arenoso, cores vermelho-amareladas e amarelas e franco desenvolvimento de estrutura muito pequena granular.

Apresenta ainda, material mineral pouco desenvolvido, com ausência de horizonte diagnóstico, textura areia ou areia franca em todos os horizontes analisados. A nova classificação proposta está baseada na descrição do perfil representativo da área de estudo.

#### 4.3.1.1 Descrição do perfil

Localização: Colorado do Oeste/RO

Situação de abertura do perfil: o corte foi realizado na lateral esquerda do voçorocamento, cuja parede possui profundidade superior a 4 m e presença de raiz concentrada nos 10 primeiros centímetros.

Altitude aproximada na cabeceira do voçorocamento: 424 m

Formação geológica: Suíte Intrusiva Alto Escondido.

Relevo local: colinas médias com topos aplanados ou levemente convexizados.

Cobertura vegetal: pastagens (*Braquiária Brizantha* cv. Marandú).

Aspectos gerais: o perfil apresenta grande quantidade de raízes no horizonte A, textura arenosa, com ligeira presença de rochas com acúmulo de ferro.

Foram identificados neste perfil, cinco horizontes de solo (Figura 14).

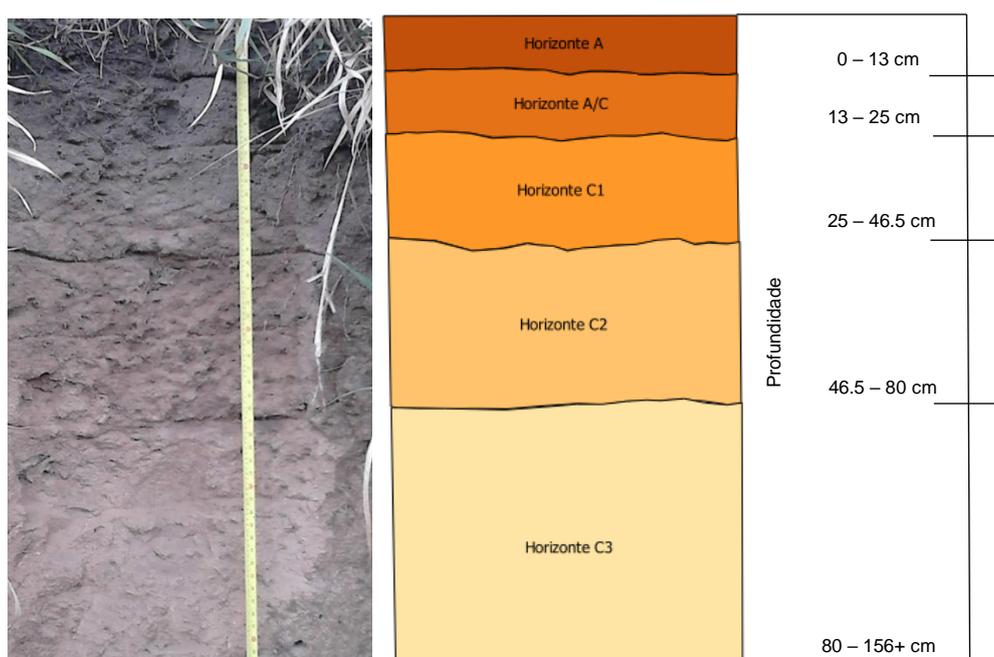


Figura 14 – Perfil no voçorocamento e os cinco horizontes identificados

O resumo da descrição morfológica do perfil encontra-se na tabela 14.

Tabela 14 – Descrição morfológica do perfil no voçorocamento

Prof. (cm)	Espessura (cm)	Cor		Textura % areia	Grau de desenv.	Estrutura	MO (g/dm <sup>3</sup> )
		Seco	Úmido				
0 – 13	13	10 YR 5/1	10 YR 3/1	62	Fraco	Subangular	23.4
13 – 25	12	10 YR 5/2	10 YR 3/1	60	Fraco	Subangular	18.6
25 – 46.5	21.5	10 YR 4/2	10 YR 3/2	65	Fraco	Subangular	8.3
46.5 – 80	33,5	10 YR 3/3	10 YR 4/3	65	Fraco	Granular	5.4
80 – 156+	76	10 YR 5/4	10 YR 4/3	65	Fraco	Granular	2.8

As cores quando seco são: horizonte A cinzento (10 YR 5/1), A/C bruno-acinzentado-difuso (10 YR 5/2), C1 bruno-acinzentado-escuro (10 YR 4/2), C2 bruno-escuro (10 YR 3/3) e C3 mosqueado amarelo (10 YR 5/4). E, quando úmido: horizonte A e A/C cinzento muito escuro (10 YR 3/1); horizonte C1 bruno-acinzentado muito escuro (10 YR 3/2); horizonte C2 e C3 bruno escuro a bruno (10 YR 4/3).

O perfil apresentou tamanho de estrutura que variaram de pequeno a muito pequeno, sem cerosidade, com consistência solta na análise seca e úmida, não plástico, não pegajoso e grau de transição difusa. A granulometria do perfil está mostrada no gráfico 3.

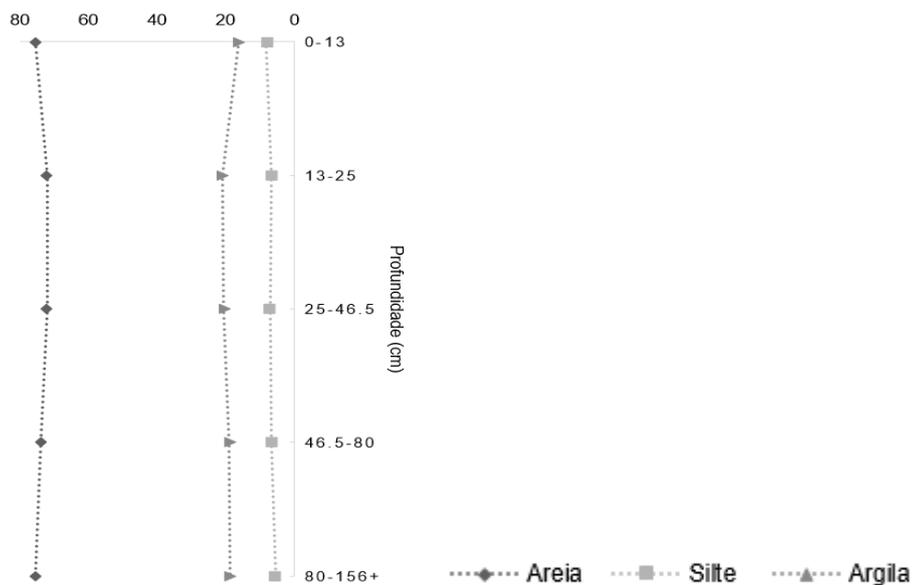


Gráfico 3 – Comportamento textural no perfil em percentagem

Almeida et al. (2009) afirmam ainda, que características como os percentuais granulométricos nas frações areia, silte e argila dos solos demonstram solos predominantemente arenosos e pouco coesos, o que confere alta suscetibilidade aos processos erosivos e, segundo Bertoni; Lombardi Neto (1999), solos arenosos com baixa proporção de argila, quando submetidos a enxurradas são facilmente arrastados.

A região é marcada também para baixa presença de matéria orgânica, cuja distribuição do percentual nos horizontes do perfil do solo está expressa no gráfico 4.

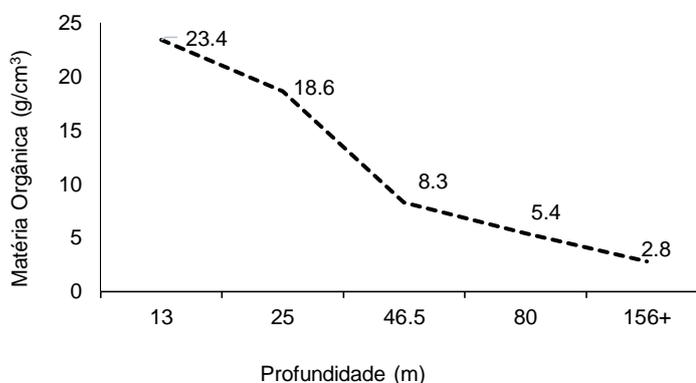


Gráfico 4 – Distribuição da matéria orgânica ao longo do perfil

Os baixos teores de Carbono Orgânico no Solo ajudam a promover os processos erosionais devido à baixa cimentação dos agregados, demonstrando assim, em termos de uso

agrícola, que os Neossolos Quartzarênicos apresentam baixo potencial e devem ser utilizados com muito critério juntamente com a adoção de técnicas de conservação e manutenção do solo e da água.

A matéria orgânica do solo é um importante indicador da qualidade do solo por ser componente principal em diversos processos químicos, físicos e biológicos de ecossistemas terrestres. Diversos trabalhos têm ressaltado suas funções na manutenção da qualidade do solo (MAIA et al. 2006); na sustentabilidade dos sistemas naturais e agrícolas (ARAÚJO et al. 2007)

Freitas (2013), ao verificar a dinâmica dos teores de MO em Neossolo Quartzarênico Órtico no assentamento Tobasa em Esperantina/TO, constatou que os maiores valores foram observados no sistema agroflorestal, nas camadas inferiores a 10 cm. O autor atribuiu ainda os altos valores em alguns sistemas ao não revolvimento do solo.

#### 4.3.2 Pluviosidade

Os dados registrados nas estações pluviométricas indicaram que a média pluviométrica anual para o ano de 2015 em Colorado do Oeste foi de 1900 mm. Para o ano de 2016, até mês de agosto, havia similitude com a tendência de precipitação para o município com base em dados históricos.

Os meses de janeiro e fevereiro em 2016 apresentaram maior volume de chuva com 294.4 e 290.6 mm respectivamente e os meses de junho e julho foram secos sem registro de precipitação e o mês de agosto com precipitação de 155 mm. As médias acima de 250 mm no período de dezembro a março definiram os maiores riscos à estabilidade do solo.

Os meses iniciais do período chuvoso onde geralmente ocorrem médias inferiores a 100 mm são destinados principalmente à recarga do potencial hídrico do solo e provavelmente poucos danos devem ter ocorridos na incisão erosiva, visto que os meses de setembro e outubro não foram analisados.

Somente após a recarga do lençol freático e saturação dos solos é que a chuva promoveu a remoção, transporte e deposição dos sedimentos na região. Tais movimentos iniciaram com maiores intensidades em novembro e foram detectados no mês de dezembro indicando o deslocamento de partículas de solos das encostas e sua deposição no fundo do voçorocamento.

O observado na região corrobora com Cardoso; Pires (2009), ao afirmar que a perda de sedimentos devido à precipitação é a principal causa para o surgimento e o consequente crescimento de uma voçoroca: quanto maior o volume de chuvas em uma área, maior a propensão ao surgimento desse tipo de erosão.

Ainda de acordo com Bertoni; Lombardi Neto (1999), a chuva é um dos fatores climáticos de relevância na erosão dos solos, que está diretamente relacionado à intensidade, duração e frequência do evento chuvoso. Assim como, Coelho Netto et al. (2002), indicaram ser a pluviosidade um fator preponderante na análise dos fatores que provocam o surgimento de processos erosivos e intensificação dos já existentes.

### 4.3.3 Erosividade e erodibilidade do voçorocamento

#### 4.3.3.1 Erosividade

A taxa de erosividade para Colorado do Oeste determinadas entre os anos de 1985 a 2010 em intervalos idênticos de 5 anos estão apresentadas no gráfico 5.

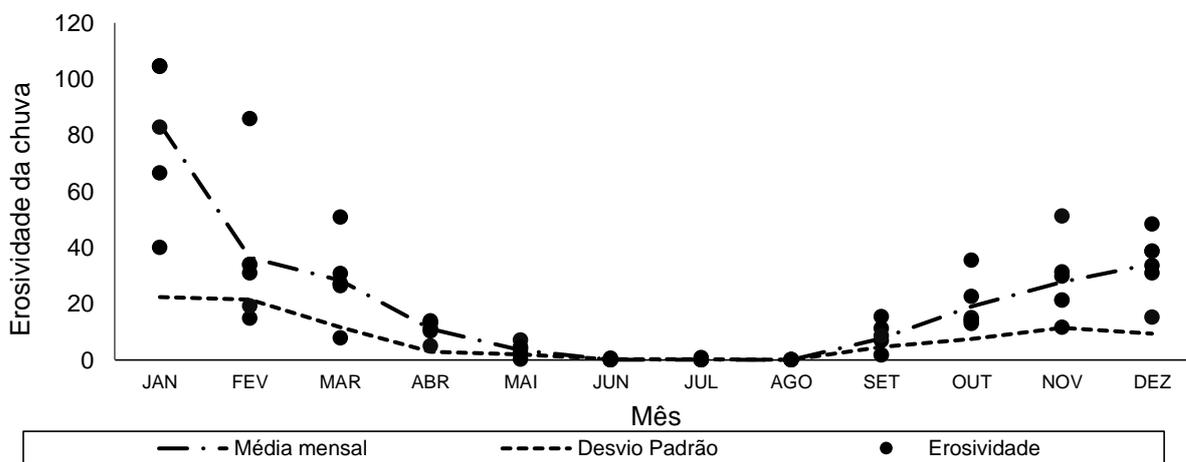


Gráfico 5 – Erosividade da chuva no período entre 1985 a 2010.

Com base nos registros históricos de pluviosidade o índice de erosividade apontou os meses de janeiro e fevereiro como aqueles com maiores taxas consonante aos maiores volumes pluviométricos, seguido de taxas decrescentes até atingir 0 (zero) de erosividade nos

meses de inverno (junho, julho e agosto) cuja média de precipitação é inferior a 50 mm, e posterior crescimento dos índices nos meses subsequentes até atingir o máximo no mês de dezembro que é equivalente a taxa apresentada em janeiro.

A erosividade média mensal no período evidenciou a relação direta entre este e o total precipitado mensal. Semelhante ao observado por Veiga et al. (1994) e Della Justina (1998), nas quais a média anual é proporcional ao total precipitado, quanto maior a precipitação anual, maior o índice.

O cálculo da erosividade é relevante, pois retrata os meses em que a chuva atinge o máximo da sua potencialidade em causar erosão, e logo, todas as ações destinadas a prevenir ou mitigar seus efeitos sobre o solo devem ser realizadas antes desse período. No caso do voçorocamento, as medidas devem ser destinadas principalmente a revigorar as pastagens ainda no início do período chuvoso para evitar que solos férteis sejam removidos por arraste hídrico em um processo denominado de erosão laminar.

O detalhamento da erosividade no município no ano 2015 encontra-se no quadro 3 e no gráfico 6 e a erosividade no período de monitoramento no gráfico 7.

Quadro 3 – Taxas mensais do índice de erosividade para Colorado do Oeste/2015.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Pmm*	316,4	208,4	372,3	278,3	200,1	17,1	0,0	0,3	62	98,5	197,6	169,3	1920,3
Elm**	52,13	22,62	72,18	40,33	20,85	0,5	0,15	0,0	0,2	5,05	20,33	14,93	250,58

\* - Pluviosidade média mensal em mm; \*\* - Taxa de erosividade média mensal

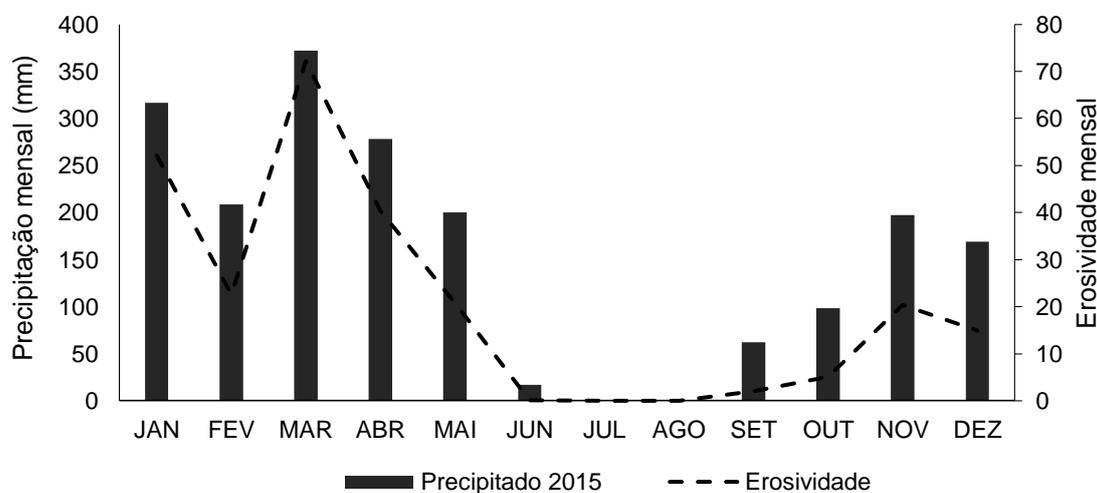


Gráfico 6 – Distribuição média mensal da precipitação e erosividade em 2015

Em 2015 os meses de janeiro, março e abril apresentaram os maiores índices com contribuição de 65.7% da erosividade anual. Contudo, é importante ressaltar que o ano de 2015 contrastou com a tendência de pluviosidade no município ao apresentar precipitado menor no mês de fevereiro e aumento de 45% na pluviosidade em março.

Analisando, porém, somente o ano hidrológico ou correspondente ao período de monitoramento da incisão verifica-se que os meses entre dezembro e fevereiro obtiveram os maiores índices (Gráfico 7), cujas médias estiveram próximas devido à pouca diferença entre os registros pluviométricos de cada mês.

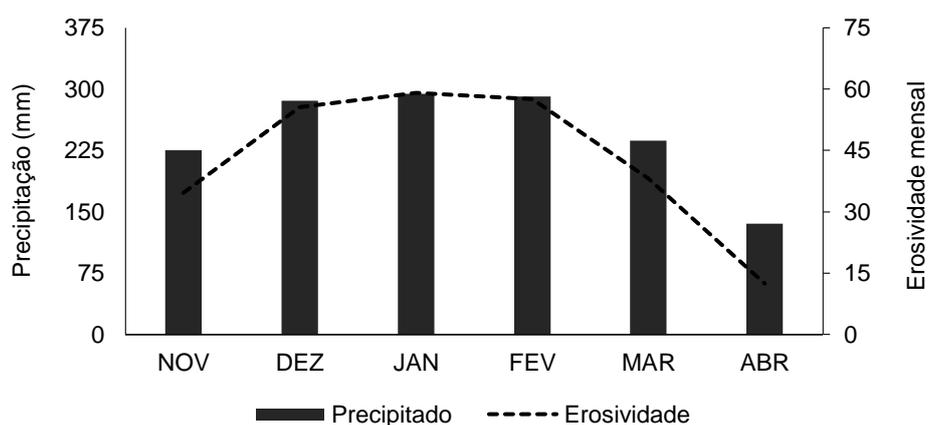


Gráfico 7 – Distribuição a mensal da precipitação e erosividade no período de avaliação. Os dados correspondem a novembro de 2015 a abril de 2016.

A determinação do índice de erosividade expresso por sazonalidade de acordo com as estações climáticas do ano (Gráfico 8) apontou a variação significativa entre as estações. A sazonalidade indica também a distribuição irregular das chuvas, exceto para as estações de outono e primavera que mantiveram praticamente o mesmo índice não significando, portanto, que ocorra uniformidade nos dados.

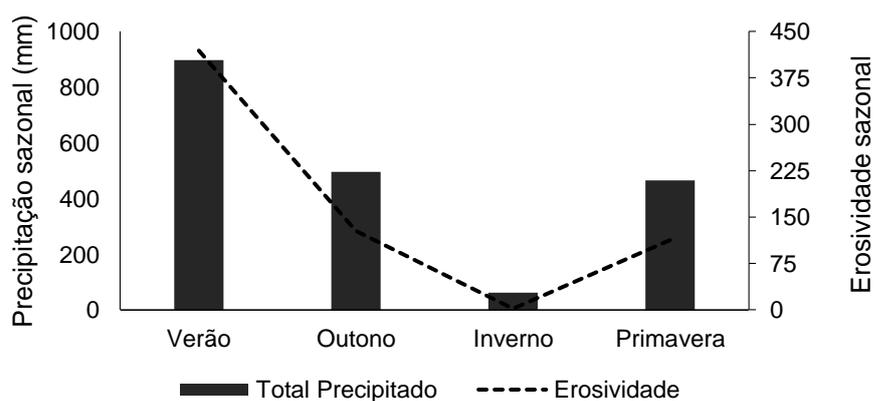


Gráfico 8 – Distribuição média sazonal da precipitação e erosividade em 2015

Os maiores índices sazonais foram verificados durante o verão, ou como é conhecido na região inverno amazônico, cuja erosividade ficou aproximadamente 200% acima dos valores apresentado para as estações de outono e primavera, ratificando a necessidade de maiores cuidados quanto ao manejo do solo nesse período.

De uma forma geral, a determinação dos valores de erosividade serviu de indicador da potencialidade da chuva em causar perdas de solos. Logo, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, apontados nas análises anteriores como os mais erosivos, exigem, conseqüentemente, maiores cuidados quanto a cobertura vegetal nas encostas e ao manejo e conservação dos solos em consonância ao apresentado por Della Justina (1998) no qual o alto índice de erosividade requer cuidados especiais no manejo.

#### 4.3.3.2 Erodibilidade

A estimativa do valor da erodibilidade do solo (K) na profundidade de 0 – 20 cm para os três pontos analisados apresentou valores  $0.068 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para os perfis 01 e perfil 02 e  $0.067 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  para o perfil 03. Segundo Mannigel et al. (2002) na tabela 15, valores maiores que  $0.06 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  são classificados como “extremamente alto” para erodibilidade.

Tabela 15 – Valores de classificação de erodibilidade

<b>Classificação</b>	<b>Valor (<math>\text{t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}</math>)</b>
Extremamente alto	$> 0,06$
Muito Alto	$0,045 - 0,06$
Alto	$0,03 - 0,045$
Médio	$0,015 - 0,03$
Baixo	$0,009 - 0,015$
Muito Baixo	$< 0,009$

Adaptado de Mannigel et al. (2002).

O método proposto por Denardin (1990) é tido como o menos impreciso para as estimativas de erodibilidade em solos brasileiros (CORRÊA et al. 2015). Contudo, Arraes ET al. (2010), esclarece que apesar de os métodos para a estimativa do fator K ter sido testado

diversos autores, ainda necessitam de revalidação dos resultados e que os métodos desenvolvidos e adaptados às condições brasileiras não podem ser empregados sem restrições.

A erodibilidade extremamente alta para o voçorocamento deve-se a predominância de Neossolo Quartzarênico com textura franco-arenosa e franco-argilo-arenosa que apresentam alta susceptibilidade ao desenvolvimento de erosão, aliados as mudanças abruptas na textura em profundidade que favorece o fluxo paralelo ao caimento das encostas e o incrementando a erosão. Além de encontrar-se a 424 m de altitude sob relevo ondulado com declividade entre 8 e 20%.

Tais fatores associados às condições de ocupação do solo com pastagens com mais de 30 anos de formação marcadas por pisoteio do gado com formação de trilhas, conduzem ao escoamento superficial concentrado de água de chuva, observando-se a existência de erosão laminar nas encostas com grandes quantidades de sedimentos depositados no fundo da incisão erosiva.

Consonante ao observado por Arraes et al. (2010), que em condições de ocupação inadequada do solo pode haver o desenvolvimento de voçorocas de grande porte, isso ocorre porque em condições de ocupação inadequada, podem conduzir escoamento superficial concentrado da água da chuva, provocando condições favoráveis ao ravinamento e rápido aprofundamento erosivo.

#### 4.3.4 Granulometria

A análise textural e classificação de areia foi realizada em três perfis na parede da incisão até a profundidade de 250 cm (Figura 15). O perfil 1 foi aberto na região da cabeceira por concentrar as maiores perdas, um segundo perfil foi aberto na lateral direita e o terceiro perfil foi aberto no terço médio que apresentava características diferentes de perda de solo.

A análise serviu para estabelecer a relação quantitativa e qualitativa da distribuição dos grãos com a facilidade de remoção e arraste pelas águas superficiais e subsuperficiais.

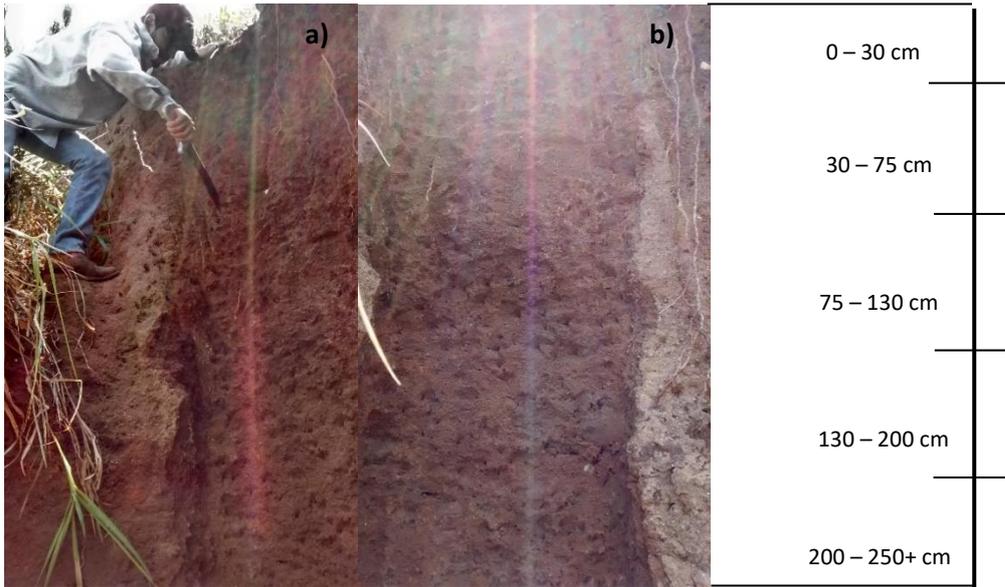


Figura 15 – Imagem e determinação das profundidades dos perfis analisados: a) Perfil 01; b) Perfil 03.

#### 4.3.4.1 Composição granulométrica

A descrição das análises granulométricas média estão apresentados no triângulo textual na figura 16 para os três perfis.

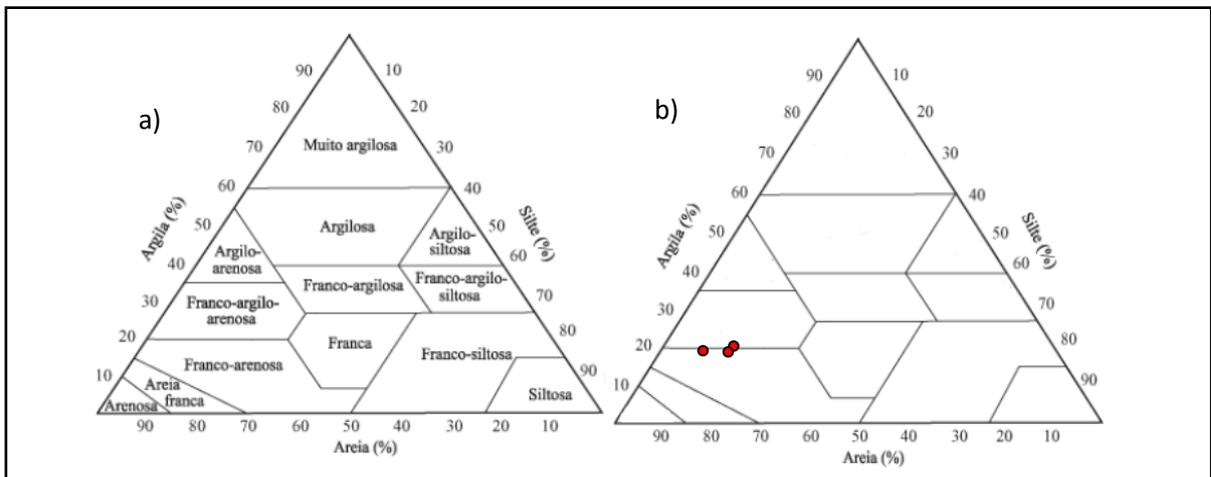


Figura 16 – Triângulo de classificação textura de solos (a) com os dados da pesquisa (b) com as médias dos perfis 01, 02 e 03.

Fonte: Adaptado de Almeida (2013)

As amostras enquadraram-se nas classes texturais franco-arenosa (Perfil 01) e franco-argilo-arenosa (Perfil 02 e 03) de acordo com diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo (Atterbeg) e segundo a classificação da EMBRAPA (2006) a textura no local é média.

A composição textural do voçorocamento indicou a preponderância da fração areia em detrimento das outras frações granulométricas, apresentando teores médios de 70% de areia, 10 % de silte e 20% de argila.

#### 4.3.4.1.1 Textura: areia, silte e argila

Os perfis de uma maneira geral apresentaram pouca variação textural, em especial no teor de total de areia até a profundidade de 130 centímetros, a partir de então passaram a sofrer oscilações quanto aos demais teores.

Os valores de texturas estão apresentados no quadro 4 e no gráfico 9.

Quadro 4 – Distribuição da granulometria do voçorocamento por profundidade

Amostras	Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila	Relação
		%			Silte/argila
Perfil 01	0-30	75,6	8,2	16,2	0,50
	30-75	72,3	6,7	21	0,32
	75-130	72,3	7,1	20,6	0,35
	130-200	74	6,9	19,1	0,36
	200-250+	75,6	5,6	18,8	0,28
Perfil 02	0-30	74	8,5	17,5	0,49
	30-75	72,3	8,4	19,3	0,43
	75-130	72,3	8,2	19,5	0,42
	130-200	60,7	12,7	26,6	0,76
	200-250+	52,3	23,3	24,4	0,95
Perfil 03	0-30	74	7,2	18,8	0,38
	30-75	74	10	16	0,62
	75-130	72,3	11	16,7	0,66
	130-200	49	23,3	27,7	0,84
	200-250+	67,3	12,8	19,8	0,64

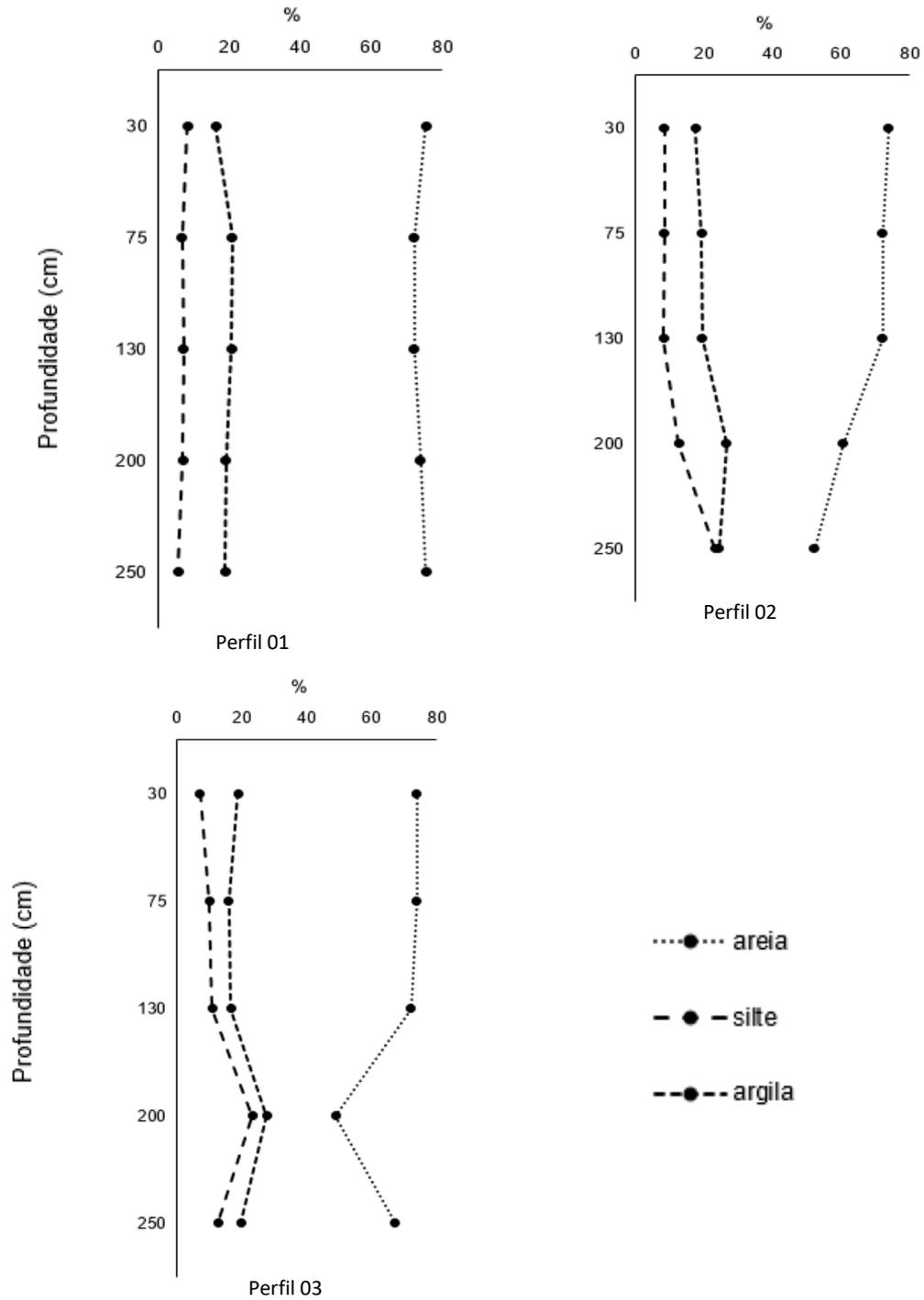


Gráfico 9 – Distribuição de areia, silte e argila (%) por profundidade para os 03 perfis analisados.

O perfil 01 apresentou total de areia superior a 70% nas 05 profundidades analisadas, com tendência à estabilização das frações granumétricas ao longo do perfil. Localiza-se na cabeceira do voçorocamento e apresenta grande suscetibilidade ao desprendimento de partículas.

O perfil 02 localiza-se na lateral esquerda cujo teor de areia manteve-se próximo a 73% até a profundidade de 130 cm com aumento proporcional nos teores de silte e argila entre 130 e 200 centímetros e consequente redução no percentual de areia. Entre 200 e 250 cm ocorreu o maior acúmulo de silte. É uma área com tendência à erosão principalmente nas camadas iniciais.

Enquanto que, o perfil 03 à semelhança do que ocorre no perfil 02, conservou a tendência de teores de areia acima de 70% até a profundidade de 130 cm e maior desprendimento de partículas nas primeiras camadas de solo e as maiores alterações nas frações de solo também ocorreram abaixo de 130 cm com acúmulo de silte e argila e redução no percentual de areia.

Freitas (2013), ao realizar a granulometria em Neossolo Quartzarênico Órtico em Tocantins sob quatro sistema de manejo e uso do solo até a profundidade de 40 cm constatou que os valores médios de areia, silte e argila ficaram na ordem de 83.3%, 4.5% e 13.2% respectivamente. Próximo, portanto, ao verificado na região de Colorado Oeste cujos teores para a mesma profundidade foram 74.5%, 8% e 17.5% para areia, silte e argila.

Almeida et al. (2009), ao analisar os fatores atuantes no processo erosivo na Serra do Tepequém/RR sob Neossolo Quartzarênico verificou também uma tendência dos horizontes superficiais se apresentaram mais arenosos. E, ainda de acordo com o autor supracitado, solos arenosos e poucos coesos conferem alta suscetibilidade ao processo erosivo. Consonante com Bertoni; Lombardi Neto (1999), no qual solos arenosos com baixa proporção de argila, quando submetidos a enxurradas são facilmente arrastados.

A relação silte/argila, empregada em solos de textura franco arenosa, indicou que até a profundidade 130 centímetros a relação é menor que 0.7, resultado esperado para solos com textura média, e, indicam a existência de intemperismo mais acentuado nessa profundidade principalmente no horizonte B.

De acordo com a Embrapa (2006), a relação silte/argila serve como base para avaliar o estágio de intemperismo presente em solos de região tropical e é utilizada para diferenciar horizonte B latossólico de B incipiente, quando eles apresentam características morfológicas semelhantes, principalmente para solos cujo material de origem pertence ao cristalino, como as rochas graníticas e gnáissicas.

Ainda de acordo com a Embrapa (2006), horizonte B incipiente apresentam relação silte/argila igual ou maior que 0.7 quando a textura for média, enquanto que horizonte B latossólico a relação deve ser inferior a 0.7 em solos com textura média, corroborando com os

dados de classificação de solo (*Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico*) na região do voçorocamento.

#### 4.3.4.1.2 Classificação da areia

A região do voçorocamento apresenta-se predominantemente composta por areia do tipo muito grossa e grossa com diâmetros de 0.5 e 1.19 mm respectivamente em todos os perfis analisados, representando juntas 63.32% do total de areia.

A distribuição granulométrica da classificação da areia em: areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina estão no quadro 5 e no gráfico 10.

Quadro 5 – Classificação da areia no voçorocamento por profundidade

<b>Amostras</b>	<b>Profundidade (cm)</b>	<b>Areia muito Grossa</b>	<b>Areia Grossa</b>	<b>Areia Média</b>	<b>Areia Fina</b>	<b>Areia muito Fina</b>
Perfil 01	0-30	17	30,97	16,96	6,56	4,11
	30-75	22,21	29,72	11,85	5,62	2,9
	75-130	22,21	27,13	14,07	4,72	4,17
	130-200	15,65	29,35	18,79	5,9	4,31
	200-250+	16,8	31,75	17,08	6,71	3,26
Perfil 02	0-30	20,03	28,9	16,77	5,43	2,87
	30-75	17,07	25,81	18,12	7,53	3,77
	75-130	17,4	25,65	17,17	6,75	5,33
	130-200	13,72	20,62	15,46	6,06	4,84
	200-250+	11,28	17,05	13,4	6,8	3,77
Perfil 03	0-30	18,93	29,96	15,2	6,32	3,59
	30-75	15,54	31,74	15,03	7,94	3,75
	75-130	22,84	27,64	15,73	3,09	3
	130-200	13,64	17,78	10	5,42	5,16
	200-250+	17,73	26,78	13,99	5,69	3,87

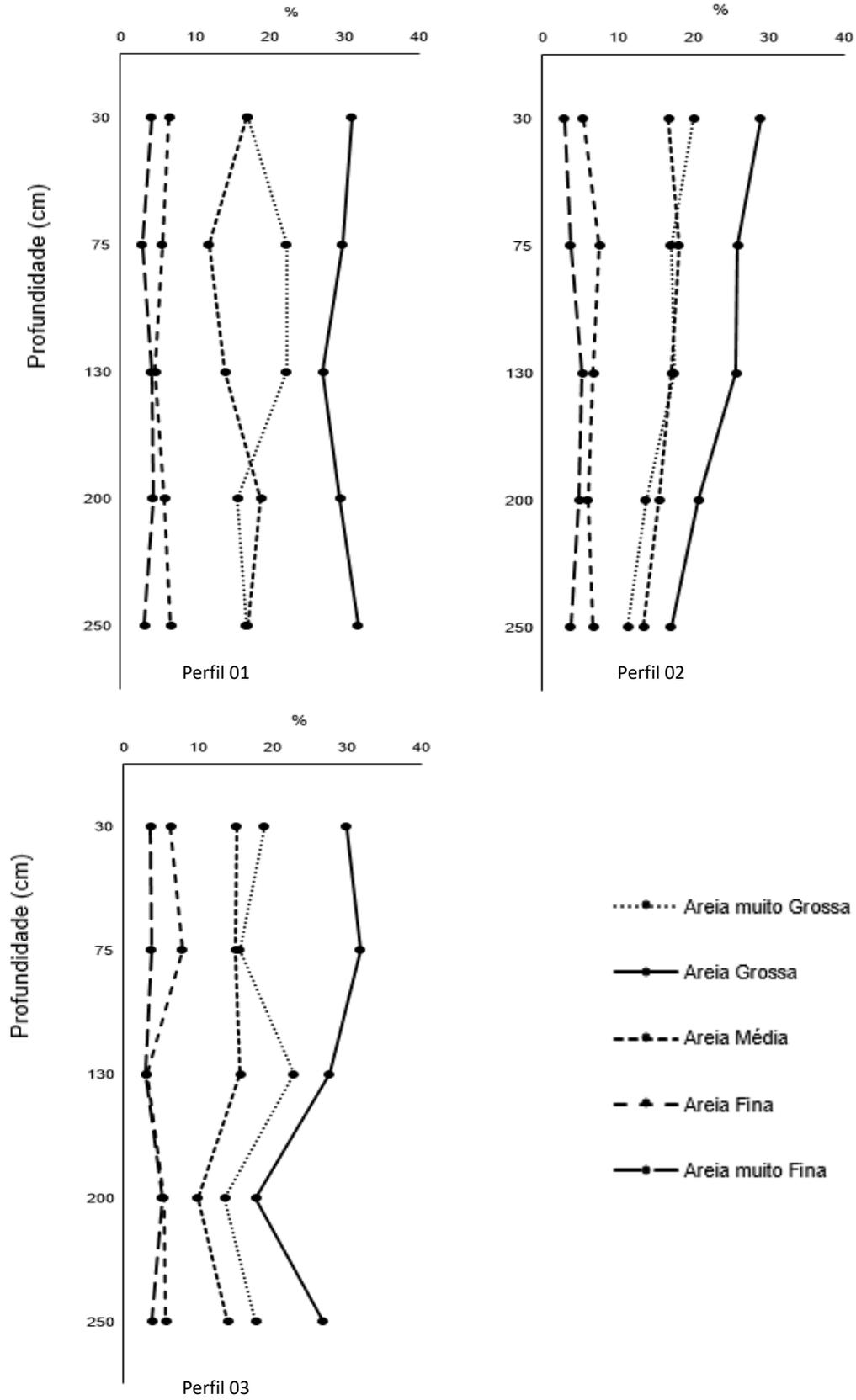


Gráfico 10 – Distribuição da classificação de areia do material retido em porcentagem por profundidade para os 03 perfis analisados.

A quantidade de areia média, areia grossa e areia muito grossa no perfil do solo tiveram seus teores reduzidos com o aumento da profundidade nos locais onde a relação silte/argila é maior, especialmente na profundidade abaixo de 130 cm cuja relação foi superior a 0.6.

Lal (1988) ressalta, que a textura do solo é um fator importante que influencia a erodibilidade por afetar os processos de desagregação e transporte, uma vez que, enquanto grandes partículas de areia resistem ao transporte, solos de textura fina (argilosos) também resistem à desagregação, sendo a areia fina e o silte as texturas mais suscetíveis à desagregação e ao transporte.

A quantidade da fração de areia está também relacionada às limitações na disponibilidade de água segundo Freitas (2013), e, de acordo com Oliveira (2008), em Neossolos Quartzarênicos Órtico disponibilizam menos água quando apresentam elevados teores de areia grossa, embora sejam mais propensos ao selamento superficial.

Tal fenômeno ocorre devido a maior participação da fração mais grosseira do solo que promove a redução da disponibilidade de água para as plantas, em razão da maior frequência de poros de maior diâmetro. Segundo Fidalski et al. (2013), no arenito Caiuá/PR onde os solos apresentaram distribuição de poros com maiores diâmetros, confirmou-se a menor capacidade de retenção de água.

#### 4.3.4.1.3 Estatística descritiva da granulometria

Os valores de areia, silte e argila não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade nas médias dos três perfis analisados indicado pelas letras 'ns', evidenciando assim, que as amostras não diferem acentuadamente dos resultados esperados, confirmando que na região do voçorocamento a granulometria é composta de aproximadamente 70% de areia, 10% de silte, 20% de argila.

O mesmo pode ser aplicado para os valores médios de areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia muito fina e areia fina que não apresentaram diferença significativa em seus teores médios.

O coeficiente de variação para os valores de areia, silte e argila mostrou-se baixo (CV < 10%) indicando a homogeneidade das informações obtida em campo. Assim como, os

baixos valores para desvio padrão é resultado da pequena dispersão dos valores com relação à média aritmética.

As análises descritivas dos dados de granulometria estão apresentadas na tabela 16 e a classificação de areia na tabela 17.

Tabela 16 – Estatística descritiva para granulometria na região do voçorocamento

Parâmetros	Areia	Silte	Argila
	-----%-----		
Média	69.2 <sup>ns</sup>	10.66 <sup>ns</sup>	20.13 <sup>ns</sup>
Soma	1038	159.9	302
Máximo	75.6	23.3	27.7
Mínimo	26.6	5.6	16
Amplitude	26.6	17.7	11.7
Mediana	72.3	8.4	19.3
Moda	72.3	8.2	18.8
Assimetria	-1.73	1.77	1.08
CV (%)	11.94	48.72	18.20
Desvio Padrão	8.1	5.35	3.41
Variância	66.1	28.71	11.69
Curtose	1.90	2.33	0.49

ns - As médias não diferiram estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Tabela 17 – Estatística descritiva para a classificação de areia

Parâmetros	Areia mto Grossa	Areia Grossa	Areia Média	Areia mto Fina	Areia Fina
	-----%-----				
Média	17.60 <sup>ns</sup>	26.66 <sup>ns</sup>	15.27 <sup>ns</sup>	6.16 <sup>ns</sup>	3.94 <sup>ns</sup>
Soma	264.05	400.4	229.15	92.52	59.24
Máximo	23.21	31.75	18.79	7.94	5.33
Mínimo	11.28	17.05	10	3.09	2.87
Amplitude	11.93	14.7	8.79	4.85	2.46
Mediana	17.17	27.64	15.46	6.08	3.77
Moda	23.21	N	N	N	3.77
Assimetria	0.22	-1.09	-0.72	-1.06	0.32
CV (%)	20.17	15.68	15.15	19.22	21.40
Desvio Padrão	2.71	4.54	1.78	1.11	0.76
Variância	11.87	20.69	5.16	1.23	0.58
Curtose	-0.46	0.27	0.46	2.88	-0.86

ns - As médias não diferiram estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Houve distribuições assimétricas negativa para os teores de areia, isso ocorre quando todos os valores de moda são maiores ou iguais a mediana e, esta, maiores ou iguais a média. Os dados de classificação de areia apresentam distribuições assimétricas positivas verificadas pelos valores onde (moda  $\leq$  mediana  $\leq$  média). Exceto, para as classes areia grossa, areia média e areia muito fina que não apresentaram valores para a moda.

O coeficiente de variação para classificação de areia (Tabela 17) apresentou-se entre 15.15% e 21.40 % sendo este os valores para a classe areia média e areia fina respectivamente. Gomes (1976) afirma que, valores de entre 10% e 20% são considerados mediano e valores acima de 20% são heterogêneos. Logo, as classes, areia grossa, areia média e areia muito fina apresentam variação mediana em seus valores e as classes areia grossa e areia fina tem maior heterogeneidade que as citadas anteriormente.

O desvio padrão mostrou-se baixo indicando que os dados tendem a estar próximos da média tanto para frações granulométricas – areia, silte, argila – quanto para a classificação da areia.

#### 4.3.5 Propriedade física do solo

Os valores referentes a densidade de solo, porosidade total e umidade gravimétrica estão expressos no quadro 6 e no gráfico 11.

Quadro 6 – Valores de porosidade total (PT), umidade gravimétrica (UG) e densidade aparente (DS) por perfil em diferentes profundidades

Perfil	Profundidade (cm)	PT		UG		DS ----g/cm <sup>3</sup> ---
		-----%-----				
01	0-35	29.35		36.70		1.25
	35-80	21.81		30.68		1.41
	80-115	19.45		28.61		1.47
	115-150	18.44		27.08		1.47
02	0-35	20.99		29.16		1.39
	35-80	21.11		30.90		1.46
	80-115	20.15		29.91		1.48
	115-150	17.78		27.96		1.57
03	0-35	25.31		34.28		1.35
	35-80	22.64		32.98		1.46
	80-115	25.61		35.52		1.39
	115-150	22.97		32.25		1.40

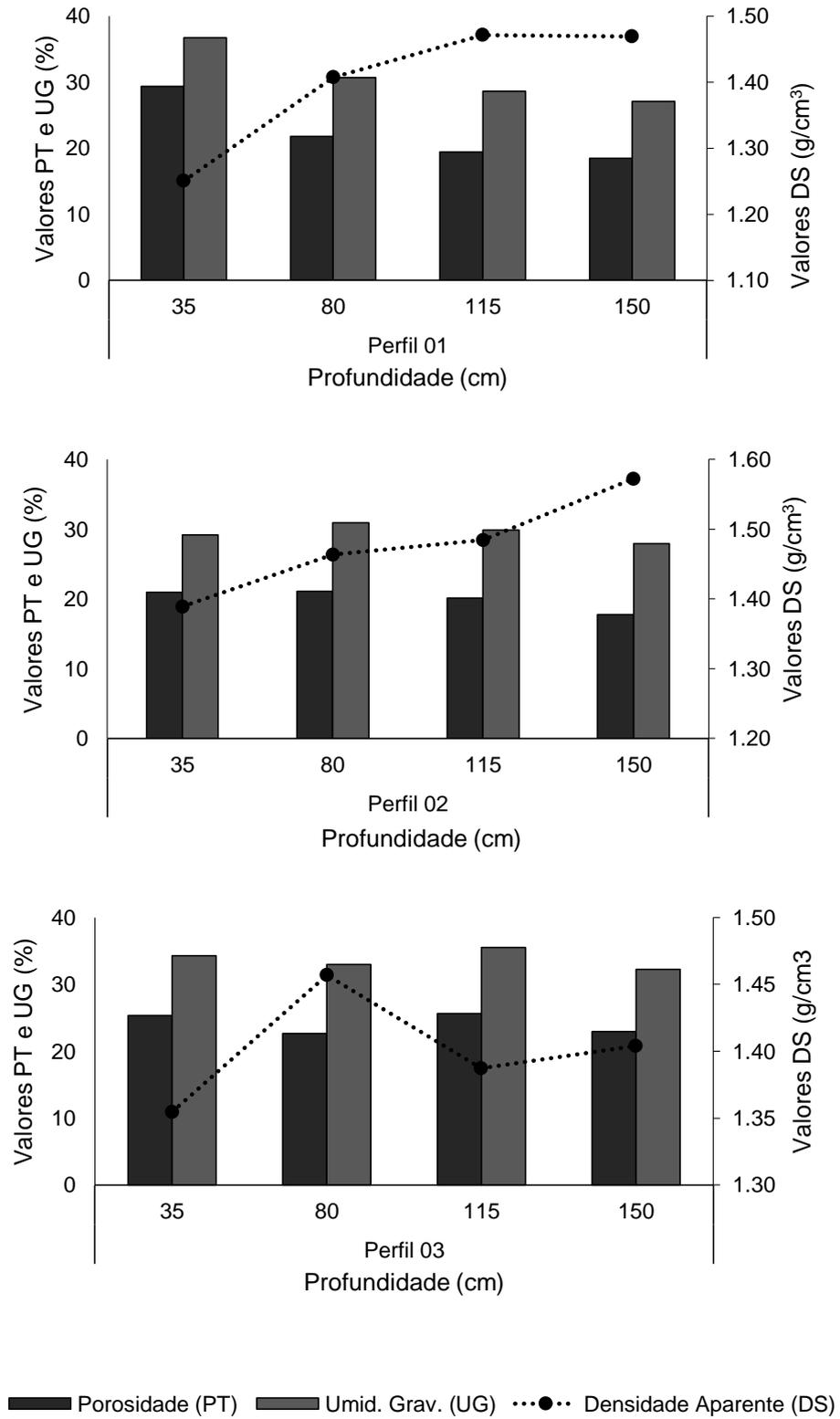


Gráfico 11 – Dispersão dos valores de porosidade total (PT), umidade gravimétrica (UG) e densidade aparente (DS) por perfil analisado em diferentes profundidades.

#### 4.3.5.1 Densidade de solo

A densidade de solo apresentou valores entre 1.25 g/cm<sup>3</sup> a 1.57 g/cm<sup>3</sup>. A média de densidade de solo na região do voçorocamento foi 1.42g/cm<sup>3</sup>, enquanto que a média por perfil foi 1.40 g/cm<sup>3</sup>, 1.47 g/cm<sup>3</sup> e 1.41 g/cm<sup>3</sup> para o perfil 01, 02 e 03 respectivamente.

Os primeiros 30 centímetros apresentaram os menores valores de DS. O perfil 01 e 02 manteve a tendência de aumento de densidade de solo com o aumento da profundidade. Enquanto que o perfil 03 apresentou o maior valor de DS entre 0.35 e 0.80 metros (1.46 g/cm<sup>3</sup>) decrescendo em seguida.

Os resultados encontrados estão consonantes ao apresentando por Pessoa-de-Souza et al. (2015), cujos valores que variaram de 1.35 a 1.54 g/cm<sup>3</sup> ao caracterizar o comportamento de Neossolo Quartzarênico Órtico em vertente ocupada com pastagem na região sudoeste de Goiás. Assim como, por Scherer et al. (2013), cujos valores variaram entre 1.36 g/cm<sup>3</sup> e 1.54 g/cm<sup>3</sup> em áreas sob condições de voçorocamento na região Sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul sob Neossolo Quartzarênico.

Densidade com valor entre 1.27 e 1.57 g/cm<sup>3</sup> é restritiva ao crescimento radicular e a infiltração de água no solo (ALVARENGA ET al. 1996; CORSINI; FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de 1.40 g/cm<sup>3</sup> é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (ARSHAD et al. 1996).

Os altos valores de DS são responsáveis por promover a resistência à penetração no solo e a diminuição do volume dos macroporos que tem grande influência no crescimento radicular (HOFFMANN; JUNGK, 1995) e são limitantes no desenvolvimento das plantas forrageiras (FONSECA, 2009) e tornam o solo mais erodíveis porque sela os poros quando estes ficam descobertos.

Magalhães ET al. (2001) afirma ainda, que a tendência no aumento da DS pode ser creditada ao tempo de pastejo e à degradação da própria pastagem, assim como, Müller ET al. (2004), estudando a relação entre degradação de pastagens e algumas propriedades do solo em áreas na Amazônia brasileira comprovaram a influência da compactação da camada superficial do solo estimada pela densidade do solo com o declínio na produção de pastagens.

O mesmo foi observado por Moreira, et al. (2005), onde a degradação culminou no aumento da densidade do solo e da sua resistência à penetração, bem como na redução da sua porosidade total, além de afetar substancialmente o desenvolvimento do sistema radicular da pastagem ao avaliar duas áreas de pastagens de *B. brizantha*.

#### 4.3.5.2 Porosidade total

Os valores de porosidade total ficaram entre 17.78% e 29.35% para os valores mínimos e máximos respectivamente. A média de PT no voçorocamento foi de 22.13% e a média por perfil foi 22.26% para o perfil 01, de 20% para o perfil 02 e 24.13% para o perfil 03.

A PT possui relação inversamente proporcional com os valores de DS, ou seja, quanto menor a densidade maior será a porosidade do solo, conforme se observa no quadro 5 e, conseqüentemente, há uma tendência de redução da PT com o aumento da profundidade.

Souza ET. Al. (2005), sob Neossolo Quartzarênico, obteve valores entre 34 e 42% de PT. Costa et al. (2009), para o mesmo solo obteve valores próximos a 35% na região do Vale do São Francisco, Petrolina – PE, assim como, Custódio Filho (2011), com aproximadamente 43% em Baliza – GO.

Os baixos valores de PT estão diretamente relacionados a compactação dos solos. A redução da PT ocorre por que durante a compressão do solo, no processo de compactação, o rearranjo das partículas faz com que o volume dos macroporos seja reduzido, o que implica na redução da porosidade total pela redução da macroporosidade (TARAWALLY et al. 2004; TORMENA et al. 2004).

Normalmente as determinações de densidade e de porosidade do solo são as avaliações mais comuns e difundidas para identificar camadas compactadas no solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; HAKANSSON; LIPIEC, 2000), pois entre as conseqüências imediata da mudança na estrutura física do solo está o arraste de partículas quando submetidos a altas intensidades pluviométricas.

Pena et al. (1996) afirmam também, que qualquer alteração na estrutura original do solo, seja pelo manejo incorreto durante o uso agrícola, pisoteio de animais, ou por qualquer outra força externa, irá provocar diminuição do espaço poroso. Essa redução do volume total de poros está associada à redução da macroporosidade

#### 4.3.5.3 Umidade gravimétrica

Os teores de umidade gravimétrica variaram de 27,08 % a 36,70%. O valor médio para o voçorocamento foi de 31.33%.

#### 4.3.5.4 Análise da estatística descritiva

A estatística descritiva para os valores de densidade de solo, porosidade total e umidade gravimétrica encontra-se descrita na tabela 18.

Tabela 18 – Estatística descritiva para as propriedades densidade aparente (DS), porosidade total (PT) e umidade gravimétrica (UG)

<b>Parâmetros</b>	<b>Densidade Aparente</b>	<b>Porosidade</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>
Teste de média	ns	ns	ns
Média	1.43	22.13	31.34
Erro padrão	0.02	0.96	0.88
Mediana	1.43	21.46	30.79
Desvio padrão	0.08	3.32	3.06
Variância da amostra	0.01	11.04	9.35
Amplitude total	0.32	11.56	9.62
Curtose	1.54	0.59	-0.87
Assimetria	-0.48	0.86	0.41
Intervalo	0.32	11.57	9.62
Mínimo	1.25	17.78	27.08
Máximo	1.57	29.35	36.70
Soma	17.11	265.60	376.03
CV (%)	5,49	14,07	8,48

<sup>ns</sup> – Os valores não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados indicaram que as amostras não foram significativas a 5% de probabilidade sob o teste de Tukey. Resultado previsto devido à pequena distância entre os locais amostrados, indicando a existência de padrões que podem ser atribuídos aos demais pontos na incisão.

Os valores de densidade aparente, porosidade total e umidade gravimétrica estão próximos, mostrando distribuição simétrica, o que pode ser confirmado pelos valores de assimetria próximos a zero, assim como, pelas pequenas variações de média e mediana.

De acordo com Mesquita et al. (2003), distribuição simétrica é um indicativo de que os valores se encontram distribuídos simetricamente ao redor da média e da mediana e que estas medidas podem ser consideradas como valores típicos do conjunto de observações.

Os valores de coeficiente de variação (CV) apresentaram baixa variação ( $CV < 10\%$ ) para os indicadores de densidade aparente e umidade gravimétrica indicando que estes atributos são homogêneos. Contudo, o valor da porosidade total apresentou ( $10\% < CV <$

20%) considerado mediano por Gomes (1976) evidenciando maior heterogeneidade desse parâmetro físico.

A amplitude total apresentou-se elevada para os valores de porosidade total e umidade gravimétrica demonstrando que existe uma variação relativamente maior entre os valores observados, o que poderá influenciar na simetria dos mesmos em torno das medidas de tendência central.

Para ambas variáveis citadas, o desvio padrão foi maior comparativamente ao seu valor médio, indicando que existe uma maior variabilidade entre os dados observados. O baixo valor de desvio padrão para o parâmetro densidade aparente (0.08), reflexo da pequena dispersão dos valores com relação à média.

#### 4.3.6 Resistência a penetração

Os valores de resistência a penetração foram obtidos em 15 pontos distribuídos por todo o voçorocamento, sendo 09 (nove) pontos em torno da borda da incisão com distância de 50 cm desta e os demais 06 (seis) pontos ficaram distantes entre si 02 metros na região próxima à cabeceira do voçorocamento (Foto 7). A distribuição dos pontos pode ser visualizada na figura 17.

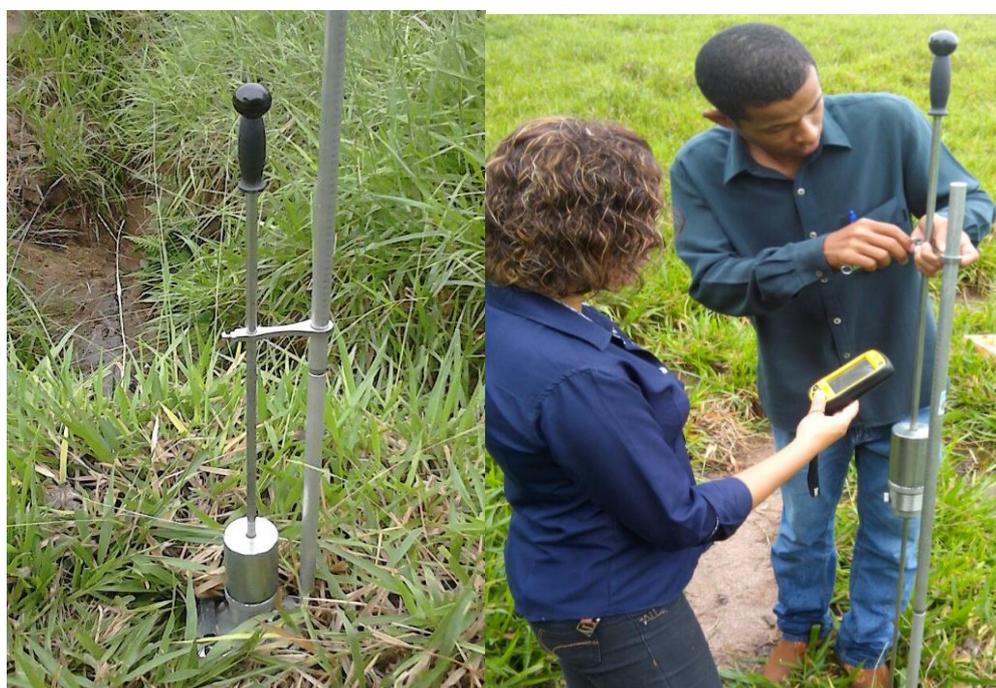


Foto 7 – Coleta de dados sobre compactação com uso do penetrômetro.

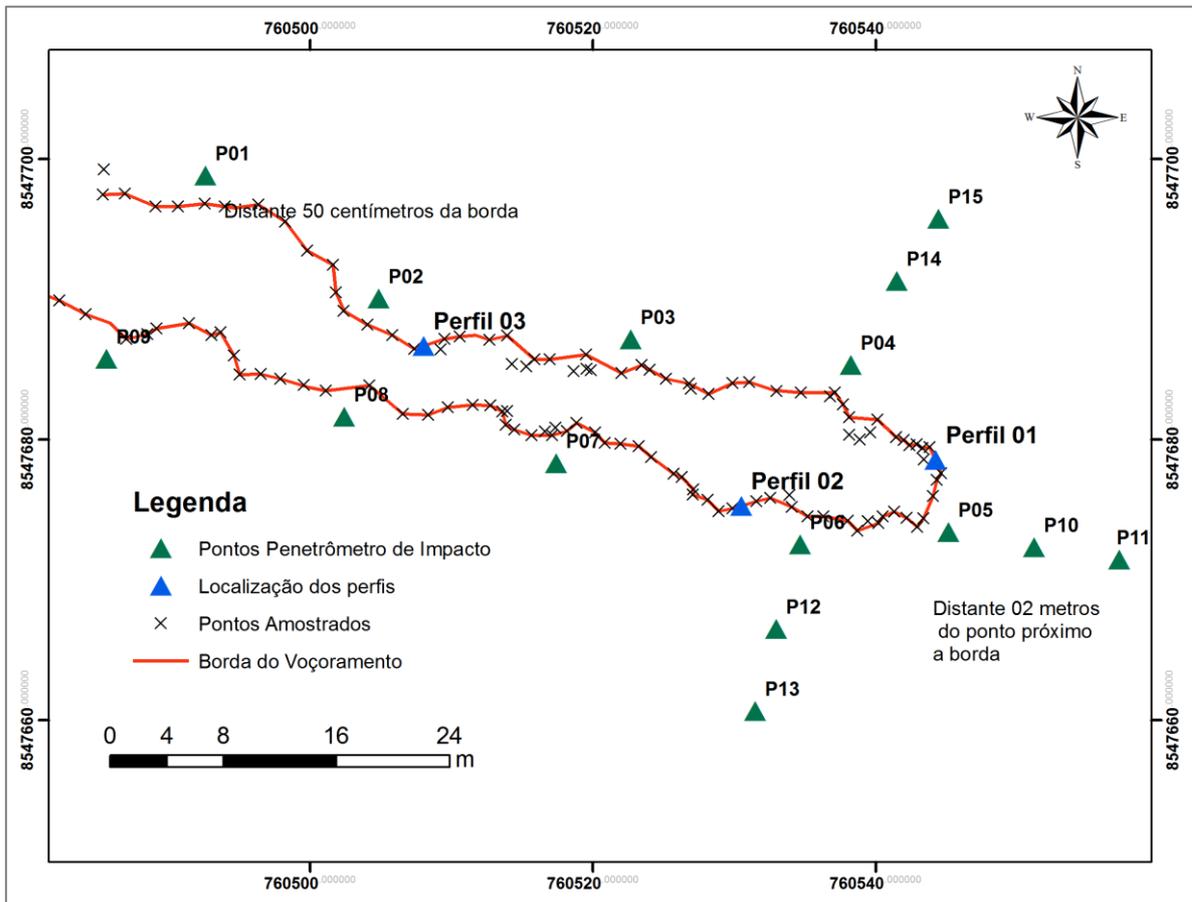


Figura 16 – Mapa de localização dos perfis e dos pontos de coletas de dados com o penetrômetro de impacto.

Os resultados de RP estão descritos nos gráficos 12, 13, 14 e 15. O gráfico 12 traz os valores amostrados na borda do voçorocamento; o gráfico 13 os valores para a região cabeceira distante 02 metros entre si a partir do ponto próximo a borda; e os gráficos 14 e 15 trazem a RP na lateral esquerda e direita respectivamente também distante entre si 02 m.

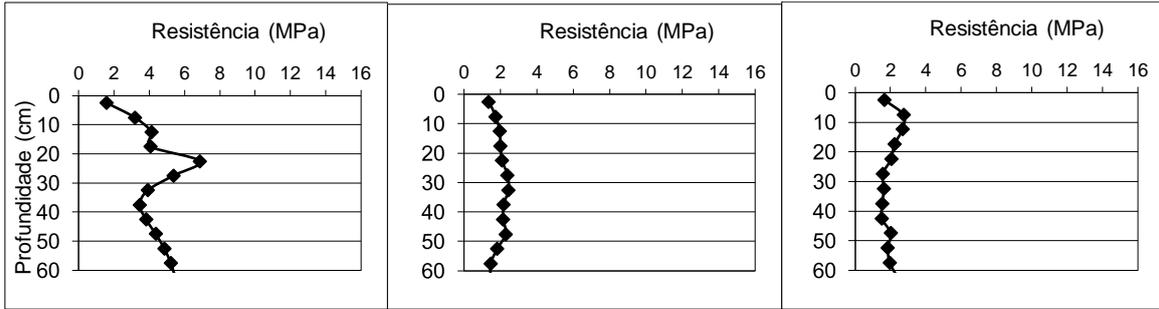
Os valores de resistência à penetração mantiveram-se altos em todos os perfis analisados com exceção do perfil 02 que apresentou média inferior a 2 MPa. Os menores valores de RP foram verificados na lateral de direita do voçorocamento que corresponde aos perfis 01, 02, 03 e 04. Com destaque para o perfil 02 com 1.94 MPa e o perfil 03 com 2.04 MPa. Na cabeceira da incisão (perfil 05) a média de RP foi de 5.68 MPa. O detalhamento encontra-se no quadro 7.

Alguns perfis próximos à borda do voçorocamento apresentaram aumento brusco de RP em profundidades que podem estar relacionada a presença de material pedregoso que exigiu do penetrômetro maior número de impacto por estrato analisado uma vez que a região ainda é composta por material ainda em processo de intemperização.

Quadro 7 – Distribuição da resistência a penetração por perfil estratificado a cada 5 centímetros

Prof. em Camadas	Prof. Média	Resistência															Média <sup>ns</sup>
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
cm	Cm	MPa															
0-5	2.50	1.58	1.37	1.66	1.90	3.93	2.96	1.78	1.97	3.51	3.36	3.93	4.23	2.91	1.90	1.51	2.57
5-10	7.50	3.17	1.75	2.74	2.92	4.46	6.98	3.98	2.42	4.42	6.06	6.46	8.61	8.23	4.73	3.86	4.72
10-15	12.50	4.11	1.97	2.68	2.50	4.17	5.88	3.52	2.30	5.22	8.63	7.54	8.55	8.85	5.48	5.28	5.11
15-20	17.50	4.06	2.01	2.22	1.92	4.06	4.53	2.29	2.12	5.43	8.37	8.19	9.78	10.04	5.91	4.65	5.04
20-25	22.50	6.87	2.10	2.03	1.91	3.72	3.97	2.94	2.22	4.30	8.64	8.34	10.06	10.04	4.94	5.04	5.14
25-30	27.50	5.35	2.40	1.56	1.79	3.96	4.49	2.59	2.96	4.04	8.26	7.22	9.32	8.59	3.86	4.15	4.70
30-35	32.50	3.91	2.46	1.63	2.32	6.35	5.90	2.53	2.55	3.85	6.94	5.30	9.86	6.06	3.23	2.49	4.36
35-40	37.50	3.45	2.17	1.53	2.42	10.05	5.59	2.64	2.45	2.40	4.59	3.35	11.58	4.89	2.75	1.96	4.12
40-45	42.50	3.81	2.16	1.51	2.39	7.75	4.01	3.00	2.42	2.01	3.53	3.23	13.56	4.39	2.41	2.67	3.92
45-50	47.50	4.35	2.30	2.02	3.42	7.10	3.29	4.69	2.93	3.10	4.90	4.09	11.91	5.00	2.25	3.61	4.33
50-55	52.50	4.84	1.83	1.84	3.52	6.63	3.75	5.44	2.61	2.92	6.26	4.91	10.66	3.32	2.03	4.01	4.30
55-60	57.50	5.22	1.48	1.97	4.01	6.01	2.46	6.32	2.88	2.90	6.40	4.62	13.09	3.51	2.63	4.54	4.53
60-65	62.50	5.56	1.48	2.40	6.19	5.96	2.68	7.10	4.66	3.43	6.99	4.92	16.97	5.39	4.61	4.46	5.52
65-70	67.50	6.67	1.65	2.71	9.19	5.34	5.08	7.26	6.41	5.80	10.34	4.63	17.10	7.94	6.58	3.71	6.69
Média		4.50c	1.94d	2.04d	3.32c	5.68b	4.40c	4.01c	2.92d	3.81c	6.66b	5.48b	11.09a	6.37b	3.81c	3.71c	

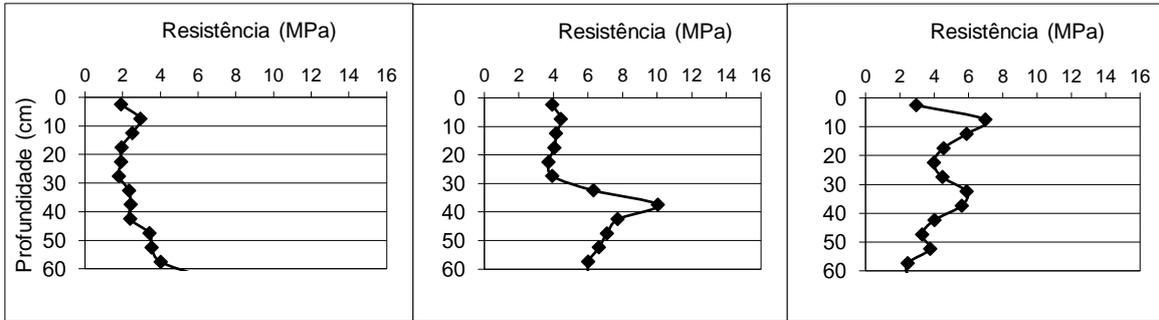
As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. \* - ns não significativo ( $p \geq .05$ ). Foi aplicado o Teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade



Perfil 01

Perfil 02

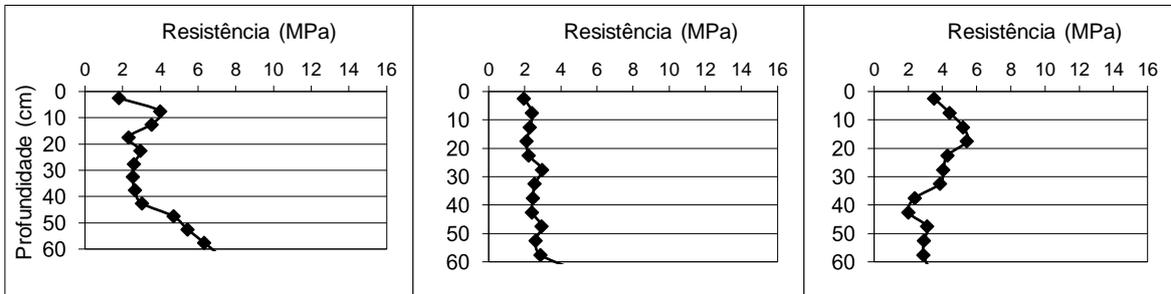
Perfil 03



Perfil 04

Perfil 05

Perfil 06

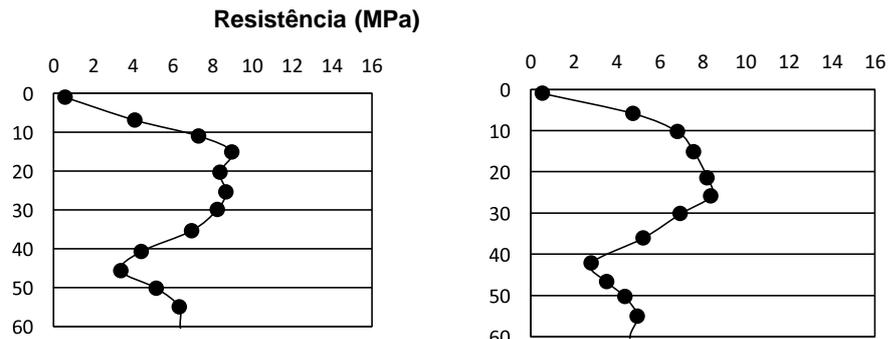


Perfil 07

Perfil 08

Perfil 09

Gráfico 12 – Distribuição da resistência a penetração por perfil avaliado em espessura constante ao longo da borda da incisão erosiva.



Perfil 10

Perfil 11

Gráfico 13 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da cabeceira distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão.

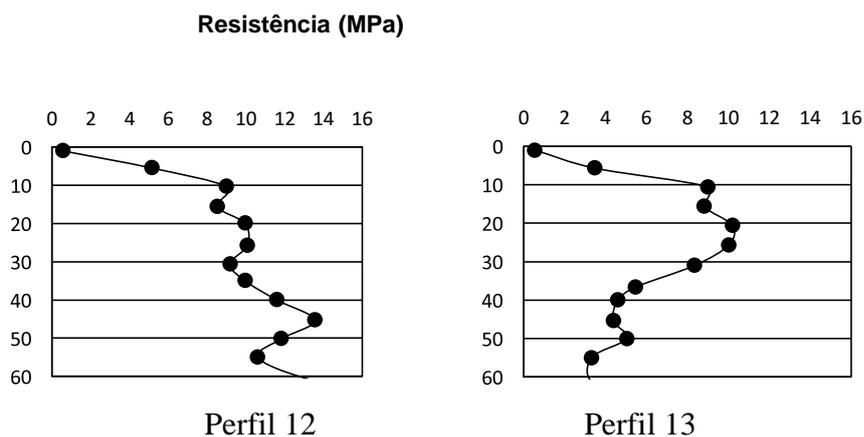


Gráfico 14 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da lateral esquerda distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão.

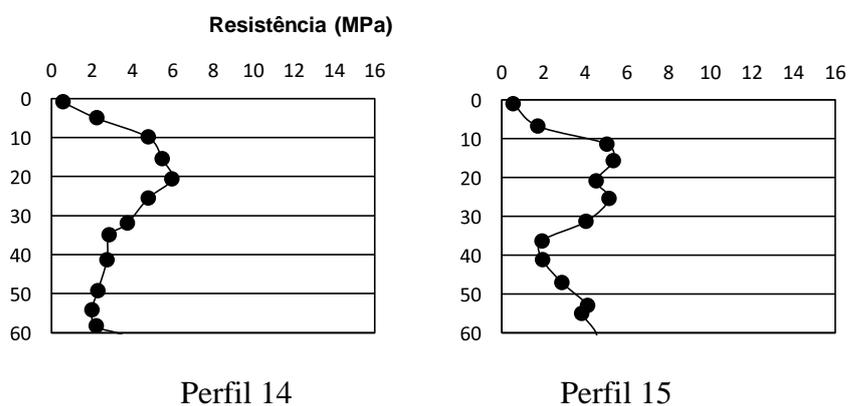


Gráfico 15 – Resistência à penetração na vertente em linha reta a partir da lateral direita distante dois metros entre si a partir do perfil na borda da incisão.

Os maiores acréscimos de RP ocorreram no perfil 01 entre 20 – 25 cm cujo valor passou de 4.06 para 6.87Mpa, no perfil 05 (cabeceira) ocorreu entre 30 – 40 cm de profundidade que passou de 6.35 no extrato anterior para 10.05 MPa e no perfil 06 e 07 nas profundidades 0 – 10 cm cujas RP passaram de 2.96 e 1.78 para 6.98 e 3.98 Mpa respectivamente.

Alguns perfis apresentaram reduções acentuadas no valor de RP em determinados estratos como no perfil 01 entre 20 – 40 cm, o perfil 05 abaixo de 40 cm e o perfil 06 entre 10 – 20 cm com ligeiro acréscimo de RP até 30 cm e voltando a apresentar queda novamente e o perfil 09 abaixo de 20 cm que podem estar relacionadas à presença de macrofauna que promovem mudanças morfológicas devido as atividades biogênicas citada anteriormente.

A vertente próxima a cabeceira apresentou aumento considerável de RP nos primeiros 10 cm com valores próximos a 6 MPa representando acréscimo de 44% em relação ao perfil

05. Os altos valores mantiveram-se praticamente constante até a profundidade de 30 cm e passou a apresentar redução progressiva até 50 cm.

A RP na vertente esquerda apresentou nas profundidades iniciais valores acima de 8 MPa, atingindo médias próximas a 10 MPa entre 15 – 25 cm. Contudo, a partir de 35 cm os perfis começaram a apresentar distinção nos valores RP, no qual o perfil 12 manteve valores superiores a 10 MPa em todos os extratos analisados, enquanto que, o perfil 13 os valores mantiveram-se próximos a 4 MPa.

Na lateral direita a RP foi menor em relação às duas vertentes estudadas anteriormente, porém os valores médios foram superiores a 4 MPa nos primeiros 10 cm, sendo assim, são considerados muito altos. Ambos perfis apresentaram médias elevadas de RP entre 10 – 30 cm. O perfil 15 difere do perfil 14 por haver acréscimo de RP nas profundidades abaixo de 40 cm.

A média geral de RP no voçorocamento está apresentando no gráfico 16.

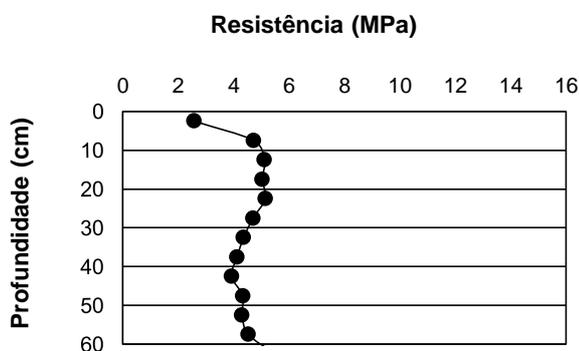


Gráfico 16 – Média geral da resistência à penetração

A RP média no local apresentou valores próximos ou superiores a 4 MPa em praticamente todos os extratos analisados, a exceção foi no extrato de 0 – 5 cm de profundidade que apresentou resistência de 2.57 MPa, apesar de apresentar valores médios elevados, estes se mantiveram sem apresentar variações abruptas como aquelas observadas no detalhamento por perfil.

Os altos valores apresentados de resistência no voçorocamento podem estar associados à presença de animais de grande porte para a produção de leiteiro e de corte, considerando para isso o tempo de formação de pastagem de 30 anos com nenhuma prática de manejo ou condução, pois de acordo com Leão et al. (2004), a compactação exercida pela presença de animais na área é influenciada pela textura e umidade do solo, sistema de pastejo e altura de manejo da pastagem.

Nesse sentido, Pessoa-de-Souza et al. (2015), ao verificar a resistência em Neossolo Quartzarênico Órtico encontrou valores entre 1.00 e 1.50 MPa nas camadas iniciais, sendo que os menores valores de RP (0.99 MPa) foram atribuídos ao maior teor de umidade e à ausência de pisoteio constante de animais e Freitas et al. (2012), em estudo de RP em Neossolos Quartzarênicos também encontraram valores de RP menores que 2.0 MP e constataram que os valores maiores ocorreram em áreas sob pastagem, resultado de uma carga animal diária recebida.

Quanto a intensidade dos valores de RP não há um consenso entre os autores. Souza et al. (2005), verificou a que RP em Neossolo Quartzarênico sob diferentes manejos apresentaram a resistência inferior a 1.5 MPa e a classificou como moderada. Autores como Arshad et al. (1996), atribuem que valores entre 2 e 4 MPa como restritiva ao crescimento radicular. Já Souza; Alves (2003) sugerem como restritivos valores superiores a 5 MPa em plantio direto e Tormena; Roloff (1996) valores em torno de 2 MPa.

Os altos valores de RP afetam também a taxa de infiltração do solo indicando ser a região mais propensa ao escoamento superficial devido ao deslocamento de um grande volume de água e, conseqüentemente, maior transporte de carga de sedimentos nas encostas desencadeando de processos erosivos do tipo laminar.

Gomes; Peña (1996) afirmam ainda, que a RP é influenciada pela textura, conteúdo de água, densidade do solo e tipo de mineral de argila no solo. Nesse sentido, Rosolem et al. (1999) e Beutler et al. (2002), encontraram altas correlações entre a resistência à penetração e a densidade do solo.

A estatística descritiva dos valores de RP está apresentada no gráfico 17.

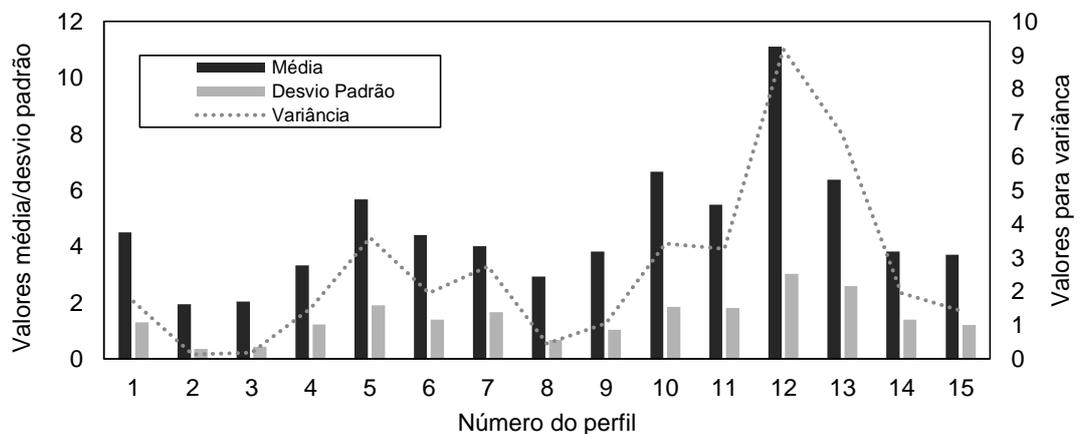


Gráfico 17– Estatística descritiva dos valores de resistência à penetração por perfil

### 4.3.7 Análise da compactação do solo

Os parâmetros como densidade de solo, porosidade total e umidade gravimétrica em associação com os valores de resistência à penetração apontaram que altos índices de compactação do solo no local.

De uma maneira geral, os dados obtidos para os parâmetros supracitados corroboram com Dias Junior; Pierce (1996) ao afirmarem, que a compactação aumenta a densidade aparente do solo e ao se compactar ocorre a diminuição dos macroporos responsáveis pela armazenagem e percolação de água na massa do solo e a diminuição de sua porosidade total.

Assim como, com Silva Filho (2009), onde o processo da compactação refere-se a compressão do solo não saturado, durante a qual existe um aumento de sua densidade em consequência da redução de seu volume e, consonante também, com o apresentado por Moniz (1972), que a porosidade total do solo pode atingir de 40 a 60% em relação ao seu volume, podendo chegar a valores maiores ou menores, dependendo da natureza e do arranjo de suas partículas.

Sousa et al. (1998) verificou ainda, que pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo é 106.5% maior que aquela exercida pelo trator. Schneider et al. (1978), constataram que um bovino com peso entre 70 a 500 kg exerce uma pressão de compactação de 0.07 a 0.21 MPa, enquanto que um trator de esteira exerce somente 0.01 a 0.02 MPa de pressão.

## 4.4 Correlação e regressão linear

O primeiro estágio para verificação da associação linear entre as variáveis intensidade pluviométrica acumulada (mm) e o volume de solo perdido ou o comprimento do perímetro no voçorocamento foi a elaboração do gráfico de dispersão a fim de obter alguma ideia da forma e grau de associação entre essas variáveis.

Em seguida foi aplicada a determinação do coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) que mede o grau da correlação e a direção dessa correlação – positiva ou negativa -. A associação entre chuva acumulada e volume de solo erodido apresentou correlação de -0.84, indicando, uma direção negativa entre a intensidade de chuva e o volume de solo erodido no

voçorocamento. Enquanto que, a associação entre chuva acumulada aumento do tamanho perímetro o coeficiente foi de 0.98 – correlação positiva -.

Estatisticamente, o valor do coeficiente é um indicador da intensidade de associação entre as variáveis. Valores entre -0.70 e -0.89, indica a existência de uma correlação negativa forte e valores entre 0.89 e 1.00 correlação positiva muito forte entre o acumulado de chuva e as outras variáveis, porém, as interpretações dependem de cada contexto em particular.

As equações de regressão expressa no gráfico 18 descreve a relação entre as variáveis intensidade pluviométrica acumulada (x) e o volume de solo perdido (y) equação 1 e intensidade pluviométrica e evolução do comprimento do perímetro equação 2.

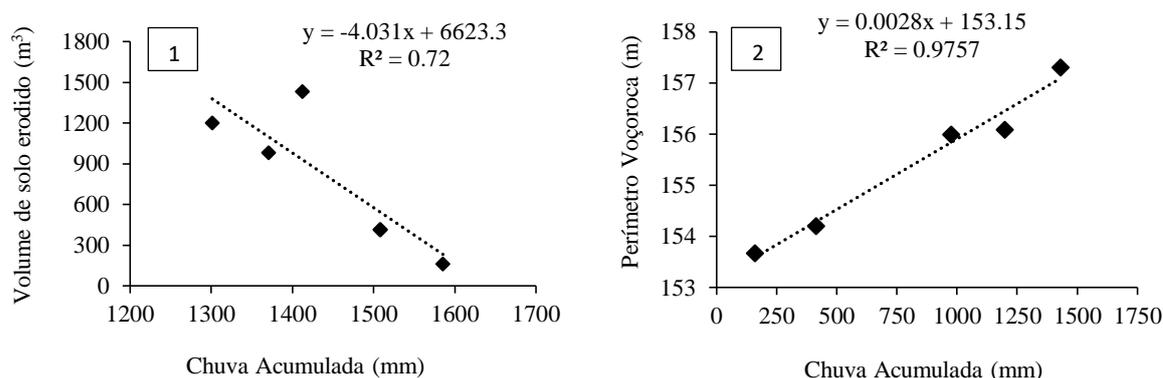


Gráfico 18 – Equação de regressão linear

O  $r^2$  é uma medida descritiva da qualidade do ajuste obtido, em geral refere-se à quantidade de variabilidade nos dados que é explicada pelo modelo de regressão ajustado e quanto mais próximo de 1 for o coeficiente de determinação, tanto maior será a validade da regressão.

O coeficiente de determinação obtido na equação 1 (Gráfico 18) foi 72%, isso quer dizer o percentual de variância explicada pelo modelo e que 28% do material erodido não pode ser explicado ou descrito pela intensidade pluviométrica, fica, portanto, claro que existem outros fatores atuando que poderiam ser importantes, como por exemplo, o tipo de solo, a cobertura vegetal, relevo, as propriedades físicas do solo, entre outras.

Enquanto que, o coeficiente de determinação da equação 2 (Gráfico 18), foi de 97%, aponta que somente 3% do avanço no comprimento do perímetro não podem ser explicados pelo acúmulo de chuva na região, inferindo que, quanto maior a precipitação em um determinado período de tempo maior será a evolução no tamanho da borda do voçorocamento.

Porém, apesar da correlação forte entre as variáveis e o coeficiente de determinação significativo, o modelo de regressão proposto (Gráfico 18) requer que maiores informações sobre o comportamento do solo no voçorocamento sejam obtidos para melhor explicar a fenômeno principalmente a relação entre chuva acumulado e volume de solo erodido, uma vez que o voçorocamento também recebe sedimentos oriundos das vertentes próximas.

#### 4.5 Análise integrada do processo de voçorocamento

O estudo integrado dos elementos que compõem o meio físico é essencial para a determinação das expectativas de expansão da erosão. O entendimento do mecanismo de desencadeamento e evolução dos processos erosivos não é simples, envolve o conhecimento de muitas variáveis e exige uma visão sistêmica do fenômeno (AVILA et al. 2009).

Nesse sentido, a análise teve como objetivo estabelecer a relação entre as condições de evolução do voçorocamento e as características do meio físico como declividade, forma da vertente, cobertura do solo, pedologia, geomorfologia e dados climatológicos.

Em um contexto mais amplo podemos verificar que as formas geométricas do voçorocamento como largura, comprimento e profundidade estão diretamente associados à gênese, fatores naturais e fatores antrópicos que sob ação da chuva intensificam o processo erosivo.

A gênese tem como condicionantes os aspectos geológicos e geomorfológicos; os fatores naturais são principalmente relevo, tipo de solo, cobertura vegetal; e os fatores antrópicos pelo pisoteio do gado e formação de cicatrizes nas encostas tipo degraus que atua acelerando o processo e provocando a ruptura no equilíbrio natural existente.

##### 4.5.1 Descrição geral

O resumo da caracterização do ambiente físico da área de ocorrência de voçoroca está descrito na tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização do ambiente físico da área de ocorrência de voçorocamento

Parâmetros	Característica
Coordenadas geográficas	60°35'48,73" W / 13°07'34,21 S
Coordenadas planas - UTM	760535,4 E / 8547670,12 S
Declividade local (%)	8 – 20 %
Cobertura do solo	Pastagens ( <i>Braquiária brizantha</i> )
Tipo de solo	Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico
Forma da vertente	Levemente convexada
Geologia	Suíte intrusiva do Alto Escondido
Altitude (m)	424
Clima	Aw - Clima Tropical Chuvoso

#### 4.5.1.1 Aspectos geológicos

A geologia na região do voçorocamento está classificada como Suíte Intrusiva do Alto Escondido. Em uma escala de tempo geológica, a mesma pertence ao éon Proterozóico que está compreendido entre 2,5 bilhões e 542 milhões de anos (CPRM, 2016), abrangendo quase metade do tempo de existência da Terra.

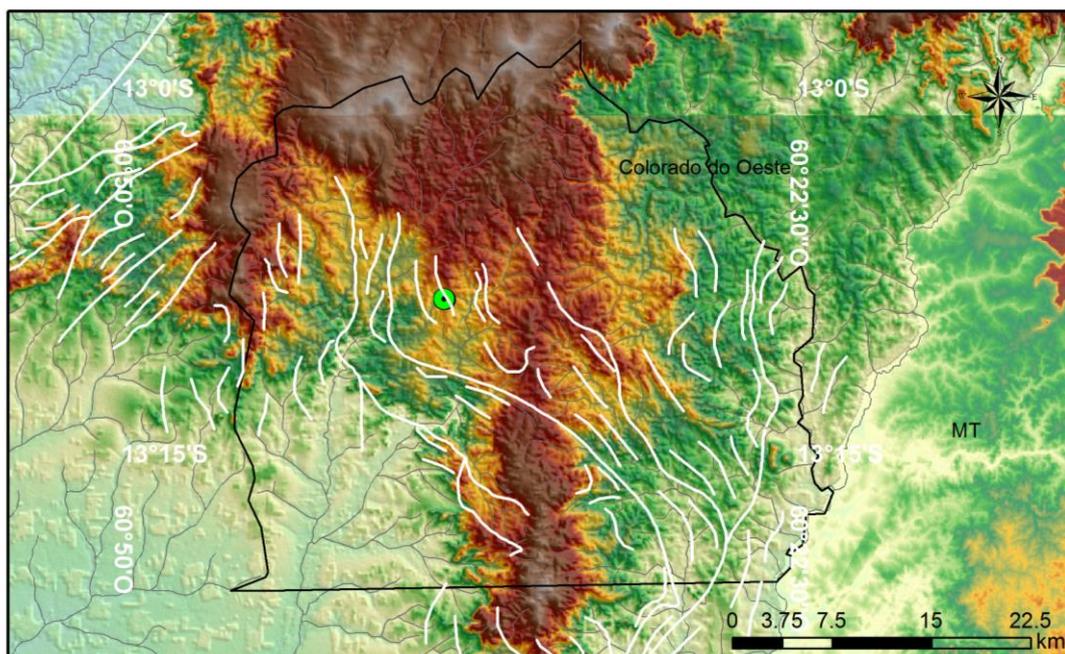
Ainda de acordo com a CPRM (2010), esses terrenos são compostos de rochas graníticas e exibem, frequentemente, blocos e matacões soltos em meio ao solo (Foto 08), e, se encontra sob lineamentos estruturais: traços de superfície S (Mapa 12).



Foto 9 – Litologia da parede na incisão erosiva  
Fonte: Autora (2015)

Foto 8 – Matacões graníticos da suíte intrusiva Alto Escondido próximo a incisão





Mapa 12 – Disposição dos lineamentos estruturais.  
Fonte: CPRM

A profundidade do substrato rochoso costuma ser irregular e até mesmo em solos profundos e evoluídos é possível haver blocos e matacões de rocha fresca, os quais dificultam as escavações e perfurações e favorecem as movimentações em taludes de corte (Foto 09) e, solos rasos, principalmente em relevos mais pronunciados, favorecem a pedregosidade e a rochosaidade.

Os granitos desta unidade têm ampla distribuição como intrusões no domínio das rochas cristalinas do embasamento, onde afloram como matacões e sustentam os principais morros da região. São granitos homogêneos, leucocráticos, isotrópicos ou com incipiente foliação magmática, finos, acinzentados, esbranquiçados ou levemente rosados e comumente apresentam disseminações de agregados de biotita e granada, bem como fenocristais quadráticos, centimétricos de K-feldspato (CPRM, 2007).

Os lineamentos refletem os elementos da estrutura geológica, como direções de camadas, de xistosidade, de falha, de cinturão de cisalhamento, de sistema de fraturas. Soares et al. (1982) e Morinaga (2014) afirmam, que estes produziram o controle no relevo e na superfície através do fraturamento das rochas, por concentração da movimentação de águas meteóricas, aumentando a umidade das coberturas superficiais e aumentando o intemperismo e erosão diferencial, produzindo o aparecimento de nascentes.

Ainda segundo o autor, as informações de deformação rúptil podem ser utilizadas para a análise de suscetibilidade à erosão, partindo-se do pressuposto de que os espaços entre

blocos são áreas de percolação de água, aumentando o intemperismo e resultando em maior taxa de erosão.

#### 4.5.1.2 Aspectos geomorfológicos

No âmbito da geomorfologia, a manifestação dos processos erosivos e a definição de suscetibilidade natural à erosão são resgatadas do conhecimento da dinâmica superficial da paisagem e deverão ser entendidos no contexto da organização, caracterização e evolução do relevo (IKEMATSU et al. 2006).

A unidade geomorfológica no voçorocamento é do tipo Superfícies Tabulares, em rochas vulcosedimentares, que se caracterizam por serem constituídas por colinas amplas e colinas médias com topos aplanados ou levemente convexizados sob altitude média de 420 m de altitude. Conforme se observa nas fotos 10, 11 e 12.

Os relevos tabuliformes são vinculados às camadas sedimentares horizontais ou sub-horizontais. A sequência de eventos para a construção de relevos tabuliformes foi descrito por Casseti (1994) e estão associados: a organização do sistema hidrográfico devido ao clima mais úmido e a orientação do sistema fluvial associada à orientação topográfica ligada ao processo de pediplanação; aos esforços epirogenéticos e/ou tectônicos influenciam a drenagem a entalhar o talvegue, implicando na elaboração dos vales pela possibilidade de alternâncias litológicas; e a alternância de clima úmido para clima seco, que leva ao processo de denudação do modelado, ou seja, recuo paralelo das vertentes por desagregação mecânica.

As superfícies convexas atuam como auxiliadora nos processos de ampliação dos processos erosivos, pois as características de declividade e comprimento de rampa determinam a concentração das linhas de fluxos das águas onde o escoamento é concentrado e vai resultar em incisões no terreno.

De acordo com Robaina et al. (1995), as vertentes naturais são, em geral, os pontos de lançamento final das águas pluviais, aumentando consideravelmente a vazão. Esse fato, quando associado a períodos chuvosos e, por conseguinte flutuação no nível freático, confere ao processo erosivo uma dinâmica acelerada.

Carrijo; Bacarro (2000) afirma ainda, que as vertentes convexas são caracterizadas por uma área de concentração de águas pluviais. Nessas áreas, devido à declividade mais acentuada, começam a surgir mais ravinas e voçorocas. Como essas vertentes são longas, o

escoamento superficial torna-se mais concentrado, facilitando o desenvolvimento de processos de erosão acelerada.



Foto 10 – Foto com visão da lateral esquerda do voçorocamento



Foto 11 – Foto com visão da lateral direita do voçorocamento



Foto 12 – Foto com visão frontal do voçorocamento

#### 4.5.1.4 Aspectos pedológicos

De acordo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SiBCS), o solo do voçorocamento foi classificado como sendo *Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico*, caracterizando-o como solo jovem devido à pouca ação dos processos pedogenéticos ou pelas características inerentes ao material originário.

Tais solos se originam de depósitos arenosos e apresentam textura de areia ou areia franca até 2 m de profundidade (FRAZÃO et al. 2008). São constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (IBGE, 2015) e são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (EMBRAPA, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos, devido a sua textura arenosa, apresentam limitações no armazenamento de água disponível a plantas, além de exercer influência sobre o comportamento físico do solo e sua fertilidade. Segundo Freire (2006), os solos arenosos, que contêm mais de 70% de areia, são soltos, friáveis, não apresentam plasticidade, nem pegajosidade. Retêm pouca água, apresentam boa permeabilidade e aeração e, fertilidade baixa.

Segundo Scopel; Silva (2001), mesmo que estes solos apresentem permeabilidade acentuada, são solos completamente desagregados e desprovidos de teores adequados de matéria orgânica, o que os torna pouco coesos e altamente suscetíveis à erosão, principalmente quando situados em condições de relevo ondulado, falta de cobertura vegetal e sob clima com chuvas intensas e de alta erosividade.

O processo de perda de solo em Neossolos ocorrem por diversos fatores como alta taxa de macroporosidade podendo ocorrer altas taxas de lixiviação, o aumento da densidade provocada o uso contínuo sem as técnicas de manejo adequadas, baixos teores de Carbono Orgânico no Solo que promovem a cimentação dos agregados de solo, entre outros, demonstrando assim, que os Neossolos Quartzarênicos em termos de uso agrícola, apresenta-se como solos de baixo potencial e que devem ser utilizados com muito critério e com adoção de técnicas de conservação do solo e da água.

Almeida et al. (2009) afirmam ainda, que características granulométricas nas frações areia, silte e argila dos solos demonstram solos predominantemente arenosos e pouco coesos, o que confere alta suscetibilidade aos processos erosivos e, segundo Bertoni; Lombardi Neto (1999), solos arenosos com baixa proporção de argila, quando submetidos a enxurradas são

facilmente arrastados. Porém, de acordo com Custódio Filho (2011), os processos erosivos e de degradação pelos quais este solo passa, sofrem maior influência por seu uso e manejo do que por suas propriedades físico-químicas.

#### 4.5.1.5 Aspectos da cobertura vegetal

O voçorocamento está localizado na região classificada como *Outros Usos da Terra* com formação de pastagem. A pastagem apresenta bom vigor vegetativo, boa qualidade de forragem e baixa presença de invasoras nos meses de maiores pluviosidades.

A formação da pastagem encontra-se sob sistema extensivo e ausência de manejo de condução. Sendo o fator textural mais relevante a condição de degradação associada a alta erodibilidade de solo.

A foto 13 retrata a paisagem no início do período chuvoso.



Foto 13 – Formação de pastagem na área de estudo.

As características supracitadas para os Neossolos tornam-no erodível, conforme o observado por Macedo et al. (1998) sob pastagem de *Brachiaria decumbens* degradada, constatando que esses solos apresentaram alta erodibilidade. Assim como, Vale Júnior et al. (2009), avaliando a erodibilidade de solos sob cerrado no estado de Roraima, identificaram várias classes de solos, entre eles a classes de Neossolos Quartzarênicos.

Consoante ao observado por Macedo et al. (1998), ao medir a erosão hídrica em solos arenosos sob pastagem de *Brachiaria decumbens* degradada onde constataram que esses solos apresentaram alta erodibilidade.

Ressalta-se, porém, que apesar da condição local de pastagem, com nível de degradação leve o fator topografia composta por rampas longas e declivosa propiciou o aumento de volume e velocidade do escoamento superficial, que potencializaram a erosão do solo contribuindo, dessa forma, para que a perda de solo nos taludes fosse considerável.

A falta de prática de manejo e condução da pastagem acarretou no retardo da recuperação fisiológica da forragem no início do período chuvoso (setembro/outubro), isso permitiu a exposição do solo à ação cinética das gotas de chuva nos períodos de maiores precipitações (dezembro a março).

Corroborando, portanto, com Soares Filho (1993) ao identificar que com o processo de degradação das pastagens a produção de forragem diminui, observando-se a redução na qualidade e quantidade de forragem, mesmo nas épocas favoráveis ao seu crescimento.

#### 4.5.1.6 Aspectos topográficos

A incisão erosiva encontra-se no relevo classificado como ondulado entre 8 e 20% de declividade. A voçoroca ocorre em área de encosta com declividade acentuada para ambos os cortes realizados, conforme se observa na figura 17.

O relevo apresenta moderada limitações à mecanização agrícola pois segundo Höfig; Araujo-Junior (2015) relevos com até 20% de declividade são considerados moderadamente aptos para o cultivo mecanizado. A fragilidade ambiental está condicionada basicamente ao maior comprimento de rampa sob cobertura vegetal deficiente tornando-o suscetíveis à erosão.

A influência da topografia sobre os processos erosivos deve-se a declividade e ao comprimento de rampa. O tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e essa velocidade é uma resultante da distância que deve percorrer e do grau de declive do terreno.

Para melhor compreensão dos aspectos topográficos foi elaborada a carta planialtimétrica (Figura 18) das vertentes próximas a fim de expressar em detalhe sua influência.

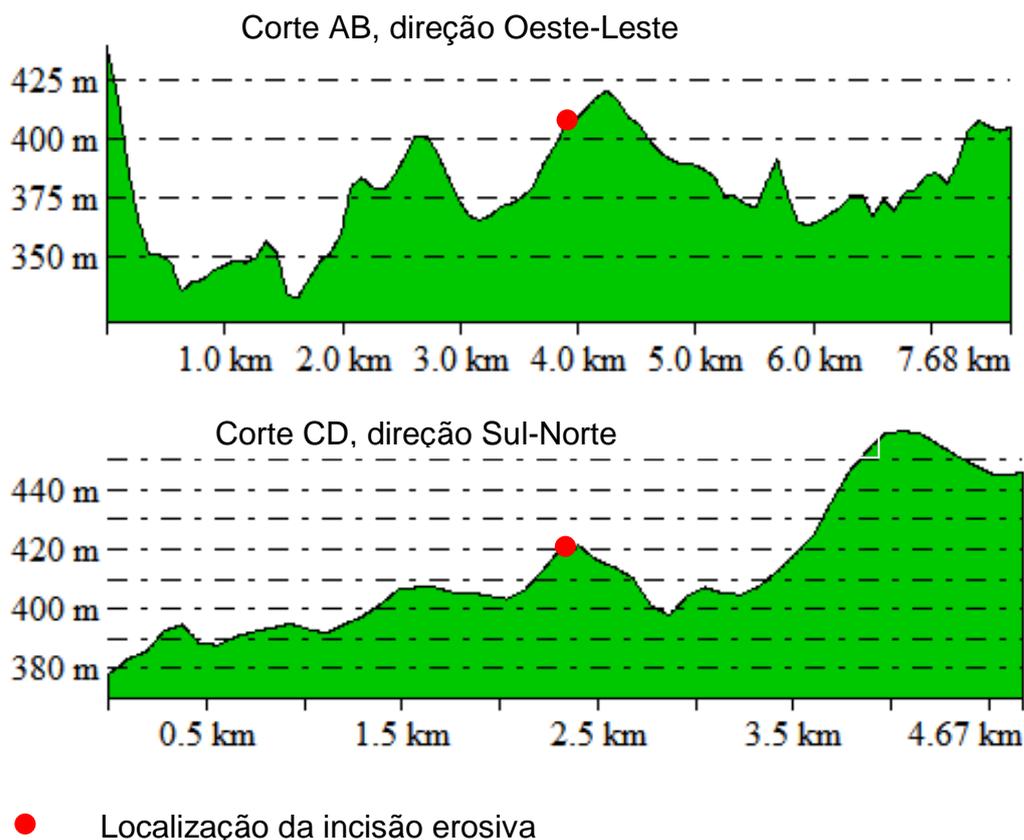


Figura 17 – Perfil transversal na região da incisão erosiva.

Os perfis topográficos elaborados oferecem a dimensão do comportamento das águas superficiais, indicando que os interflúvios estão bem próximos da incisão e apresentam declividade considerável, o que interfere diretamente na velocidade com que a água atingirá a borda e na capacidade de remover e transportar sedimentos.

Koffler (1994) afirma, que a carta de declividade representa quantitativamente o comportamento espacial do relevo e tem fundamental influência nas taxas de escoamento superficial das águas da chuva, nos processos de erosão do solo, no assoreamento de rios e na ocorrência de inundações.

Identifica-se na carta que a voçoroca recebe fluxos superficiais com mais intensidade nas laterais direita e na cabeceira. A cota mais elevada encontra-se distante 138 m com  $10.06^\circ$  de inclinação em relação à borda, fazendo com que o fluxo N-S atinja a incisão com mais velocidade, assim como, há arraste de sedimentos na direção leste/oeste distante da borda 170 e com  $4.85^\circ$  de inclinação.

As vertentes possuem formas ligeiramente convexas desgastadas devido a erosão laminar que ocorre nas encostas, onde o arraste de sedimento é todo depositado no interior do

voçorocamento. O processo ocorre de forma similar em todas as vertentes pois há homogeneização na condição vegetativa da pastagem e não foi verificada a existência sulcos erosivos e ravinamento ao longo das encostas.

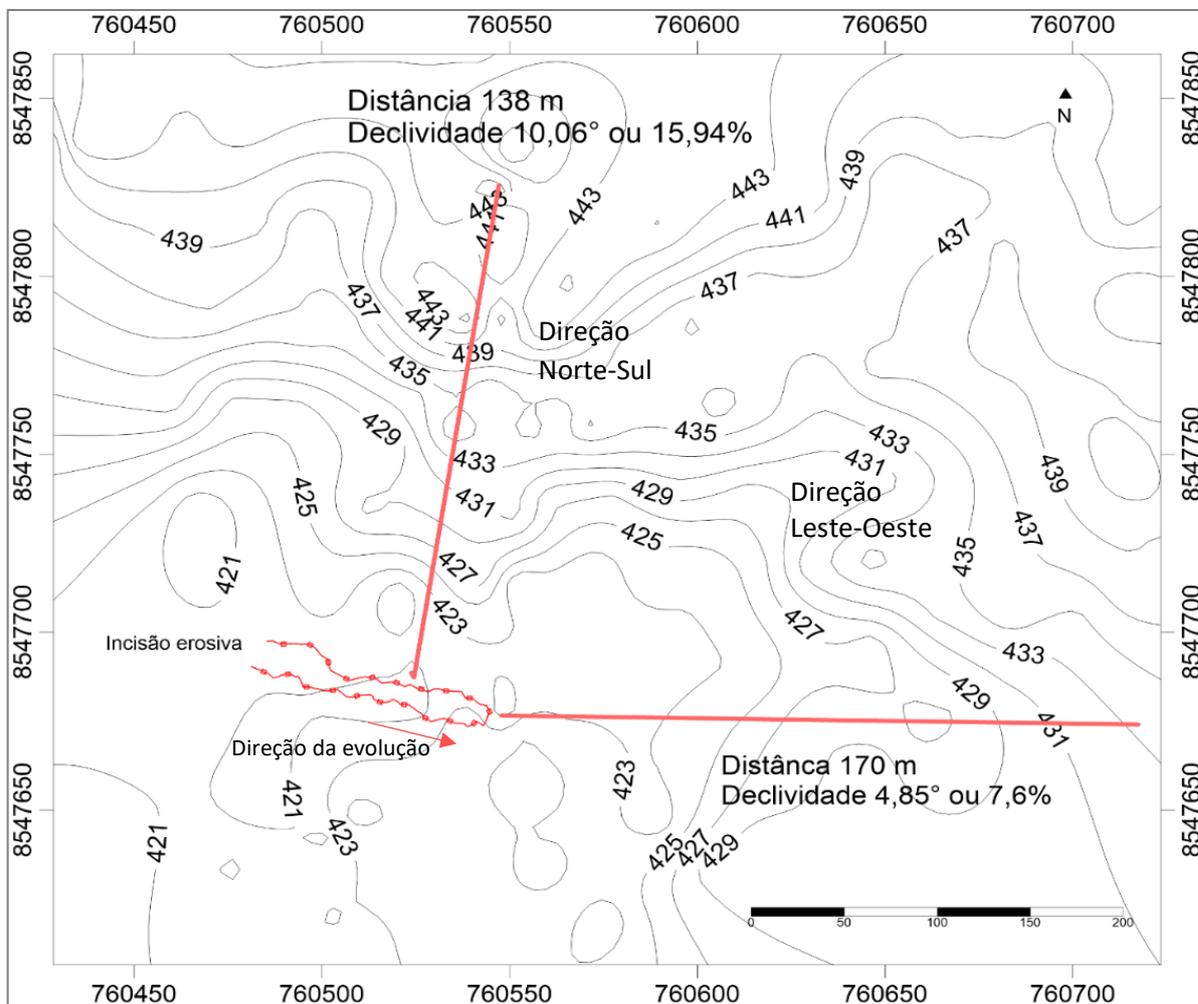


Figura 18 – Carta planialtimétrica na região da incisão erosiva.

## CAPÍTULO V

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos parâmetros morfométricos da sub-bacia indicou suscetibilidade natural da região aos processos erosionais. Características como relevo muito dissecado, instável e sob intensa ação dos agentes erosivos, alta amplitude altimétrica e quantidade considerável de relevo passíveis de processos erosivos fomentam o surgimento e evolução das erosões.

O monitoramento por meio de um Sistema Global de Navegação por Satélite mostrou-se eficaz ao mensurar a perda de solo com precisão milimétrica - adequada para identificar pequenos avanços na perda de solo -, com a rapidez necessária em um monitoramento frequente, além de facilitar o processamento e análise das informações.

Os produtos oriundos da krigagem ordinária permitiram a identificação do processo de evolução do voçorocamento trazendo detalhes do comportamento como: locais de maiores impactos pela ação da água superficial, comportamento do solo no interior e a evolução geométrica da borda.

O método adotado de monitoramento mostrou-se próximo à realidade por considerar para o cálculo de perda de solo as irregularidades existentes no fundo da incisão erosiva, tornando esta, uma alternativa viável ao monitoramento de erosões em comparação ao método de estaqueamento com pinos sugeridos por Guerra (1996).

A feição erosiva está diretamente relacionada ao escoamento hídrico superficial e subsuperficial desconectado do fluxo de drenagem (nascente) a jusante no sentido longitudinal do canal do voçorocamento. As formas longitudinais são em “V” associadas a *pipings* com afloramento do lençol freático sem ramificações laterais.

A região a montante do voçorocamento apresentou maior suscetibilidade ao desprendimento e transporte de partícula. Despeja grande quantidade de sedimentos a jusante capazes de assorear setores internos da própria erosão e/ou externos como o próprio canal ou suas imediações.

A granulometria dos materiais verificados nos perfis constatou que os mesmos são homogêneos com variações texturais evidenciadas apenas nas profundidades superiores 130

centímetros. De modo geral, a área é composta por solos com 70% areia, 10% silte e 20% argila, com maior predominância das areias muito grossa e areia grossa que juntas representam mais da metade da fração de areia que compõe o solo.

O estudo das propriedades físicas do solo apontou a presença de altos valores para densidade de solo. Tais valores são limitantes no desenvolvimento de plantas forrageiras, torna-o mais erodíveis por predispor a desagregação das partículas pelo escoamento concentrado e aumenta de velocidade da água da chuva.

A porosidade total apresentou valores considerados baixos para Neossolos Quartzarênicos. O processo de redução da porosidade total ocorreu devido a compressão do solo pelo rearranjo das partículas. Os baixos valores estão diretamente relacionados a compactação dos solos relacionadas ao pisoteio do gado na área.

A resistência média à penetração indicou que o maior aumento ocorreu nos primeiros 10 centímetros da camada do solo. A partir de então, os valores se mantiveram elevados, porém sem apresentar variações abruptas. O estudo da resistência nas encostas indicou o solo na área está perdendo resistência ao se aproximar da borda da incisão.

O estudo do comportamento do volume precipitado indicou que o planejamento das atividades de contenção de perda de solo deve considerar a sazonalidade o período chuvoso para que as mesmas possam ser eficientes no controle da erosão nos meses em que a precipitação é maior.

A taxa de erosividade do solo condicionada à concentração de chuvas ratifica a necessidade do planejamento das técnicas de ocupação, manejo e conservação solo a fim de diminuir a vulnerabilidade aos processos erosivos, sendo oportuno mencionar que a quantidade de solo erodido também é influenciado por outros fatores naturais atuantes.

O estudo do comportamento do solo em relação ao total precipitado descrito pela equação de regressão apresentou correlação forte entre as variáveis com direções negativas e positivas. O coeficiente de determinação indicou 72% do volume de solo erodido é explicado pelo total de chuva acumulado e 97% da evolução do comprimento do perímetro está associado às chuvas.

Portanto, a fragilidade da equação para predizer o valor de uma variável a partir de um valor conhecido da outra e para descrever a relação entre si, evidencia a necessidade de que novos dados sejam coletados e por um período maior a fim de se obter maior associação entre o volume de chuva e a perda de solo.

## CAPÍTULO VI

### REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, E.H.; AMORIM, A.J. Análise morfométrica de uma bacia hidrográfica, costeira: um estudo de caso. **Caminhos de Geografia**, v. 7, p. 70-77, 2005.
- ALMEIDA, D.A.; JÚNIOR, W.C.; BESERRA NETA, L.C. Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima. **Revista Acta Geográfica**, ano III, N°6, P.39-46, jun./dez. de 2009.
- ALMEIDA, E.L. **Medida da condutividade hidráulica e curva de retenção de água por diferentes métodos e predição de atributos físicos do solo pela krigagem**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências do Solo, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fortaleza, 2013.
- ALVARENGA, R.C., et al. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.319-326, 1996.
- ALVES, R.R. **Monitoramento dos Processos Erosivos e da Dinâmica Hidrológica e de Sedimento de uma Voçoroca: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia-MG**. Março 2007, 121p., Dissertação. IGUFU, Uberlândia, abril 2007.
- ALVES R.R. **Monitoramento evolutivo de seções transversais: análise estatístico-morfométrica de perda de solo e da qualidade da água em Voçoroca no município de Uberlândia – MG**. Dissertação de Mestrado, Uberlândia: PPGEO/UFU, 125p. 2005.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora Usisinos. São Leopoldo – RS, 165 p., 2ª r., 2013.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-Pr. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58. 2007.
- ARAÚJO, M.E.B. **A vida e a produção no assentamento Margarida Alves em Nova União, Rondônia**. Dissertação Mestrado. PPGG- UNIR, 113f. Porto Velho, 2015.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, 2007.
- ARRAES, CH.L.; BUENO, C.R.P.; PISSARRA, T.C.T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, Nov./Dec. 2010.

- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). *Methods for assessing soil quality*. Madison: Soil Science Society of America, p.123-141. (SSSA special publication, 49), 1996.
- AUGUSTIN, C.H.R.R.; ARANHA, P.R.A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **GEONOMOS**, v.14(1, 2): p.75 – 86, 2006.
- AVILA, L.O. **Erosão na microbacia do arroio Sarandi: voçoroca do buraco fundo, Santa Maria/RS**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, RS, Brasil, 2009.
- BACCARO, C.A.D. **Processos erosivos no domínio do cerrado**. In: GUERRA, A.T.J.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio e Janeiro: Bertrand Brasil, pp.195-268, 1999.
- BACELLAR, L.A.P. **Processos de formação de voçorocas e medidas preventivas e corretivas**. Ouro Preto: UFOP, 2006.
- BADOTTI NETO, A. **Análise da variabilidade espacial dos teores de CTC, fósforo e potássio em uma área agrícola sob sistema de plantio direto no município de Laranjeiras do Sul-PR**. Monografia (Especialização). Universidade Federal do Paraná, 2012.
- BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 303f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Rio Grande, 1999.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. SP: Editora Ícone, p. 356, 1995.
- \_\_\_\_\_. **Conservação do solo**. 2.ed. São Paulo, Ícone, 1999. 355p.
- BEUTLER, A.N., et al. Utilização dos penetrômetros de impacto e de anel dinamométrico em Latossolos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.22, n.2, p.191-9, 2002.
- BLAIS, R. A.; CARLIER, P. A. Applications of geostatistics in ore evaluation. **Ore Reserve Estimation and Grade Control**, Montreal, v. 9, p. 41-68, 1968.
- BORSATO, F.H.; MARTONI, A.M. Estudo da fisiografia das bacias hidrográficas urbanas no Município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Human and Social Sciences Maringá, v. 26, n.2, p. 273-285, 2004.
- BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Erodibilidade em sulcos e em entressulcos de um Podzólico Vermelho-Escuro franco arenoso. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:127-134,1996.
- BRYAN, R.B. Process and significance of rill development. **Cantena Supplement**. V. 17, p. 111-132, 1987.
- \_\_\_\_\_. Kninckpoint evolution in rillwash. **Cantena Supplement**. V. 17, p. 111-132, 1990.
- BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford, Clarendon Press, 193p., 1987.

- CANIL, K., et al. Mapa de feições erosivas lineares do estado de São Paulo: uma análise qualitativa e quantitativa. **Anais...** In: V Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru, ABGE, p. 249-251, 1995.
- CANTALICE, J.R.B. **Escoamento e erosão em sulcos e em entressulcos em distintas condições de superfície do solo.** (Tese de Doutorado) Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 141p. 2002.
- CARDOSO, R.S.B.; PIRES, L.V. **Voçorocas: processos de formação, prevenção e medidas corretivas.** Disponível em: < [http://webliessin.com/admin/\\_m2brupload/\\_temp/1/Vo%C3%A7oroca.pdf](http://webliessin.com/admin/_m2brupload/_temp/1/Vo%C3%A7oroca.pdf) >. Acesso em: 21 fevereiro 2016.
- CARRIJO, B.R.; BACCARO, C.A.D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia** 1(2)70-83, dez/2000.
- CASSETI V. O relevo no contexto ideológico da natureza: uma nota. **Boletim Goiano de Geografia**, 14(1):103-115, 1994.
- CASTRO, S.B.; CARVALHO, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo-GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Scientia plena**, v.5, n.2. 2009.
- CASTRO, S.S. Erosão hídrica na alta bacia do rio Araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, 17, p.38-60, 2005.
- CAVAGUTI, N. **Erosões lineares e solos urbanos – estudos, caracterização e análise do meio físico de Bauru.** São Paulo. Tese de livre-docência. Faculdade de Engenharia e Tecnologia, UNESP, Bauru, 548p., 1994.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 256p. 1999.
- \_\_\_\_\_. **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 188p. 1980.
- \_\_\_\_\_. **Análise morfométrica de bacias hidrográficas.** Notícia Geomorfológica, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- COELHO NETTO, M.R., et al. **O Recurso Natural Solo.** In.: MANZATTO, C. V. (org.). Uso Agrícola dos Solos Brasileiros. Rio de Janeiro. Embrapa Solos, cap. 1, p. 1-12, 2002.
- CORRÊA, E.A.; MORAES, I.C.; PINTO, S.A.F. Estimativa da erodibilidade e tolerância de perdas de solo na região do centro leste paulista. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 4, p.848-860, 2015.
- CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.
- COSTA, C.S., et al. Água disponível em um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO após adição de um condicionador mineral do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.13, p.524–530, 2009.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do Estado de Rondônia.** Amilcar Adamy (org.). Porto Velho, RO, p. 339, 2010.

- \_\_\_\_\_. **Breve História da Terra** - 2016. Disponível em: < <http://www.cprm.gov.br> >. Acesso em 15 de janeiro de 2017.
- \_\_\_\_\_. **Geologia e recursos minerais do estado de Rondônia Sistema de Informações Geográficas – SIG**. QUADROS, M.L.E.S.; RIZZOTTO, J.G (Orgs). Porto Velho-RO, 2007.
- CUSTÓDIO FILHO, R.O. **Recuperação e monitoramento de voçoroca em Neossolo Quartzarênico no município de Baliza, GO**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, 98 f., 2011.
- DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese (Doutorado) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- DELLA JUSTINA, E.E. **Contribuição ao estudo de processos erosivos acelerados em áreas de sedimentos costeiros poligenéticos – o caso da praia Mole – Ilha de Santa Catarina**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 180f., 1998.
- \_\_\_\_\_. **Zoneamento geoambiental da zona de amortecimento da reserva biológica do Jarú-RO, como subsídios ao seu plano de manejo**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro: [s.n.], 225 f. 2009.
- DIAS JUNIOR, M.S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, nº 2, p. 175 – 182. 1996.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Brasília: Embrapa Solos, 2ª ed., 286p., 2006.
- \_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Brasília: Embrapa Solos, 3ª ed., 2013.
- \_\_\_\_\_. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p., 1997.
- FEITOSA, A. SANTOS, B.; ARAÚJO, M.S.B. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Susceptíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o Estudo de Caso da Bacia do Rio Pajeú/PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p.820-836. 2011.
- FIDALSKI, J., et al. Influência das frações de areia na retenção e disponibilidade de água em solos das formações Caiuá e Paranavaí. **R. B. de Ciência Solo**, 37:613-621, 2013.
- FLORENZANO, T. G. **Cartografia**. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, p. 105-128, 2008.
- FONSECA, E.L.; SILVA FILHO, E.P. Análise fisiográfica como subsídio ao estudo da suscetibilidade erosiva em bacias hidrográficas. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v.11, n.25, jan./abr. de 2017. pp. 137-158.
- FONSECA, E.L. **Avaliação do nível de degradação das pastagens cultivadas com Brachiaria brizantha cv. marandú na região de Ji-Paraná/RO**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Luterano de Ji-Paraná. Ji-Paraná – RO, 2009.
- FOSTER, G.R.; MEYER, L.D.; ONSTAD, C.A. An erosion equation derived from basic erosion principles. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 20: 678-682, 1977

- FRANCISCO, A.B. Estimativa de Taxas de Erosão Linear através de Levantamento por Porposicionamento Global e Densidade do Solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.05, p. 1035-1045, 2012.
- FRAZÃO, L.A., et al. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado mato-grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.641-648, 2008.
- FREIRE, O. **Solos das Regiões Tropicais**. Botucatu: FEPAF, 268p., 2006.
- FREITAS, I. C., et al. Resistência à penetração em Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 12, p. 1275-1281, 2012.
- FREITAS, I.C. **Atributos de um Neossolo Quartzarênico da pré-amazônia sob agroecossistemas de produção familiar**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-graduação em Agronomia – UFG. Goiânia, GO, 2013.
- FRITZONS, E.; CORREA, A.P.A. **O zoneamento ecológico-econômico como instrumento de gestão territorial** - Dados eletrônicos. Colombo: Embrapa Florestas, 2009.
- GOLDEN software, inc. surfer for windows-user guide. golden: golden software, SURFER 8.0. **Contouring and 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers**. Colorado, 2002.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 6. ed. Piracicaba: Nobel, 430p., 1976.
- GOMES, A.S.; PEÑA, Y.A. Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, n.426, p.18-20, 1996.
- GONÇALVES, A.C.A. **Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo para fins de manejo de irrigação**. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba 118 p., 1997.
- GUERRA, A. J. T. **Processos erosivos nas encostas**, cap. 4, pags. 149-209. In: A. J. T. Guerra; S. B. Cunha (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- \_\_\_\_\_. The effect of organic matter content on soil erosion. in simulated rainfall experiments ins W. Sussex, UK. In **Soil use and management** (10):60-64, 1994.
- GUERRA, A. J. T., et al. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro -Brasil, 9ª ed. 340p., 2014.
- GUERRA, A. J.T., JORGE, M.C.O. **Degradação dos solos no Brasil**- 1d- RJ, Brasil, 2004.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Degradação ambiental**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A.J.T. **Geomorfologia e meio ambiente**. São Paulo: Bertrand Brasil. p.337-376, 1996.
- HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil & Tillage Research**. v.53, p.71-85, 2000.
- HOFFMANN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, Dodrecht, v. 176, n. 1, p. 15-25, Sept. 1995.

- HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C.F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 195 - 203, abr./jun. 2015.
- HORTON, R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: a hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geol Soe. Am. Bull.**, v.56, n.3, p.275-370, 1945.
- HUDSON, N. **Soil conservation**. 3.ed. Ames, Iowa State University Press, 391p., 1995.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartografia**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em 13/09/2016.
- \_\_\_\_\_. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro: IBGE, 430 p., 2015.
- \_\_\_\_\_. **Censos demográficos 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em 23/02/2016.
- \_\_\_\_\_. **Pesquisas agropecuárias – SIDRA 2014**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em 10/04/2016.
- \_\_\_\_\_. **Manual técnico de vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências. 2ºed. Rio de Janeiro: IBGE, 271p., 2012.
- \_\_\_\_\_. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos em geociências. 2ºed. Rio de Janeiro: IBGE, 175p., 2009.
- IKEMATSU, P. et al. Caracterização do ambiente físico de duas voçorocas ocorrentes no município de Sorocaba (SP). **Anais...** VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, GO, 6-10 set. 2006.
- INOUE, N.; XAVIER, S.R.; ROMANEL, C. **Análise geoestatística do subsolo da usina nuclear de Angra 2**. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina - GIS BRASIL 99, 5., **Anais...** Salvador, 1999.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBio. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional de Picaás Novos**. Brasília: Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral/Coordenação do Bioma Amazônia, 2009.
- INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA. **Manual Técnico de Posicionamento**. 1.<sup>a</sup> ed. Brasília: MDA, 2013.
- \_\_\_\_\_. Certificação de Imóveis Rurais – **Norma Técnica Para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. v.1: INCRA, 2010. Disponível em: <[www.incra.gov.br](http://www.incra.gov.br/)>. Acesso em: 01 junho 2016.
- ISAACS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 561 p., 1989.
- JESUS, L.V.; ANDRADE, A.C.S. Parâmetros Granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas-Aracaju-SE. **Scientia Plena**, 9, 059907, 2013.
- JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, CH.J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

- KRIGE, D.G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa**, Dec. 1951:119-139, 1951.
- KOFFLER, N.F. Carta de Declividade da Bacia do Rio Corumbataí para análise Digital (SIG).  
**Geografia**. Rio Claro, v.19, n.2, p.167-182, 1994
- LAL, R. **Erodibility and erosivity**. In: LAL, R. et al. Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, p. 141-160, 1988.
- LANA, C.E.; ALVES, J.M.P.; CASTRO, P.T.A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG – Brasil. Rem: **Rev. Esc. Minas** vol.54 no.2 Ouro Preto Apr./June 2001.
- LANDIM, P.M.B. Sobre geoestatística e mapas. **Terra e Didática**, v.2, p.19-33, 2006.
- LEAL, P.C.B.; RODRIGUES, S.C. Uso e comparação do método de estaqueamento, o método DGPS e geoprocessamento no monitoramento de uma área erosiva na fazenda do Glória – Uberlândia, MG. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, Nº 29, p. 18 - 35, 2011.
- LEAL, P.C.B. et al. Monitoramento Erosivo Através de Estaqueamento. Fazenda Experimental do Glória. **Anais...** In: Simpósio Nacional De Geomorfologia (SINAGEO) e Encontro Latino-Americano De Geomorfologia, VII e II, 08/2008, Belo Horizonte. Anais do VII SINAGEO e II Encontro Latino-americano de Geomorfologia, Belo Horizonte: UFMG/instituto de Geociências, 2008.
- LEÃO, T.P. et al. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 415-423, 2004.
- LIMA, A.G. Índice de gradiente de canal: significados e diretrizes para aplicação. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Ituiutaba, v. 4, n. 2, p. 680-692, jul./dec. 2013.
- LIMA, W.P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 242p. 1986.
- LINHARES, M.S. et al. Geoprocessamento aplicado ao diagnóstico de uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica do córrego Hermes – Rondônia. **HOLOS**, Ano 30, Vol. 01. 2014.
- LIRA, E. M. et al. Correção da Rede de Drenagem e Morfometria da Bacia do Igarapé Judia – Acre – Brasil. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Recife: Universidade Federal do Recife, **Anais...** p. 606-616. set. de 2010.
- LISBOA, A.M.; FERREIRA, G.C. Zoneamento geoambiental aplicado ao planejamento da gestão ambiental e territorial do município de Colorado do Oeste, RO. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v.30, n.2, p.219-235, 2011.
- LOPES, S.L.; GUERRA, A.J.T. Monitoramento de voçorocas por satélites GPS em áreas de areia quartzosa podzolizada: Praia Mole, Florianópolis – SC. **Anais...** VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.

- MACEDO, J.R. et al. **Uso e Conservação de Solos Arenosos sob Pastagens em São Gabriel do Oeste, MS - recomendações técnicas** (Circular técnica n° 3). EMBRAPA/RJ, 1998.
- MACHADO, R.V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidro seqüência de solos bem a muito mal drenados**. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 88f., 1994
- MACHADO, R.A.S. et al. Análise morfométrica de bacias hidrográficas como suporte a definição e elaboração de indicadores para a gestão ambiental a partir do uso de geotecnologias. **Anais... XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.1441-1448.30 abr. a 05 mai. 2011.
- MAGALHÃES, R.A. **Erosão: definições, tipos e formas de controle** - Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.
- MAIA, S. M. ET al. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 837-848, 2006.
- MANNIGEL, A.R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Maringá**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- MAGALHÃES, R.T.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I.P. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do sistema barreira. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Brasília, v.31, n.1, p.7-13, 2001.
- MARQUES, J.M. **Assimetria (2012)**. Disponível em: <<http://porcaverde.blogspot.com.br/>>. Acesso em 09/03/2017.
- MATHERON, G. **Principles of geostatistics**. n. 58, p. 1246–1266, 1963.
- MELO, J.G.; BATISTA, A.M.N.; GALVÃO, L.S. **A análise morfométrica e sua aplicação na implantação de barragens de formação de aquíferos e solos do vale do Encantado/RN**. 1986. Disponível em< <https://aguassubterraneas.abas.org> >. Acesso em 01 de dezembro de 2016, às 14:50.
- MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O.; CORRENTE, J.E. Caracterização estatística de variáveis físicas do solo. **Maringá**, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2003.
- MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo GNSS: descrições, fundamentos e aplicações**. São Paulo Ed. UNESP. 2ªed. 2008.
- MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. São Paulo, Polígono, Ed. Universidade de São Paulo. 312p. 1972.
- MOREIRA, J.A.A.; OLIVEIRA, I.P.; GUIMARÃES, C.M. ET al. Atributos químicos e físicos de um Latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 35 (3): 155-161, 2005.
- MORINAGA, M.S. **Análise morfotectônica e morfoestrutural no controle de erosões hídricas lineares na região de Marília (SP)**. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro – SP, 2014.

- MOSER, L.M. **A Mulher Na Colonização: O Papel Da Mulher No PIC-Ouro Preto em Rondônia, Pará: Núcleo de Altos Estudos Amazônicos/ NAEA**, 2008. Disponível em:<<http://www.ufpa.br>>. Acesso em 06 jan de 2014.
- MÜLLER, M. M. L. et al. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study. **Agriculture Ecosystems & Environment**. v.103, n.2, p. 279-288, 2004.
- NASCIMENTO, T.C.N. **A natureza dos materiais lateríticos entre Porto Velho e morrinhos: relação morfológica e aplicação**. Dissertação. Universidade Federal de Rondônia. Porto Velho, Rondônia, 2011.
- NEVES, D.A. **Geoestatística aplicada ao estudo da variabilidade de espécies nativas em fragmentos do cerrado brasileiro no estado de São Paulo**. Tese (Doutorado). Facultad de Ciencias de la Universidad de A Coruña (UDC), 172 p., 2013.
- NOGUEIRA, W.K.S. **Aplicação do NDVI na detecção de degradação de pastagens cultivadas**. Monografia (Curso de Agronomia). IFRO, 2016.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 592 p., 2008.
- PESSOA-DE-SOUZA, M.A. et al. CASTRO, S.S. Comportamento químico de neossolos quartzarênicos em Mineiros, sudoeste goiano. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 34, n. 3, p.335-347, 2015.
- PENA, Y.A.; GOMES, A.S.; SOUZA, R.O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.20, p.517-523, 1996.
- PISSARRA, T.C.T., POLITANO, W.E FERRAUDO, A.S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal-SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n.2, p. 297- 305, 2004.
- PISSARRA, T.C.T. et a. Análise Morfométrica da microbacia do córrego rico, região nordeste do Estado de São Paulo. **Científica** (UNESP), v. 34, p. 171-177, 2006.
- PLANAFLORO/DHV, **Diagnóstico Sócio Econômico – Ecológico do estado de Rondônia, Zoneamento Sócio–Econômico- Ecológico de Rondônia – ZSEE-RO**, volumes 1 a 16. Governo de Estado De Rondônia, Porto Velho, 1998.
- QUEIROZ, E.V. **Caracterização dos sedimentos superficiais de fundo do complexo recifal de Maracujá, RN, Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Geodinâmica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.
- RABELLO, A.C.; FERREIRA, L.F. Colonização do sudoeste da Amazônia Corumbiara/RO (1975-2005). In: Simpósio Nacional de História. 23, Londrina. **Anais...Londrina**. p.1-7, 2005.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P.C.F.; MANCINI, F. **Decifrando a Terra/ organizadores: Wilson Teixeira (et al)**. São Paulo: Oficina de Textos, 568p., 2000.

- RONDONIA, Secretaria de Estado do Planejamento. **Plano agroflorestral e Pecuária de Rondônia – PLANAFLORO** (bando de dados geográfico). Porto Velho, 2002. Disponível em: <<http://www.sedam.ro.gov.br>>. Acessado em 20 de junho de 2015.
- ROBAINA, L. et al. Soybean and lupin seed meals as protein-sources in diets for gilthead seabream (*Sparus-aurata*) - Nutritional and histological implications. **Aquaculture** 130, 219-233, 1995.
- ROCHA, E.A.V. **Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri-GO**. Dissertação Mestrado. PPGG – UFU. Uberlândia/MG, 2007.
- RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia**, ano 2008, Porto Velho, 36p., 2010.
- ROSOLEM, C.A. et al. Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.5, p.821-8, 1999.
- SANTANA, N.M.P.; CASTRO, S.S.; STONE, L.F.; SILVA, S.C. Chuvas, erosividade, erodibilidade, uso do solo e suas relações com focos erosivos lineares na alta bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 19 (2): 103-121, dez. 2007.
- SANTOS, D.I.P. et al. Análise multitemporal de uso e ocupação do solo do núcleo inicial do projeto integrado de colonização Paulo de Assis Ribeiro no município de Colorado do Oeste – RO. **Caderno de Geografia**, v.25, n.43, 2015.
- SANTOS, F.M.M.S. **A microbacia hidrográfica do igarapé do Bindá (Manaus/AM) sob a ótica da complexidade ambiental**. Dissertação de Mestrado - Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.
- SCHERER, V.S. et al. Pressão de preconsolidação e índice de compressão de neossolos quartzarênicos em áreas sob voçorocamento. **Anais... XXVII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Agrícola e Engenharia Agrícola e Ambiental**, 22 a 27 set. de 2013.
- SHREVE, R.L. Statistical law of stream numbers. **Journal of Geology**, Chicago, v.74, n.1, p.17-37, 1966.
- SCHNEIDER, P.R.; GALVÃO, F.; LONGHI, S.J. Influência do pisoteio de bovinos em áreas florestais. **Revista Floresta**, v. 19, n. 1, p. 19-23, 1978.
- SCOPEL, I.; SILVA, M. R. Erodibilidade no estado de Goiás. Uniciência (Anápolis), **Anápolis**, v. 8, n. 1 e 2, p. 123-132, 2001.
- SCHEIDEGGER, A.E. Morphometric analysis and its relation to tectonics in Macaronesia. **Geomorphology. Elsevier**, v.46, p. 96-115, 2002.
- SILVA FILHO, E.P. **Estudo da degradação de solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO)**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 159 f., 2009.

- SILVA FILHO, E.P.S.; COTTAS, L.R.; MARINI, G.B.S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho-Rondônia. **Boletim geogr.**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 145-155, 2010.
- SILVA JÚNIOR, R.L. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionadas com mapas de produtividade**. Tese (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba 132 p., 2001.
- SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, 57:251- 259, 2004
- SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.; CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: 2ª Ed. Editora Rima, 158p., 2007.
- SILVA, A.G.S. Vale do Guaporé: território das espacialidades das culturas desviantes. **Revista Labirinto**, Ano XII, nº 16, 2012.
- SOARES, M. R. G. J.; SOUZA, J. L. M. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Pequeno em São José dos Pinhais (PR). **Geografia (Londrina)**, v. 21, n. 1, p. 19-36, 2012.
- SOARES, P. C. et al. Lineamentos em imagens de Landsat e Radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, n.2, 1982, Brasília. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.143-156, 1982.
- SOARES FILHO, C.V. Tratamentos físico-mecânicos, correção e adubação para recuperação de pastagens. In: PAULINO, V.T. (ed). Encontro sobre recuperação de pastagens, 1,1995, Nova Odessa. **Anais...** Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, pg. 79-117, 1993.
- SOUSA, F.A.; RODRIGUES, S.C. Aspectos morfométricos como subsídio ao estudo da condutividade hidráulica e suscetibilidade erosiva dos solos. **Mercator** 11, 141-151, 2012.
- SOUSA, A. R.; SILVA, A. B.; RESENDE, M. Influência da pressão exercida por pisoteio de animais na compactação do solo do vale do Pajeú, em Pernambuco. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo da Água, Fortaleza. **Anais...** SBC, p. 256-257, 1998.
- SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.11, p.1135-1139, nov. 2005.
- SOUZA, L.S. **Variabilidade espacial do solo em sistemas de manejo**. Porto Alegre, 162p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1992.
- SOUZA, Z.M.; ALVES, M.C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.18-23, 2003.
- STOLF R. **Penetrômetro de Impacto Stolf - programa de manipulação de dados em Excel-VBA**. UFSCar, 2011.
- STRAHLER, A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p.1117-1142, 1952.
- STURARO, J.R. **Estudo do comportamento espacial de variáveis geológicas e hidrogeológicas da área urbana de Ribeirão Preto-SP**, 124p. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Carlos. 1988.

- TARAWALLY, M.A. et al. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. **Soil & Tillage Research**. v.76, p.95-103, 2004.
- TEIXEIRA, M.A.D.; FONSECA, D.R.; **História Regional: Rondônia-4ª Edição**; Porto Velho: Editora Rondoniana, 2003;
- TEODORO, V.L.I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, p. 137-156, n.20, 2007.
- TOMAS, E.; DIAS W.B. Evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos, **Revista brasileira de geomorfologia** vol.10 N° 2, 9p. 2009.
- TONELLO, K.C. et al. Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **R. Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.2, p.333-39, 1996.
- TORMENA, C.A. et al. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico. **R. bras. de Eng. Agrícola e Ambiental**. v. 8, n. 1, p. 65-71, 2004.
- TRABAQUINI, K. et al. Dinâmica e distribuição das áreas alteradas por ação antrópica no Cerrado matogrossense no período de 2002 a 2008. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba, PR, p.6642 - 6649, 30 de abril a 05 de maio de 2011.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 3.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004. 943p.
- VALE JÚNIOR, J. F. et al. Erodibilidade e suscetibilidade à erosão dos solos de cerrado com plantio de *Acacia mangium* em Roraima. **Revista Agroambiente**. Boa Vista, v. 3, p. 1- 8, 2009.
- VEIGA, S.G.; BASSI, L.; ROSSO, A. **A degradação do solo e da água**. In: Santa Catarina. Secretaria do Estado de Agricultura e Abastecimento. Manual de uso, manejo e conservação do solo e da água. Projeto de recuperação, conservação e manejo dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. 2ªed. Florianópolis: EPAGRI, 1994.
- VIEIRA, S.R. **Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo**. In: NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. (Ed.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-54., 2000.
- VIEIRA, S.R. et al. Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties. **Hilgardia**, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.
- VIEIRA, I.C.G.; JARDIM, M.A.G.; ROCHA, E.J.P. **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, 462 p., 2014.
- VOLK, L.B.S. **Condições físicas da camada superficial do solo resultantes do seu manejo e indicadores de qualidade para redução da erosão hídrica e do escoamento**

**superficial.** Tese (Doutorado) Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. (149 p.) Setembro, 2006.

WISLER, C.O.; BRATER, E.F. **Hidrologia.** Tradução e publicação de Missão Norteamericana pela Cooperação Econômica e Técnica no Brasil. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 484 p., 1964.

YAMAMOTO, J.K. **Avaliação e classificação de reservas naturais.** Editora da Universidade de São Paulo, SP. 2011.

YAMAMOTO, J.K.; LANDIN, P.M.B. **Geoestatística conceitos e aplicações.** São Paulo: Oficina de Texto, 215p., 2013.