



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RORAIMA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

MARTA CLEMENTINA SILVA DE MELO

**ESTUDO DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES NA SEDE DO
MUNICÍPIO DE PACARAIMA-RR**

BOA VISTA- RR

2017

MARTA CLEMENTINA SILVA DE MELO

**ESTUDO DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES NA SEDE DO
MUNICÍPIO DE PACARAIMA-RR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPG-GEO da Universidade Federal de Roraima, como pré-requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia. Linha de pesquisa Dinâmica da Paisagem Amazônica.

Orientador: Prof^o. Dr. Stélio Soares Tavares Júnior
Co-orientadora: Prof^a. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta

BOA VISTA- RR

2017

Dados Internacionais de Catalogação na publicação (CIP)

Biblioteca Central da Universidade Federal de Roraima

Melo, Marta Clementina Silva de.

Estudo das feições erosivas lineares na sede do Município de Pacaraima-RR / Marta Clementina Silva de Melo. – Boa Vista, 2017.

103 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Stélio soares Tavares Júnior.

Coorientadora: Profa. Dra. Luiza Câmara Beserra Neta.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós-Graduação em Geografia.

MARTA CLEMENTINA SILVA DE MELO

ESTUDO DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES NA SEDE DO MUNICÍPIO DE
PACARAÍMA-RR

Dissertação apresentada como pré-requisito para conclusão do Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima. Área de concentração: Dinâmica da Paisagem Amazônica. Defendida em 07 de março de 2017 e avaliada pela seguinte banca:



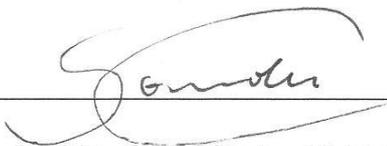
Prof. Dr. Stélio Soares tavares Júnior – Orientador (UFRR)



Prof. Dr. Antônio Fábio Sabbá Guimarães Vieira (UFAM)



Prof.ª Dra. Gladis de Fátima Nunes da Silva (UERR)



Prof. Dr. Carlos Sander (UFRR)

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é meu porto seguro, minha fortaleza e meu ajudador, sem ele eu não teria forças para alcançar mais esse objetivo em minha vida.

A Universidade Federal de Roraima através do programa de Pós- Graduação em Geografia do Instituto de Geociências, que me proporcionou essa qualificação profissional.

Aos professores Doutores Stelio Soares Tavares Junior (orientador) e Luiza Câmara Beserra Neta (co- orientadora) pela oportunidade de ser sua orientanda, pela ajuda na pesquisa de campo e laboratório, além de toda paciência e compreensão. Guardarei profundo respeito por vocês por toda minha vida.

Aos professores do curso de Mestrado em Geografia da UFRR, pelos ensinamentos.

A minha querida mãe Ursulina, uma verdadeira guerreira, exemplo de mulher, base de sustentação da família. A ela devo tudo o que sou.

A minhas queridas irmãs, Selma pelas orações e Thina pelas correções, incentivo e amizade durante essa difícil jornada.

Aos meus queridos filhos, Paulo, Phelipe e Venessa, a minha nora Ingrid e ao meu genro Márcio cada um com suas particularidades, que me deram forças para chegar até aqui.

Aos meus netos Eduardo e Artur, pelo afeto e leveza que somam em mim, mostrando-me o quão maravilhoso é ser criança.

As colegas de mestrado em Geografia, Raquel, Talita, Sheily, pela ajuda prestada e agradável convivência durante esse período.

As minhas queridas amigas Valdete Costa e Rita de Cássia, que sempre me motivaram e me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais à pena.

RESUMO

O município de Pacaraima está localizado no extremo norte de Roraima, na serra homônima, apresentando morfologicamente relevo tabular com grande predomínio de mesas de topos planos. Suas escarpas limitam-se, com extensos pedimentos ravinados e a topografia normalmente coincide com a estrutura geológica, onde a maioria dos processos erosivos estão instalados. Esta pesquisa teve como objetivo, compreender os processos geradores das feições erosivas lineares na sede do município de Pacaraima-RR, a partir da análise dos fatores condicionantes. Foram selecionadas quatro voçorocas, em três foram realizadas análises do solo a partir de amostras deformadas e indeformadas, coletadas nas paredes das incisões. As amostras de solo foram analisadas quanto à granulometria, mineralogia, densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, umidade, matéria orgânica e pH do solo, seguindo os procedimentos descritos em EMBRAPA e IAC. Foram feitas medidas morfométricas quanto à profundidade, largura e comprimento além da identificação das microfeições erosivas presentes no interior das voçorocas. Após as análises em campo e laboratório observou-se que o surgimento e evolução das voçorocas estão subordinados a um conjunto de fatores que se inter-relacionam começando pelas chuvas abundantes e concentradas durante três meses na região, que ao chegarem ao solo o encontram desprotegido devido a vegetação incipiente, isso favorece o escoamento superficial pelas encostas íngremes do local. Aliado a esses fatores estão os solos frágeis, formados basicamente por material saprolítico, oriundo das rochas vulcânicas do grupo Surumu, compostos basicamente de quartzo, feldspato potássico, caulinita e muscovita, representados por um material síltico. A fração areia apresenta morfologia angulosa e subangulosa. As microfeições encontradas fragilizam o talvegue e talude das calhas erosivas acelerando o avanço do processo erosivo. Os resultados obtidos permitem afirmar que todos os fatores condicionantes analisados agem mutuamente, às vezes uns se sobressaindo aos outros para o surgimento e evolução dos processos erosivos lineares na sede do município de Pacaraima.

Palavras-chave: Pacaraima- Feições erosivas - Voçorocas.

ABSTRACT

The municipality of Pacaraima is located in the extreme north of Roraima, in the homonymous ridge, presenting morphologically tabular relief with great predominance of tables with flat tops. Its escarpments are limited, with extensive ravine pediments and the topography usually coincides with the geological structure, where most erosive processes are installed. . This research aimed to understand the processes generating linear erosive features at the host of the municipality of Pacaraima-RR, based on the analysis of the conditioning factors. Four gullies were selected, in three soil analyzes were performed from deformed and undisturbed samples collected on the walls of the incisions. The soil samples collected were analyzed for granulometry, mineralogy, soil density, particle density, total porosity, moisture, organic matter and soil pH, following the procedures described in EMBRAPA and IAC. Morphometric measurements were made regarding depth, width and length, beyond the identification of erosive microfeatures present inside the gullies. After the analysis in the field and laboratory it was observed that the emergence and evolution of the gullies are subordinated to a set of factors that are interrelated beginning with the abundant rains and concentrated during three months in the region, that when they reach the ground they find it unprotected due to The incipient vegetation, this favors the superficial flow through the steep slopes of the place, allied to these factors are the fragile soils, formed basically by saprolite material, coming from the volcanic rocks of the Surumu Group, composed basically of quartz, potassic feldspar, kaolinite and muscovite, Represented by a silty material. The sand fraction presents angular and subangular morphology. The Microfeatures found weaken the thalweg and slope of the erosive channels accelerating the advance of the erosive process. The results obtained allow to affirm that all the conditioning factors analyzed act mutually, sometimes one stands out to the others for the emergence and evolution of the linear erosive processes at the host of the municipality of Pacaraima.

Keywords: Pacaraima- Erosive features - Gullies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema simplificado das etapas do processo erosivo.....	16
Figura 2- Voçoroca localizada na BR 174, município de Pacaraima, representando o estágio mais evoluído dos processos erosivos	24
Figura 3- As diferentes formas das incisões erosivas segundo Vieira(2008).....	25
Figura 4- Os três principais padrões de evolução das voçorocas segundo Oliveira(1999)	26
Figura 5- Carta imagem do mapa de localização da cidade de Pacaraima. Imagem OLI/Landsat 8, órbita / ponto 232/57, correspondente a fusão da composição colorida 6R5G4B X banda 8 (pancromática), com resolução espacial de 15 metros.....	29
Figura 6- Mapa Geológico da parte norte do estado de Roraima mostrando a variação litológica de unidades paleoproterozóicas vulcano-plutônicas e da sequência sedimentar do supergrupo Roraima. Ressalta-se ainda o pleno domínio dos litotipos vulcânicos do grupo Surumu na área de estudo.....	30
Figura7- Unidades Geomorfológicas que compõem a porção norte de Roraima, em destaque o Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco no qual a área de estudo está inserida.....	31
Figura 8- Fitofisionomia da savana parque, composta por gramíneas e arbustos em transição com as florestas Ombrófila, representada por árvores de porte médio e alto. Há também presença de vegetação secundaria.	33
Figura 9- Perfil de solo (A) Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico (B) Neossolo Distrófico	34
Figura 10-Distribuição pluviométrica ocorrida no ano de 2014 no município de Pacaraima, em destaque os meses de Junho, Agosto e novembro onde se concentraram as precipitações..	35
Figura 11- Fluxograma com procedimentos metodológicos de processamento das imagens de sensores remotos e de elaboração dos mapas temáticos.....	37
Figura 12- Ferramentas utilizadas durante a pesquisa em campo	38
Figura 13- Procedimentos metodológicos utilizados durante o processo de separação granulométrica em meio aquoso e seco.....	41
Figura 14- Procedimentos metodológicos para preparação das amostras para a leitura no difratômetro de raio x	42
Figura 15- Procedimentos metodológicos utilizados durante a separação morfológica dos grãos com o uso do microscópio óptico.	43

Figura 16- Metodologia utilizada para obtenção da densidade real do solo	46
Figura 17 - Procedimentos para análise dos grãos com o uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)e Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS).....	48
Figura 18- Mapa de localização das voçorocas estudadas, imagem OLI/Landsat 8,órbita/ponto 237/57 e Google Earth. Em destaque na vertente morros e colinas.....	50
Figura 19- Mapa de lineamentos estruturais, destaque aos lineamentos orientados preferencialmente a NW-SE, em função de sua relação espacial com os canais principais das voçorocas V3 e V4. Além dos de orientação E-W, relacionados às voçorocas V1 e V2.....	52
Figura 20- Dados pluviométricos para a região de Pacaraima. Elaborado a partir de dados da Estação Marco BV-8, código 8461000 (ANA, 2016)	53
Figura 21- Mapa de declividade, mostrando o padrão de ondulação da área de estudo, em destaque a localização das voçorocas	54
Figura 22- Modelado das vertentes: marcas de ravinamento próximo ao canal (A) e entorno da voçoroca V1(B) representado por linha tracejada.	55
Figura 23- Modelado da vertente, na margem esquerda fendas e dutos que favorecem a evolução do processo erosivo, área da incisão delimitada pela linha tracejada	56
Figura 24- Modelado da vertente, linha tracejada mostrando a direção do fluxo superficial (A) em destaque à cabeceira da voçoroca V3 com a presença de alcovas de regressão e escorregamento de lama (B) disposição de várias ravinas, em destaque carreamento de material na margem direita da cabeceira da voçoroca V4.....	56
Figura 25- Escalonamento de quartzo presente na margem esquerda da voçoroca V3, sugerindo que o material menos resistente foi transportado.....	57
Figura 26- Mapa de relevo sombreado da área de estudo, destacando a morfologia das vertentes onde as voçorocas estão instaladas e o traçado dos perfis topográficos.	58
Figura 27- Perfil Topográfico da área onde estão localizadas as voçorocas, mostrando que essas incisões se instalaram no sopé das vertentes. As figuras destacam as voçorocas e o relevo regional na qual estão inseridas, constituído de morros e colinas côncavo-convexa. ..	59
Figura 28- Mapa de solos mostrando os três tipos de solos da área de estudo e a disposição das voçorocas no tipo Neossolo Litólico Distrófico.....	61
Figura 29- Perfis dos solos estudados (A) Perfil e croqui da voçoroca V1(B) perfil e croqui da V2 (C) perfil e croqui da V4, os três perfis apresentam dois horizontes, o primeiro com predominância de textura siltica, o inferior formado por material saprolítico, característico dos Neossolos Litólicos Distróficos encontrados no local.....	62

Figura 30- Densidade do solo (d_s) densidade de partículas (d_p) em g/cm^3 nas profundidades de até 2,35m voçoroca V1(A) 1.60m voçoroca(V2) 1,82 voçoroca (V4) e Porosidade total em %.....	64
Figura 31- Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard (A) voçoroca V1, (B) voçoroca V2, (C)voçoroca V4.....	65
Figura32- Granulometria do solo, predomínio do silte nos horizontes dos perfis analisados	66
Figura 33- Grau de seleção, assimetria e curtose da fração areia.....	67
Figura 34- (A) grãos subangulosos com aspecto brilhante, (B) angulosos com predominância de grãos foscas.	68
Figura 35- Composição mineralógica do solo (A) Voçoroca V1, no horizonte superior o maior pico é o de quartzo seguido do K- feldspato e caulinita, no horizonte inferior a montmorilonita se destaca (B) Voçoroca V2, horizonte superficial com predominância de caulinita seguido de quartzo e no inferior quartzo e K- feldspato (C) Voçoroca V4, horizonte superior com predominância de Caulinita, o inferior K-feldspato e caulinita.....	69
Figura 36- Microfotografia do perfil da Voçoroca V1 obtidas pelo MEV: (A) porção de amostra do horizonte superficial (B) Plaquetas submétrica da caulinita (C) folheamentos da caulinita (D) porção de amostra do horizonte inferior (E) grão de quartzo com fratura conchoidal parcialmente recoberto por plaquetas de caulinita.....	71
Figura 37- Disposição e intensidade dos espectros dos principais elementos químicos constituintes da amostra retirada da voçoroca V1 horizonte superficial (B) Composição química na forma de óxido. (C) Mapeamento por elemento químico na porção da amostra analisada.	72
Figura 38- Disposição e intensidade dos espectros dos principais elementos químicos constituintes da amostra retirada da voçoroca V1 horizonte inferior (B) Composição química na forma de óxido. (C) Mapeamento por elemento químico na porção da amostra analisada.	73
Figura 39- Matéria Orgânica (MO) em %, apresentando maior concentração nos horizontes superficiais e Potencial Hidrogeniônico do solo (PH), não apresentando grandes diferenças nos horizontes e perfis estudados. (A) Voçoroca V1(B) Voçoroca V2 (C) Voçoroca V4.....	74
Figura 40 - Parâmetros relacionadas a acidez do solo.....	75
Figura 41- Umidade volumétrica (u_v) Umidade Gravimétrica do solo (u_g) (A) Voçoroca V1(B) Voçoroca V2 (C) Voçoroca V4.....	76
Figura 42- Vegetação encontrada na voçoroca V1(A) vegetação densa na cabeceira do canal (B) gramínea esparsas (C) visão geral da vegetação de entorno do canal (D) pteridófitas (<i>samambaias</i>).	77

Figura 43-Vegetação encontrada na voçoroca V2(A e B) gramíneas em forma de touceiras..	78
Figura 44-Vegetação encontrada na voçoroca V3 e V4 (A)no topo do morro savana gramínea, na base vegetação secundária (B) nas margem direita gramíneas esparsas	78
Figura 45- Interferências antrópicas nas voçorocas estudadas (A) trilhas que dão acesso ao centro da cidade (B) construções e trilhas próximas a voçoroca V1(C)Cerca delimitando loteamentos (D e E) residências próximas a voçoroca V2(F) construções na base do morro Suapi, voçoroca V3 e V4.....	79
Figura 46 - (A) Linha pontilhada delimitação a voçoroca V1 (B) croqui com a espacialização das microfeições erosivas encontradas	80
Figura 47- Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V1	81
Figura 48- (A) Croqui da voçoroca V2 com a espacialização das microfeições erosivas encontradas (B) linha pontilhada delimitando a voçoroca	82
Figura 49- Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V2.....	83
Figura 50- (A)Croqui da voçoroca V3 com a espacialização das microfeições encontradas (B) Linha pontilhada delimitando a áreas de ocorrência da voçoroca.....	83
Figura 51 - Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V3.....	84
Figura 52-Volume de material erodido da voçoroca V3	85
Figura 53 - (A) Croqui da voçoroca V4 mostrando a espacialização das microfeições erosivas (B) Linha pontilhada delimitando a área de ocorrência da voçoroca	86
Figura 54 - Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V4.....	87
Figura 55- Concavidade da vertente que se instalou a Voçoroca V1. A linha tracejada mostra a direção do fluxo superficial que ganham velocidade vertente a baixo e com isso o fluxo se concentra em direção a incisão contribuindo para o seu aumento	88
Figura 56 - Formação de crosta provocando eventualmente a selagem do solo nas margens da voçoroca V4.....	89
Figura57- Fragmentos da rocha-mãe encontrados abaixo de um fino horizonte de solo	89

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Classificação das voçorocas por tamanho (m ³).....	26
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	REFERENCIAL TEÓRICO – METODOLÓGICO	15
1.1.1	Os processos erosivos	15
1.1.2	Fatores condicionantes ao desenvolvimento dos processos erosivos	17
1.1.3	Ravinas e Voçorocas	23
1.2	GEOTECNOLOGIAS NOS ESTUDOS DOS PROCESSOS EROSIVOS	26
2	OBJETIVOS	28
2.1	GERAL.....	28
2.2	ESPECÍFICOS.....	28
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	28
3.2	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	30
3.2.1	Geologia	30
3.2.2	Geomorfologia	31
3.2.3	Vegetação	32
3.2.4	Solos	33
3.2.5	Clima e Hidrografia	34
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
3.3.1	Processamento das imagens de sensores remotos	35
3.3.2	Atividades de campo	38
3.3.3	Análises laboratoriais	39
3.3.4	Dados pluviométricos	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	ESPACIALIZAÇÃO E MORFOMETRIA DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES	49
4.2	CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES AOS PROCESSOS EROSIVOS.....	51

4.2.1 Geologia	51
4.2.2 Distribuição Pluviométrica	53
4.2.3 Declividade	53
4.2.4 Os solos	60
4.2.4.1 Densidade e porosidade	63
4.2.4.2 Granulometria do solo	64
4.2.4.3 Morfologia dos grãos.....	67
4.2.4.4 Composição mineralógica dos solos	68
4.2.4.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise química (EDS)	70
4.2.4.6 Matéria orgânica e pH dos solos.....	74
4.2.4.7 Umidade do solo	75
4.2.5 Vegetação no entorno das voçorocas	76
4.2.6 Ação antrópica	78
4.3 MICROFEIÇÕES EROSIVAS IDENTIFICADAS NAS VOÇOROCAS	80
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS FATORES CONDICIONANTES E OS PROCESSOS EROSIVOS	87
_____ CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
_____ REFERÊNCIAS	93
_____ APÊNDICE	102

1 INTRODUÇÃO

Os processos erosivos são considerados agentes externos modeladores do relevo, eles podem se desencadear por meio das ações do clima, águas pluviais ou fluviais e antrópica. Vários são os fatores condicionantes a esses processos, pode-se citar: as precipitações pluviométricas, a declividade das encostas, a morfologia e granulometria do solo, litologia e tipo de vegetação.

A erosão dos solos surge na superfície, incisões, como sulcos, ravinas, voçorocas, dentre outras, constituindo-se em um dos problemas que vem sendo bastante debatido nos últimos anos em muitos países. Atualmente a erosão acelerada dos solos, tanto pela água quanto pelo vento, é responsável por 74% da degradação do solo no mundo (GUERRA, 2012). Este autor ressalta ainda que os problemas de erosão no Brasil são resultantes da combinação de um rápido processo de ocupação do território, solos frágeis, diferentes técnicas utilizadas para o aproveitamento do solo, características climáticas propícias que colaboram com a sua ocorrência de forma intensa. Motivo esse, que mostra ser necessário compreender os processos responsáveis pela erosão, reconhecendo que eles não são meramente físicos, mas também socioeconômicos.

Esses processos iniciam-se a todo o momento na superfície terrestre, seja de forma natural devido à ação das águas, gelo, vento ou antrópica, pois, os solos são erodidos de forma natural e devido ao desmatamento e ocupação de maneira indevida. Uma das características dos processos erosivos lineares é que são facilmente identificados pelo homem devido aos seus diferentes graus de intensidade, profundidade e vestígios nos solos (PINTON; CUNHA, 2008).

Quando se refere aos processos erosivos, vale lembrar que eles podem surgir de modo direto e previsível, resultado da intervenção antrópica no meio ambiente e sem a possibilidade de previsão tão direta. Guerra (2006) destaca a importância dos estudos que abordam essa problemática, onde os solos podem a médio e longo prazo, sofrer transformações se não forem tomadas medidas conservacionistas, que só serão possíveis a partir de estudo detalhado de como atuam os agentes controladores dos processos erosivos lineares (ravinas e voçorocas).

A ampliação do conhecimento sobre erosões do solo é de suma importância, uma vez que, os solos são relevantes para diversas atividades como a agricultura e pecuária. Dentre os estudos realizados no Brasil sobre as feições erosivas lineares destacam-se, Camapum de Carvalho (2006); Jacintho (2006);Vieira (2008); Guerra (2012); Oliveira (2012), que

consistem em importante referencial para o entendimento desses processos, desde o surgimento até suas consequências ambientais e sociais.

Bigarella (2007) e Guerra (2012) afirmam que os processos erosivos causados pela chuva têm abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, pois esses processos atuam com maior intensidade devido à abundância de chuvas.

Em Roraima, várias são as ocorrências de feições erosivas, entre estas, destacam-se aquelas evidenciadas na cidade de Pacaraima, localizada no extremo norte do estado. Esta região caracteriza-se por possuir inúmeras ravinas e voçorocas, que se instalam nas encostas constituindo-se numa feição erosiva marcante na paisagem local.

Portanto, a partir dessas observações, surgiu o questionamento sobre quais eram os fatores responsáveis pelo surgimento das feições erosivas lineares (ravinas e voçorocas) na área de estudo. Tendo como base tal questionamento, buscou-se compreender através de pesquisas bibliográficas, de campo e análises laboratoriais como atuam os fatores controladores responsáveis pelo surgimento das feições erosivas lineares na região.

Entre as alternativas para o estudo dos processos erosivos destacam-se as geotecnologias, que permitem a elaboração de mapas temáticos que auxiliam nas ações de planejamento do uso e ocupação do solo. Os produtos finais gerados em um SIG (Sistema de Informação Geográfica) possibilitam análises mais precisas da superfície terrestre, permitindo a identificação e interpretação dos principais agentes envolvidos na alteração da paisagem (LOUREIRO; FERREIRA, 2013).

Nesse estudo utilizaram-se essas ferramentas como recurso e para tanto, foi utilizado uma abordagem metodológica que se constituiu na espacialização das feições erosivas, caracterização dos fatores responsáveis pelo surgimento das ravinas e voçorocas e por último a análise integrada desses dados, a fim de verificar o grau de susceptibilidade a erosão do solo aos processos erosivos lineares na região.

Conhecer a dinâmica dos processos erosivos e os fatores que os controlam é de extrema relevância, uma vez que, a compreensão do desencadeamento dessas feições erosivas faz-se essencial para mitigar os problemas ambientais e sociais gerados por eles.

1.1 REFERENCIAL TEÓRICO – METODOLÓGICO

O processo erosivo é um fenômeno natural, muitas vezes acelerado pela ação antrópica. Desta forma faz-se necessário conhecer sua dinâmica para um melhor entendimento de como acontece sua evolução. Por isso a necessidade de analisar como os fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, proteção superficial, ação humana, propriedades químicas, físicas e mineralógicas dos solos influem no processo erosivo.

1.1.1 Os processos erosivos

O termo erosão provém do latim (*erodere*) e significa “corroer”, em linhas gerais se refere ao conjunto de processos que atuam na superfície terrestre, levando à remoção de materiais minerais e rochas decompostas (SUGUIO, 1998). Nos estudos ligados à ciência da terra, o termo é aplicado aos processos de desgaste da superfície terrestre (solo ou rocha) pela ação da água, do vento, de queimadas, do gelo e de organismos vivos (plantas e animais), além da ação do homem (CAMAPUM de CARVALHO et al., 2006).

Contudo, Guerra (2009) guiando-se por uma perspectiva na qual o processo erosivo é encarado como um processo de remoção acelerada da camada superficial do solo relata que, a erosão pode ser considerada como a destruição das saliências ou reentrâncias do relevo tendendo a um nivelamento.

Quanto aos grupos erosivos, Camapum de Carvalho et al., (2006) os classificam em: eólica, glacial, organogênica e hídrica. O presente estudo vai se debruçar sobre os de origem hídrica, em razão de a área possuir média pluviométrica significativa.

Segundo Rocha (2007), para diferenciar os tipos de feições erosivas, são utilizados os seguintes termos e definições:

a) Erosão laminar, caracterizada pela remoção de uma fina camada de solo relativamente uniforme, causada pela chuva e pelo escoamento superficial.

b) Erosão linear, caracterizada pela formação de canais, onde a remoção e o transporte das partículas de solo são feitos pelo escoamento concentrado e em velocidades maiores, porém condicionado às características do local, possui um poder erosivo maior formando feições lineares como, sulcos, ravinas ou voçorocas.

A erosão superficial se inicia a partir do momento que o solo fica saturado e propicia a formação de poças na superfície, a água começa a escoar na superfície, primeiramente em

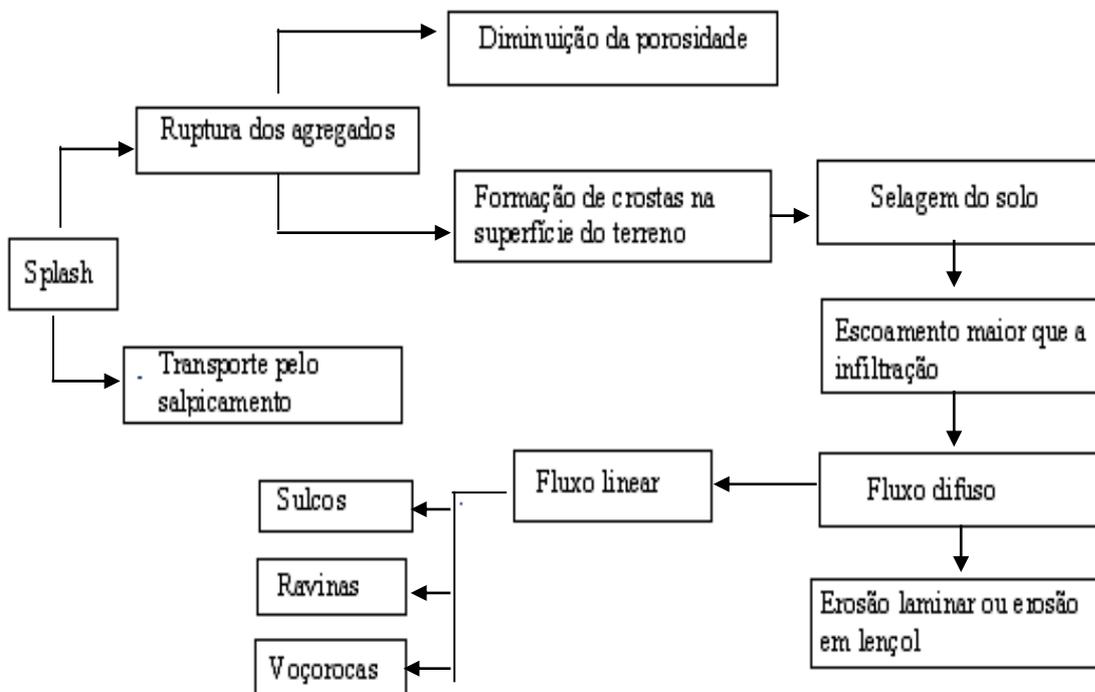
lençol, depois através de fluxos lineares, que evoluem para micro ravinas, podendo algumas formar cabeceiras, e algumas dessas cabeceiras podem bifurcar, formando novas ravinas (GUERRA, 2012). Desta maneira, os processos erosivos vão surgir a partir da ruptura do equilíbrio existente entre o solo e a precipitação pluviométrica, por isso, a água é considerada um dos principais agentes erosivos. De acordo com Guerra (2012 p.17):

Tudo começa a partir do momento que as gotas da chuva começam a bater no solo (*splash*), conseqüentemente a formação de crostas, com a selagem do solo, depois a infiltração de água e a formação de poças, à medida que o solo se torna saturado e a água começa a escoar na superfície primeiramente em lençol, depois através de fluxo linear que evoluem para micro ravinas depois para ravinas e por últimas voçorocas.

A **Figura 1** apresenta um esquema simplificado apontando as etapas do processo erosivo descrito por Guerra (2012) que se inicia com a ação das gotas da chuva no solo (*splash*) podendo evoluir para ravinas e voçorocas.

De acordo com Bigarella (2007), normalmente o processo de ravinamento é iniciado por mudanças na cobertura da vegetação natural, por mudanças climáticas ou pela interferência do homem. Guerra (2011 p.183) complementa essa afirmativa dizendo que o desmatamento, uso agrícola da terra, super-pastoreio e as queimadas, quase sempre são responsáveis diretos pelo surgimento de voçorocas.

Figura 1- Esquema simplificado das etapas do processo erosivo.



O processo responsável pela desagregação do solo, após a retirada da cobertura vegetal em sua superfície, é o impacto das gotículas da água da chuva, com isso os sedimentos são transportados de um local para outro (GUERRA, 2012). Após um longo período de chuvas, esses impactos da água com o solo acabam ocasionando um fluxo de sedimentos que podem originar ravinas, e se o processo for contínuo poderá provocar um incessante aprofundamento do solo, podendo-se chegar ao nível de uma voçoroca, que constituem feições de erosão mais complexa e destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear (ROCHA, 2007).

Segundo Cruz, (2001), as voçorocas possuem formas variadas e de difícil controle, correspondem ao produto da ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, desenvolvendo diversos fenômenos como piping (erosão interna), liquefação de areias, escorregamentos, dentre outros.

Para Bigarella; Becker; Santos (1994), apesar da questão da erosão produtora de voçorocas representar um enfoque sistêmico, verifica-se que em países tropicais onde o índice pluviométrico é mais acentuado, o efeito resultante é o presente dinamismo hídrico que também resulta em forte impacto no ambiente. Este impacto pode ser estudado tendo em vista as características do relevo, o uso e ocupação do solo assim como o tipo de solo em conjunto com outros fatores.

1.1.2 Fatores condicionantes ao desenvolvimento dos processos erosivos

A erosão dos solos têm causas relacionadas à estrutura geológica, a quantidade e distribuição das chuvas, a declividade, propriedade do solo (textura, densidade aparente, porosidade, estabilidade do agregado e matéria orgânica), o comprimento e forma das encostas, o tipo de cobertura vegetal e também a ação do homem, como o uso e o manejo da terra que na maioria das vezes, tende a acelerar os processos erosivos (MENDONÇA; GUERRA, 2004).

a) Quantidade e distribuição das chuvas

A chuva constitui o agente responsável pela energia necessária para a ocorrência da erosão hídrica, não somente pelo impacto direto das gotas sobre a superfície do solo quanto pela sua capacidade de produzir o escoamento superficial.

Desta maneira, a chuva se torna um dos fatores climáticos de relevância na erosão dos solos, o volume e a velocidade da enxurrada dependem da intensidade, duração e frequência

do evento chuvoso (BERTONI; LOMBARDI NETO,1999). A pluviosidade é um fator importante na análise dos processos erosivos, pois, além de provocar o surgimento, intensificam os já existentes. De acordo com Guerra (2012.p.17):

O processo erosivo causado pela água das chuvas tem abrangência em quase toda a superfície terrestre, em especial nas áreas com clima tropical, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. Além disso, em muitas áreas, as chuvas concentram-se em certas estações do ano, o que agrava ainda mais a erosão.

O volume e a intensidade das chuvas podem ocasionar diferentes taxas de erosão, ao provocar a dispersão das partículas, cujo efeito está em função da frequência e duração da chuva. Quanto maior a intensidade da chuva, maior a perda de solo por erosão (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1999).

Para Miranda (2005) a distribuição, quantidade e intensidade das chuvas são fatores importantes, tanto para erosão como para a infiltração. Se cair mais chuva do que a quantidade que se infiltra no solo, ocorre escoamento e erosão.

b)Propriedades do solo

A natureza do solo, com suas propriedades físicas, químicas e biológicas exercem diferentes influências na erosão. Suas condições físicas e químicas, ao conferir maior ou menor resistência à ação das águas, caracterizam o comportamento de cada solo exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal. De acordo com Camapum de Carvalho et al. (2006 p.44):

Mesmo que a chuva, a declividade do terreno e a cobertura vegetal sejam as mesmas, alguns solos são mais susceptíveis ao deslocamento e ao transporte de partículas pelos agentes de erosão que outros. Essa diferença devido às propriedades do solo é conhecida como erodibilidade do solo.

As principais características do solo que podem influenciar no processo erosivo são:

■ Textura

Está relacionada à distribuição de tamanhos de partículas minerais que se pode encontrar em determinadas seções do solo ou mesmo em um perfil, dependendo do tipo de solo (AZAMBUJA,2007). A investigação textural de um solo é realizada a partir de processamento analítico de separação das partículas pelo método de análise granulométrica.

Segundo Oliveira (2012), a textura desempenha grande influência no volume de água que pode ser armazenado no solo, pois ela determina o tamanho, a quantidade e a continuidade dos poros. Geralmente solos com poros menores apresentam maior capacidade de armazenamento e retenção de água.

Para Jacintho et al.(2006), a textura constitui um dos principais aspectos físicos que distinguem os solos tropicais lateríticos dos demais tipos de solos, pois interfere diretamente no solo, afetando parâmetros hidráulicos e mecânicos que influenciam no surgimento e evolução dos processos erosivos.

■ Densidade

Define a quantidade de água que um solo é capaz de absorver, portanto é de suma importância à compreensão do processo erosivo de um solo. A densidade de partícula (d_p) refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade.

Entende-se por densidade real (d_r) a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas. Nos solos seus valores variam, em média, entre os limites 2,30 e 2,90 g cm³. Como valor médio, para efeito de cálculos, por exemplo, pode-se considerar a (d_r) como 2,65 g cm³, isto porque os constituintes minerais predominantes nos solos são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65 g cm³. Em mineralogia, a densidade real é uma importante informação para auxiliar a identificação dos minerais. De acordo com a densidade real, são os minerais classificados em leves, quando a densidade real é menor que 2,85 g cm³, e pesados, quando acima desse valor (RABELO, 2000).

Embora os solos de textura fina possuam densidade aparente menor que solos de textura grossa (arenosa), as partículas sólidas de solos com textura fina tendem a formar micro agregados (grãos porosos) que, na presença adequada de material orgânico tende a elevar a porosidade do solo e a rebaixar a densidade de volume (AZAMBUJA,2007).

■ Porosidade

Entende-se pelo volume não ocupado pelos constituintes sólidos do solo. Tal volume é ocupado pelo ar ou pela água (SILVA,2012). A porosidade é muito importante para o solo, é através dela que se dá a transferência de sólidos, líquidos e gases no interior do solo, bem como a atividade biológica.

Portanto, solos com baixa porosidade tendem a formar sobre sua superfície crostas de selagem. Guerra (2012), afirma que o surgimento deste processo pode afetar diretamente a

taxa de infiltração de um solo e, por conseguinte, elevar a taxa de escoamento superficial, resultando em uma maior perda de solo.

■ Estabilidade do agregado

É outra propriedade avaliada nos estudos dos processos erosivos do solo. A formação de um agregado pode sugerir, atuação direta de microrganismos responsáveis pela cimentação e modelagem dos mesmos, e ainda, fissuração ou quebra de domínios floculados, relativos ao teor de umidade presente em argilas expansíveis (SILVA,2012). Os agregados atuam no solo como agentes estruturadores, variando em sua forma, tamanho e grau de desenvolvimento.

Assim, a presença de material orgânico nos solos é citada por Guerra (2012), como uma das maiores indicações de estabilidade de um solo, pois a diminuição de matéria orgânica na superfície afeta diretamente a estabilidade dos agregados e micro agregados. Azambuja (2007) acrescenta que, os agregados do solo são responsáveis pelo aumento de sua porosidade. Com efeito, solos que se mantêm estáveis, adquirem alta capacidade de infiltração e, sobre a presença apreciável de matéria orgânica, as propriedades químicas e físicas podem beneficiar a estabilização dos agregados.

Portanto, o conhecimento em relação às propriedades dos solos é de grande importância para os estudos relativos à modificação da paisagem ocasionada por processos erosivos.

c) Cobertura vegetal

A vegetação atenua o impacto das precipitações, diminuindo a força de impacto das gotas de água no solo; também diminui a velocidade da água, uma vez que se torna um obstáculo. As raízes propiciam uma maior sustentação mecânica do solo e as raízes mortas favorecem a existência de canais (drenagem) onde a água pode penetrar, diminuindo a quantidade de água que escoar na superfície (CASTILHO; TEIXEIRA FILHO, 2001).

Segundo Bertoni;Lombardi Neto (1999) e Crepani et al. (2001), os principais efeitos da cobertura vegetal perante os processos erosivos são:

- ✓ Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno que promove a desagregação das partículas;
- ✓ Dispersão e quebra da energia das águas da chuva;

- ✓ Possibilita o aumento da infiltração, devido ao trabalho das raízes.
- ✓ Suporta a vida silvestre que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumentam a porosidade e a permeabilidade do solo.

Portanto, vegetação natural exerce uma melhor atuação na proteção dos solos frente à ação do efeito *splash* e contra a ação do escoamento concentrado, já na vegetação artificial tem perdas bem maiores de solo. Assim, a cobertura vegetal funciona como um escudo de proteção do solo contra a erosão.

Vale destacar a importância da serapilheira na proteção dos solos, pois a mesma protege o solo contra as elevadas temperaturas, armazena em seu conteúdo uma grande quantidade de sementes aptas a germinar ou em estado de dormência, abriga uma abundante fauna composta por micro e macro invertebrados que atuam na decomposição desses materiais, fertilizando naturalmente os solos e nas primeiras chuvas, a proteção se volta para evitar o impacto direto das gotas das chuvas (SANTANA et al., 2003).

Com isso é sabido que, um solo sem cobertura vegetal ou com cobertura vegetal insuficiente estará submetido à erosão. A destruição da vegetação pode ocorrer através da derrubada direta pelo homem, remoção pela pecuária intensiva e pela ação fogo.

d) Características das encostas

As encostas variam bastante em forma, comprimento e declividade, de um local para outro e, algumas vezes, podem variar bastante num mesmo local (GUERRA, 2011). Para Vieira (2008) quanto maior o comprimento da encosta, menor possibilidade de ocorrência de feições lineares como as voçorocas, uma vez que quanto maior o comprimento da encosta, maior o atrito e maior superfície de infiltração que por sua vez contribuem para o menor desgaste erosivo.

Morgan (1986 apud VIEIRA,2008) ressalta que nem sempre encostas muito íngremes vão facilitar o surgimento e evolução dos processos erosivos pois, a erosão pode diminuir pela falta de material disponível.

Barini (2010), destaca que uma encosta de forma plana ou levemente convexa tenderá a se processar a erosão em lençol; já em encosta com a superfície côncava, a princípio poderá evoluir para a erosão em voçorocas devido à convergência das águas para partes mais baixas do terreno.

No entanto Vieira (2008) destaca que as encostas convexas com topo plano podem estar susceptíveis aos processos erosivos lineares pois, podem armazenar água e depois liberá-las em fluxos concentrados que podem dar início as ravinhas e conseqüentemente evoluir para voçorocas.

e) Ação antrópica

Atualmente, a erosão dos solos é um processo pertinente que atinge tanto ambientes urbanos quanto rurais. É de relevância destacar que é um fenômeno natural, podendo ser intensificado pela ação da sociedade, refletindo em paisagens degradadas (FUSHIMI,2012).

Inúmeros são os trabalhos publicados no Brasil sobre erosão dos solos Baccaro (1999), Almeida; Guerra, (2001), Guerra (2004), Vieira (2008), Mendonça; Fushimi (2012),Oliveira (2012). Sendo assim é possível encontrar em todos os estados brasileiros, seja nas áreas rurais ou urbanas os processos erosivos. Um exemplo, segundo Mendonça; Guerra (2012) é São Luiz e Açailândia no Maranhão que sofrem com processos erosivos acelerados devido à dinâmica climática e populacional. Tanto a paisagem urbana como rural desses municípios apresentam diversas voçorocas, que surgiram em virtude do uso inadequado do solo resultado da expansão urbana.

Outro exemplo é o Domínio Natural dos Cerrados, que abrangem uma grande área correspondente a alguns estados brasileiros. Baccaro (1999) desenvolveu uma pesquisa nesse bioma, chegando à conclusão que os processos erosivos se desencadearam devido ao uso e ocupação desordenada do solo, seja para práticas agrícolas ou de pastagens.

f) Fatores geológicos

De acordo com Bacellar;Coelho Netto; Acerda (2001) os estudos do desencadeamento dos processos erosivos devem levar em consideração os fatores geológicos com destaque para a litologia e estrutura, como agentes condicionantes pois, a geologia desempenha papel significativo no desenvolvimento dos processos erosivos lineares, na medida que interfere diretamente na erodibilidade dos solos.

Contatos geológicos, diques ou até mesmo bandas internas à rocha de composição diferente são suficientes para impedir ou desviar a propagação de uma voçoroca, (BACELLAR; COELHO NETTO; ACERDA, 2001).

Beserra Neta (2007) em seu estudo sobre a evolução da paisagem na serra do Tepequém, observou que as voçorocas de maiores dimensões possuem orientações preferenciais a NE-SW, conforme o controle estrutural da área. Essas observações permitem verificar a influência das estruturas geológicas no surgimento dos processos erosivos.

Almeida Filho (2001) destaca que as características litológicas do substrato rochoso, associadas à intensidade do intemperismo, à natureza da alteração e grau de faturamento, condicionam a suscetibilidade do material à erosão.

1.1.3 Ravinas e Voçorocas

As feições erosivas lineares podem ser diferenciadas de acordo com seu estágio de desenvolvimento podendo ser classificados em:

a) Sulcos

Constituem-se nas feições relacionadas ao estágio inicial dos processos erosivos lineares. Esta feição caracteriza-se por pequenos canais nas superfícies do terreno advindos da concentração de linhas de fluxo de água (PINTON; CUNHA,2008).

b) Ravinas

Diferenciam-se dos sulcos por possuírem maior profundidade dos canais observados na superfície do terreno. As ravinas constituem um tipo de feição de escoamento concentrado, e se formam quando o fluxo de água aumenta na encosta por ocasião de grandes episódios chuvosos (SUERTEGARAY,2008).

Desta maneira, em áreas onde há vulnerabilidades geológicas e pedológicas ou condicionadas pelo uso da terra, o fluxo pode vir a ser linear, concentrado, atenuando sua velocidade e aumentando a profundidade (FUSHIMI, 2012).

c) Voçorocas

O estágio mais evoluído dos processos erosivos lineares são as voçorocas (Figura 2), que constituem uma forma impressionante e também muito complexa do processo erosivo, pois nelas atuam diferentes processos que vão desde o escoamento superficial até os de erosão interna como os solapamentos, pipings, desabamentos, escorregamentos e outros que de maneira alternada operam durante a sua evolução, gerando feições de grandes dimensões.

Contudo, diversas definições podem ser encontradas na literatura nacional no que se refere às suas diferenciações em relação às ravinas. Suertegaray (2008), diz que voçorocas

têm paredes laterais íngremes, em geral fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os períodos chuvosos.

Para Almeida; Teixeira Filho (2014), uma ravina seria resultado do escoamento superficial, enquanto uma voçoroca seria o canal esculpido pelo afloramento do lençol freático no fundo da incisão. Vieira (1998) caracteriza uma voçoroca, como incisão erosiva que apresenta queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano, secção transversal em U e profundidade superior a 1,5 m.

Oliveira (2012) descreve as ravinas e voçorocas como incisões resultantes de desequilíbrios naturais ou induzidos pela ação antrópica. Tanto Guerra (1998), quanto Oliveira (2012) utilizam a profundidade e a largura superiores a 0,50 m como parâmetro para diferenciar ravina de voçoroca.

Diante de diversas definições, nesse trabalho será utilizada a definição de Guerra (1998), que considera ravinas incisões de até 50 centímetros de largura e profundidade, acima desses valores seriam denominadas de voçorocas. Essas incisões erosivas podem ser classificadas quanto à seção transversal, o tipo a forma e o tamanho.

Quanto à seção transversal, as voçorocas se classificam em formato “V” ou em “U”, os quais dependem das condições climáticas e de solo, idade da voçoroca e do tipo de erosão. O formato em “U” é normalmente encontrado em regiões onde o solo e subsolo são mais erodíveis. O formato em “V” é relativo aos solos mais resistentes à erosão, embora seja frequente encontrar ambo os formatos numa mesma voçoroca, independente de sua idade ou estabilização (SILVA,2012).

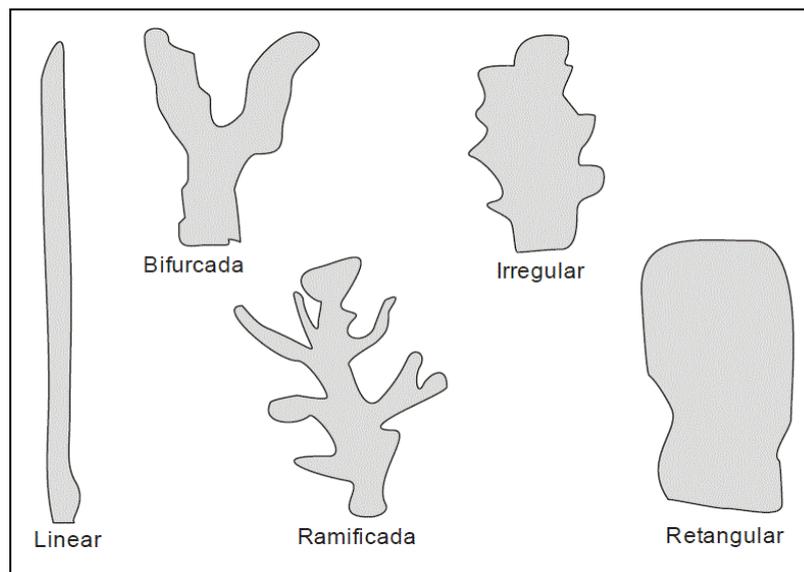
Figura 2- Voçoroca localizada na margem direita BR 174, município de Pacaraima, representando o estágio mais evoluído dos processos erosivos.



Foto de Luiza Câmara (2016)

No que se refere às formas das incisões podemos verificar na **Figura 3** cinco formas distintas, Vieira (2008) em seus estudos sobre os processos erosivos em Manaus-AM, as classifica da seguinte forma: linear, bifurcada, irregular, retangular e ramificada.

Figura 3- As diferentes formas das incisões erosivas segundo Vieira(2008).



Fonte: Vieira (2008)

Outro parâmetro importante ao se estudar as voçorocas é o seu tamanho caracterizado pelo volume médio erodido da incisão. Segundo Vieira (2011), existem cinco escalas de tamanho, conforme descritos na (Tabela 1).

Tabela 1- Classificação das voçorocas por tamanho (m³)

Ord.	Volume erodido	Tamanho
01	Até 999 m ³	Muito pequena
02	De 1.000 m ³ até 9.999 m ³	Pequena
03	Entre 10.000 m ³ e 19.999 m ³	Média
04	Entre 20.000 m ³ e 40.000 m ³	Grande
05	Mais de 40.000 m ³	Muito grande

Fonte: Vieira; Albuquerque (2004)

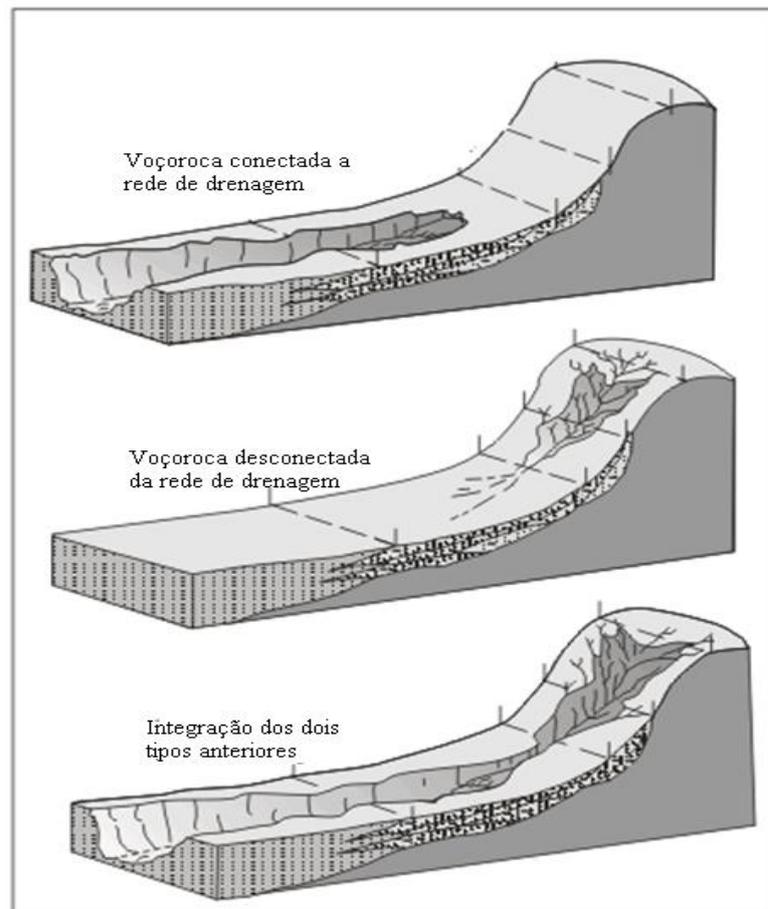
Em relação ao tipo das voçorocas Oliveira (2012), elaborou um modelo destacando três padrões principais de voçoroca (Figura 4):

a) conectadas á rede regional de canais onde prevaleceriam os fluxos sub-superficiais;

b) desconectadas e que ocorrem nas encostas superiores das cabeceiras de drenagem, com fluxos superficiais dominantes;

c) as resultantes da junção das duas anteriores, com uma interação de fluxos superficial e sub-superficial.

Figura 4- Os três principais padrões de evolução das voçorocas segundo Oliveira (1999).



Fonte: Oliveira (1999)

1.2 GEOTECNOLOGIAS NOS ESTUDOS DOS PROCESSOS EROSIVOS.

Buscando encontrar alternativas para minimizar impactos decorrentes desses fenômenos, são comuns os estudos que utilizam as geotecnologias, para prever áreas vulneráveis ao desencadeamento de processos erosivos e para mapear as áreas atingidas por eles (LOUREIRO; FERREIRA, 2013).

Flauzino et al. (2010), ressaltam que as geotecnologias existentes possibilitam a aquisição e manipulação de informações espaciais, sendo ferramentas relevantes para o levantamento, monitoramento e mapeamento das feições erosivas lineares. Alguns exemplos

dessas geotecnologias são: Sensoriamento Remoto, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), a cartografia digital, e o Sistema de Posicionamento Global (GPS), que permitem integrar dados geo-referenciados.

A conceituação de Stern et al.(2005), sobre os sistemas de informações geográficas, declara que, as mesmas introduziram um avanço tecnológico no conjunto e armazenamento de dados para inventários, monitoramentos, análises e simulações ambientais. Os mapas temáticos em formato digital passaram a ser armazenado em SIG como uma série de camadas geo-referenciadas, onde cada camada ou plano de informação contém os atributos de um fenômeno espacial (NOVO,2008).

Miranda (2005), destaca que o uso das geotecnologias permite visualizar e analisar a situação da área de estudo, além de anexá-las a bancos de dados geo-referenciados, obtendo uma ferramenta para tomadas de decisões. As vantagens do uso de imagens de satélite são inúmeras, como a relação custo-benefício, disponibilidade e aplicabilidade.

As informações coletadas em campo e imagens de satélite são possíveis de serem sistematizadas por meio da utilização de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Nesse sentido, Florenzano (2002) complementa que o Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

As imagens de Sensoriamento Remoto podem auxiliar na identificação dos lineamentos, geometria das vertentes e cicatrizes deixadas na superfície pela erosão acelerada. A partir da interpretação dessas imagens os processos erosivos podem ser estudados e monitorados, pode-se mapear as áreas submetidas aos processos de erosão e com o uso de um SIG pode-se integrar informações e gerar um mapa de áreas de risco de erosão (FORENZANO,2002).

Atividades científicas dos mais diversos campos têm sido beneficiadas por estes avanços de processamento de dados. Quanto aos avanços metodológicos, é notável o uso crescente da integração de dados a partir do atributo inerente da localização.

As técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento têm sido utilizado em inúmeros trabalhos de pesquisa nas áreas de geologia e geomorfologia desenvolvidas no estado de Roraima, dentre eles pode-se destacar o de Beserra Neta (2007) que utilizou esses recursos para uma melhor compreensão da evolução da paisagem na Serra do Tepequém. Parte de sua pesquisa está relacionada ao entendimento dos processos de voçorocamento na Serra, e o de Nascimento (2013) na mesma área que utilizou técnicas fotointerpretativas em

imagens de sensores remotos, a fim de mapear e caracterizar as feições morfoestruturais, que formam a paisagem atual.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Analisar os processos geradores das feições erosivas lineares na sede do município de Pacaraima-RR, a partir da análise dos fatores condicionantes.

2.2 ESPECÍFICOS

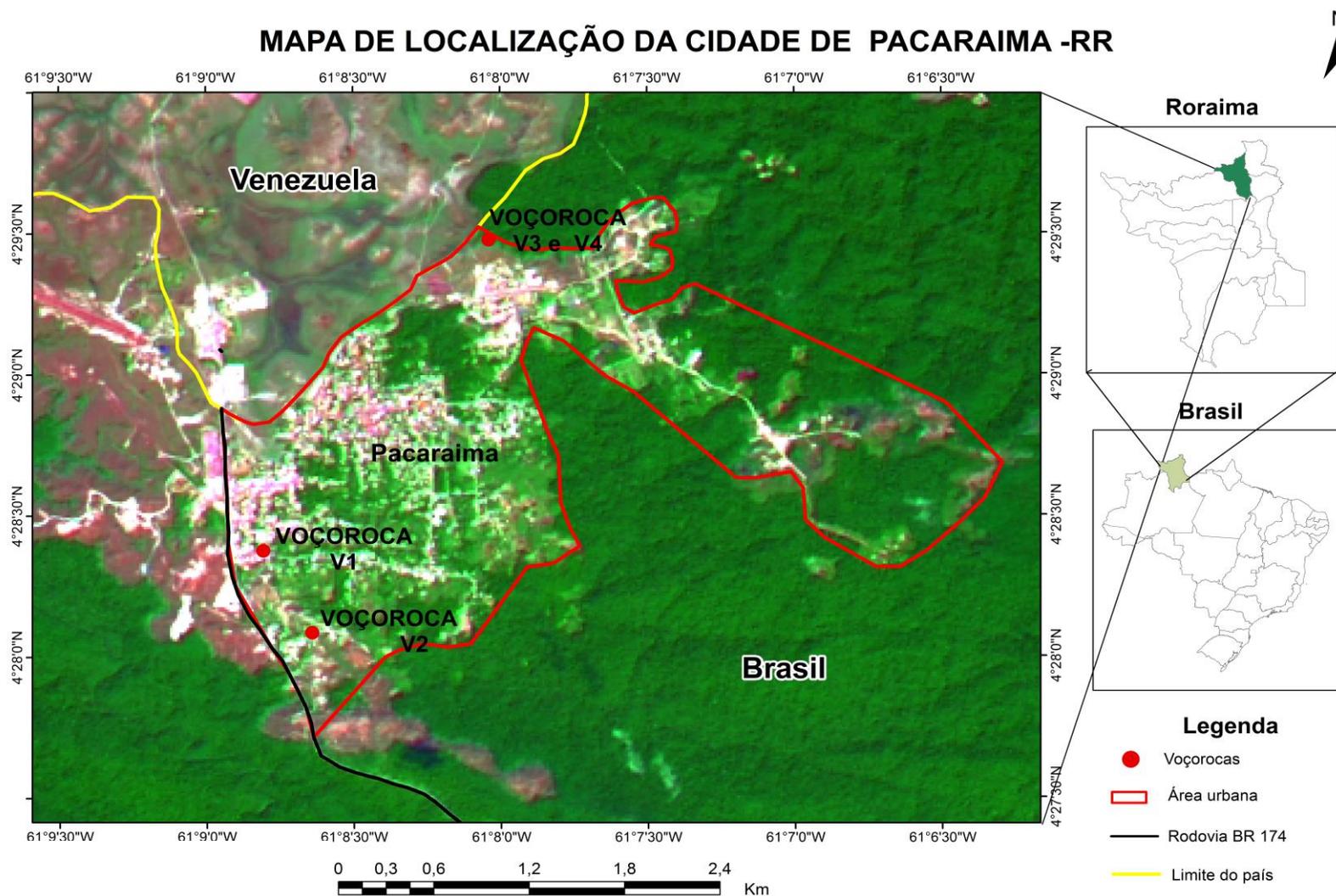
- ✓ Apresentar a disposição espacial das feições erosivas lineares existentes, caracterizar morfometricamente as feições erosivas;
- ✓ Descrever os fatores condicionantes da geração das feições erosivas lineares;
- ✓ Compreender a susceptibilidade do solo aos processos erosivos lineares.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo é a sede do município de Pacaraima que está localizado no extremo norte de Roraima, compreende uma área de 165,6 km², com limites estabelecidos pelas coordenadas UTM 715515 E, 487635 N. Está a 214 km de Boa Vista, o acesso é feito pela rodovia BR 174 (Figura 5).

Figura 5- Carta imagem do mapa de localização da cidade de Pacaraima. Imagem OLI/ Landsat 8, órbita / ponto 232/57, correspondente a fusão da composição colorida 6R5G4B X banda 8 (pancromática), com resolução espacial de 15 metros.



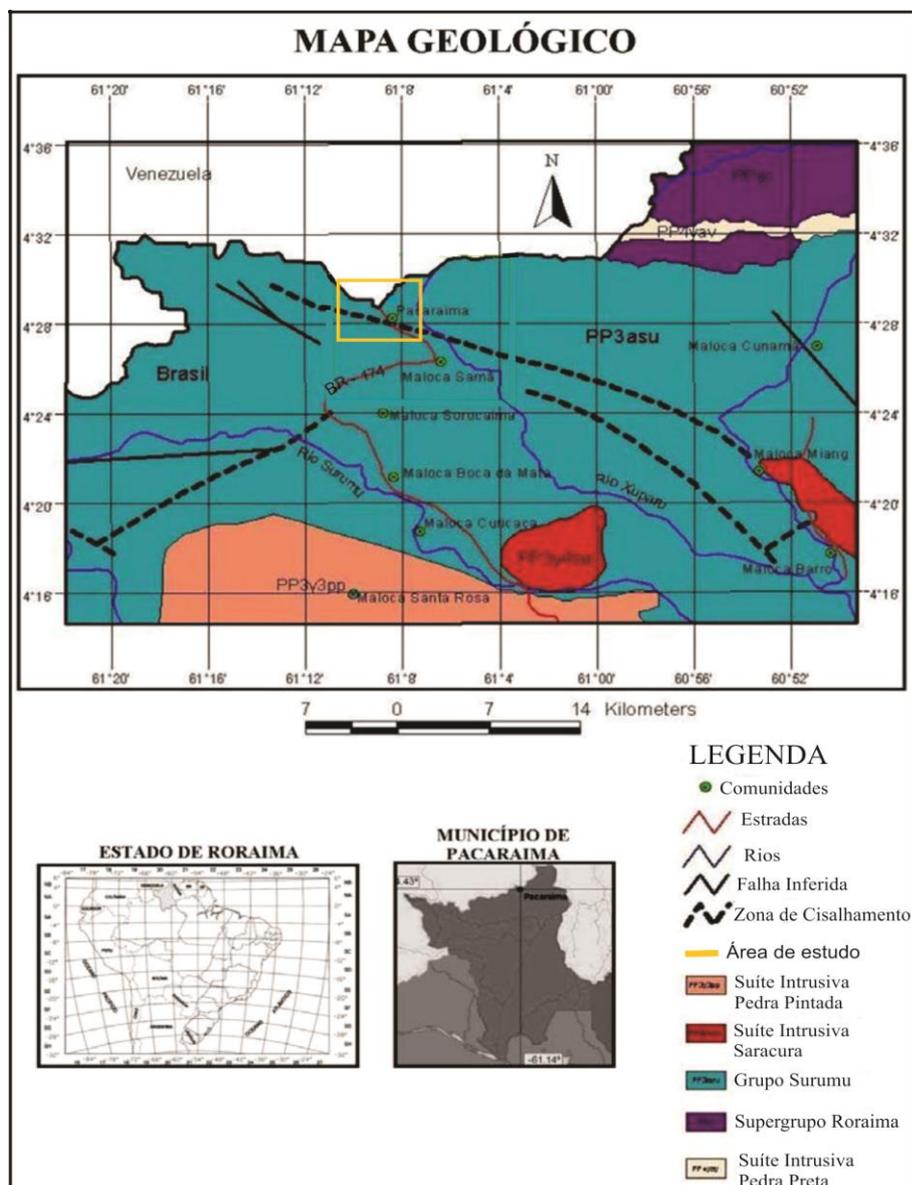
Elaboração: Marta Melo(2016)

3.2 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS

3.2.1 Geologia

A área de estudo está sobre a formação geológica identificada como Grupo Surumu pertencente ao domínio litoestrutural homônimo (REIS et al., 2003). Esse grupo recobre uma vasta área e corresponde a tipos intermediários a predominantemente ácidos, de natureza calcealcalina, incluindo lavas e rochas piroclásticas (Figura 6).

Figura 6- Mapa Geológico da parte norte do estado de Roraima mostrando a variação litológica de unidades paleoproterozóicas vulcano-plutônicas e da sequência sedimentar do supergrupo Roraima. Ressalta-se ainda o pleno domínio dos litotipos vulcânicos do grupo Surumu na área de estudo.



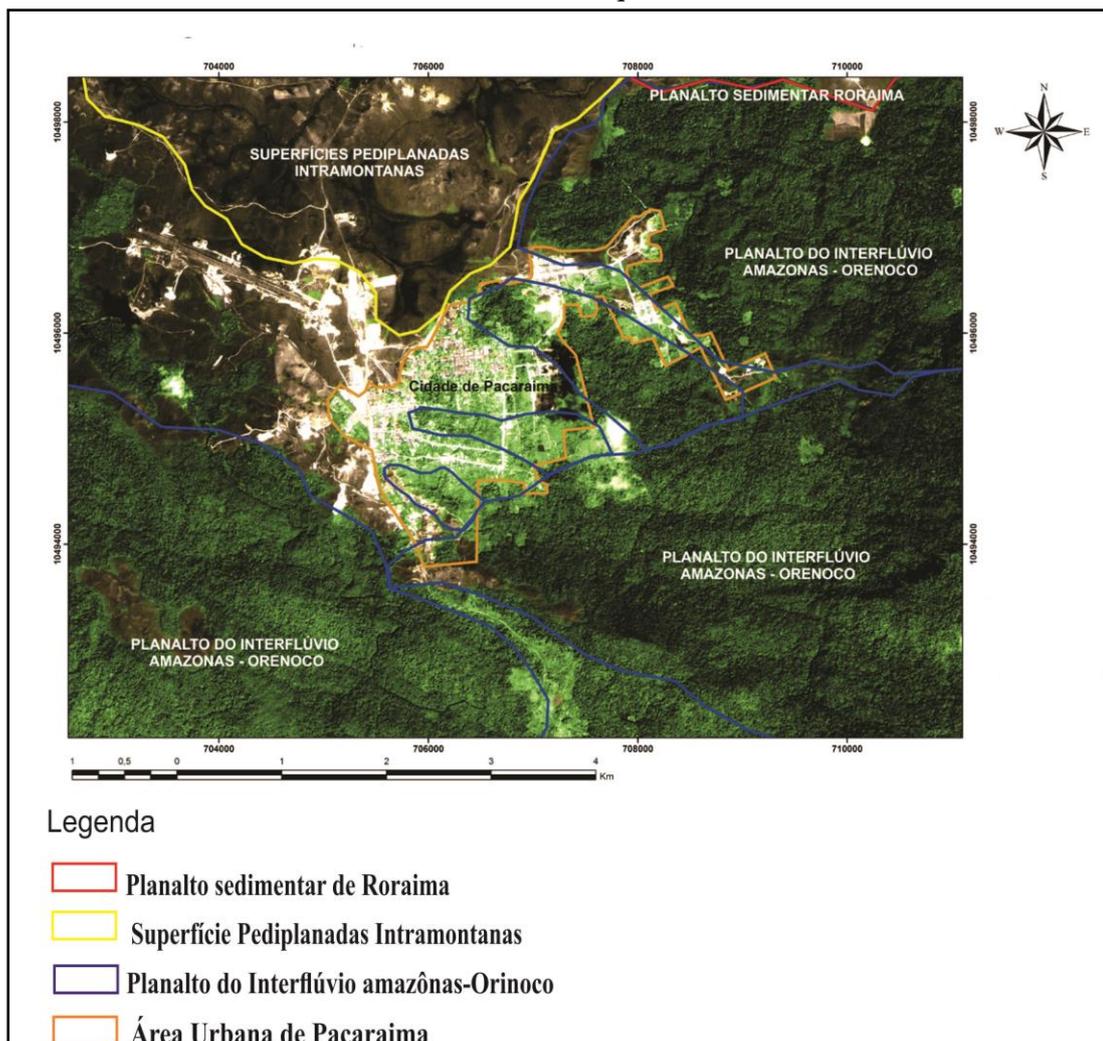
Fonte: Almeida (2008)

Este conjunto vulcânico forma o substrato para as rochas sedimentares do Supergrupo Roraima, que assentam sobre um importante pacote piroclástico (DREHER, et al.,2005), distribuído em uma extensa área ao norte de Roraima, aproximadamente 20.000 km², sendo constituído por andesitos, diocitos, riolitos, ignimbritos e riocacitos (FRANCO et al.,1975).

3.2.2 Geomorfologia

De acordo com os trabalhos de Franco et al. (1975); Costa (2008); Beserra Neta e Tavares Junior (2008); Nascimento, Beserra Neta e Tavares Junior (2011), a cidade de Pacaraima e as áreas de entorno pertencem a três unidades geomorfológicas: Planalto Sedimentar de Roraima, Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco e Superfícies Pediplanadas Intramontanas (Figura 7).

Figura7- Unidades Geomorfológicas que compõem a porção norte de Roraima, em destaque o Planalto do Interflúvio Amazonas – Orenoco no qual a área de estudo está inserida.



Fonte: Nascimento, Beserra Neta e Tavares Junior (2011)

O primeiro envolve os relevos tabulares esculpidos em rochas sedimentares do Supergrupo Roraima. Apresenta morfologicamente relevo tabular com grande predomínio de mesas de topos planos. Suas escarpas limitam-se com extensos pedimentos ravinados resultantes em sua maioria da atuação da erosão pluvial e a topografia normalmente coincide com a estrutura geológica (BEZERRA NETA; TAVARES JÚNIOR, 2008).

As feições lineares e anômalas desse domínio geomorfológico sugerem um forte controle estrutural dos elementos da paisagem, indicando processos de denudação em presença de atividade neotectônica (PINHEIRO,1990).

Planalto do Interflúvio Amazonas - Orenoco constitui em boa parte o divisor de águas das bacias dos rios Amazonas e Orenoco, é uma extensa área montanhosa, com direção geral SW-NE, sustentada pelas rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas do escudo das Guianas. Em termos morfológicos caracteriza-se por formas dissecadas em cristas e colinas com vertentes ravinadas de forte declive e vales encaixados (BESERRA NETA; TAVARES JUNIOR, 2008).

As formas de relevo apresentam em sua maior parte vertentes com forte declividade, resultantes do encaixamento da rede de drenagem, sobretudo nas fraturas e falhas que atingiram as rochas. Todo o conjunto de serras que forma o planalto do interflúvio Amazonas-Orenoco apresenta-se intensamente dissecado, com drenagem bem aprofundada, originando patamares. Os tipos de dissecação são cristas e colinas com vertentes ravinadas, com altitudes que variam de 600 a 2.100 metros (FRANCO et al.,1975).

Intercaladas a essas duas unidades estão as Superfícies Pediplanadas Intramontanas, áreas aplainadas e rebaixadas em relação ao relevo das imediações (BESERRA NETA; TAVARES JUNIOR,2008)

3.2.3 Vegetação

A vegetação característica da região de Pacaraima está representada pela Floresta Ombrófila Montana com a presença de árvores robustas e altas, floresta estacional semidecidual e Savana Estépica parque que estabelece um abrupto contato com a região de Floresta próxima à fronteira com a Venezuela IBGE (2005).

Segundo Evangelista; Sander; Wankler (2008), os aspectos geomorfológicos da área associados à pluviosidade, é que definem esse mosaico de diferentes formações vegetais, como florestas e savanas.

De acordo com Almeida (2008) na região encontra-se a vegetação secundária que denuncia o processo de desmatamento e queimadas associado à agricultura itinerante e práticas não conservacionistas de manejo do solo. A **Figura 8** apresenta vegetação do tipo savana parque sem palmeiras, com um tapete graminoso em transição com a floresta Ombrófila Montana.

Figura 8- Fitofisionomia da savana parque, composta por gramíneas e arbustos em transição com as florestas Ombrófila representada por árvores de porte médio e alto. Há também presença de vegetação secundária.



Foto de Luiza Câmara (2016)

3.2.4 Solos

Os solos da região são derivados da decomposição das rochas vulcânicas ácidas do Grupo Surumu cuja influência é notada nas feições pedológicas da área (Figura 9), geralmente possuem baixa fertilidade, e apresentam perfis truncados (VALE JÚNIOR; SOUSA E NASCIMENTO, 2014).

Levando em consideração os estudos de Vale Júnior; Schaefer (2010) os solos da área de estudo são representados por: Neossolo Litólico distrófico típico; Argissolo Vermelho - Amarelo distrófico arênico; Argissolo Vermelho-amarelo e Amarelo.

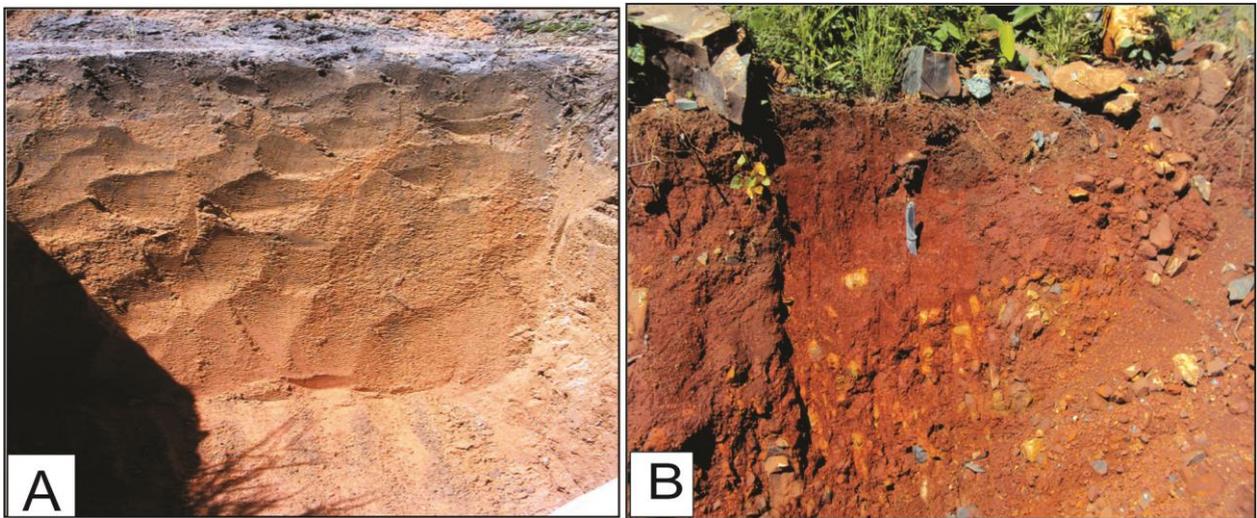
a) Neossolos litólicos são formados por produtos da decomposição das rochas ígneas ácidas ou básicas, são solos rasos pouco desenvolvidos, de profundidade até 50 cm, cascalhentos. Os

perfis apresentam horizonte A assentado sobre a rocha- mãe e são quimicamente muito pobres.

b) Argissolo Vermelho –Amarelo distrófico arênico, apresenta textura arenosa desde a superfície até no mínimo 50cm até no máximo 100 cm de profundidade. Ocorrem geralmente em áreas de relevo ondulado e são considerados de baixa fertilidade.

c) Argissolos Vermelho-Amarelo e Amarelo ocupam as bordas dos topos mais aplainados da paisagem, em relevo ondulado a fortemente ondulado, ocorrem sob vegetação do tipo savana ou florestas nas suas mais variadas fitofisionomias, são profundos e bem drenados.

Figura 9- Perfil de solo (A) Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico arênico (B) Neossolo Distrófico.



Fonte: Vale Júnior; Sousa e Nascimento(2014)

3.2.5 Clima e Hidrografia

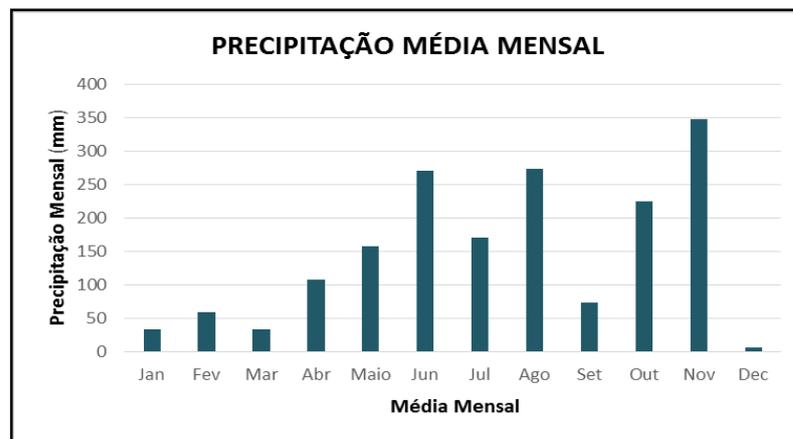
Segundo a classificação de Köppen o clima do município é “Am”, é um clima intermediário entre Aw e o Af, com estação seca bem definida. Este clima se estabelece em um corredor florestal que sofre influência das savanas, das florestas úmidas e dos altos relevos do norte de Roraima (BARBOSA,1997).

No entanto Sander; Wankler; Carvalho (No prelo) em estudos recentes constataram que houve um avanço do tipo climático Af de forma importante por cerca de 280 km no limite norte do estado de Roraima com a Venezuela no sentido oeste-leste em áreas associadas ao tipo climático Am.

A região é regada por altos índices pluviométricos, pode-se observar na **figura 10** que as chuvas na região para o ano de 2014 se intensificaram a partir do mês de junho sendo os meses de dezembro a março os menos chuvosos.

A hidrografia da região é representada pela Macro-Região Hidrográfica do Alto Rio Branco, e têm o rio Surumu como drenagem principal, que recebe águas de inúmeros igarapés de menor porte que descem das serras da região (IBGE,2005).

Figura 10-Distribuição pluviométrica ocorrida no ano de 2014 no município de Pacaraima, em destaque os meses de Junho, Agosto e novembro onde se concentraram as precipitações.



Fonte: Agência Nacional de Águas (2016)

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados nesse estudo foram primeiramente a pesquisa bibliográfica, cartográfica e de imagens ópticas, referente à área de estudo, posteriormente na etapa pré-campo as imagens foram processadas para atenuação dos constituintes atmosféricos.

Na etapa seguinte foi realizada as atividades de campo que consistiu na escolha, coleta de amostras e dados morfométricos das incisões. Na sequencia foram realizadas as análises de laboratório das amostras de solo recolhidas, os referidos procedimentos estão descritos a seguir.

3.3.1 Processamento das imagens de sensores remotos

Os procedimentos metodológicos utilizados para o processamento das imagens (Figura 11) iniciou-se com a aquisição das imagens ópticas multiespectrais do sensor OLI(*Operation Land Imager*) do satélite Landsat8 nas bandas de resolução espacial de 30x30m na

composição colorida 6(R),5(G),4(B) e banda 8 (Pan-cromática) de resolução espacial de 15x15m, referentes a órbita/ponto 232/57 adquirido em 20 de dezembro do ano de 2014 e as do *Shuttle Radar Topographic Mission SRTM* relativas à carta N04_W 062, que abrangem a área de estudo, com resolução espacial de 30 metros, de 23 de setembro de 2014. Tanto as imagens SRTM quanto as multiespectrais foram adquiridas sem custos no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey -USGS*).

Após a aquisição das imagens de satélite, foi realizado o processo de obtenção das imagens de reflectância. Esse procedimento foi necessário para atenuar a interferência dos constituintes atmosféricos, bem como obter uma imagem correspondente a uma propriedade física inerente do alvo.

A técnica de atenuação da interferência dos constituintes atmosféricos foi o DOS (dark object subtraction) proposto por Chávez (1988), que utiliza dados provenientes da própria imagem, é um método simples para correção do espalhamento atmosférico no qual a interferência atmosférica é estimada diretamente a partir dos números digitais (ND) da imagem, sendo ignorada a absorção atmosférica. O método utiliza informações obtidas na própria imagem como, sensor, data da imagem, ângulo de elevação solar e ganho para cada banda. Para tanto, foi utilizada a planilha eletrônica de Gurtler et al. (2005), a fim de obter o valor de ND a ser subtraído das imagens das bandas espectrais.

As imagens de reflectância foram geradas a partir de um algoritmo descrito na linguagem LEGAL do aplicativo Spring, cujos dados de radiância e do ângulo de elevação solar são obtidos dos arquivos digitais que contém as imagens, a fim de calcular os valores de reflectância através das equações:

$$RAD = L_{min} + (L_{max} - L_{min}) \cdot ND / 255, \text{ onde}$$

RAD = radiância espectral ($m W cm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

L_{min} = radiância espectral correspondente ao ND mínimo

L_{max} = radiância espectral correspondente ao ND máximo

ND = Número digital do pixel analisado

Posteriormente, os valores de radiância são utilizados para calcular as reflectâncias.

$$p = \pi L d^2 / E_{sol} \cos \theta, \text{ onde}$$

p = reflectância aparente

L = radiância espectral no detector ($m W cm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)

d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas

E_{sol} = irradiação solar média no topo da atmosfera ($m W cm^{-2} \mu m^{-1}$)

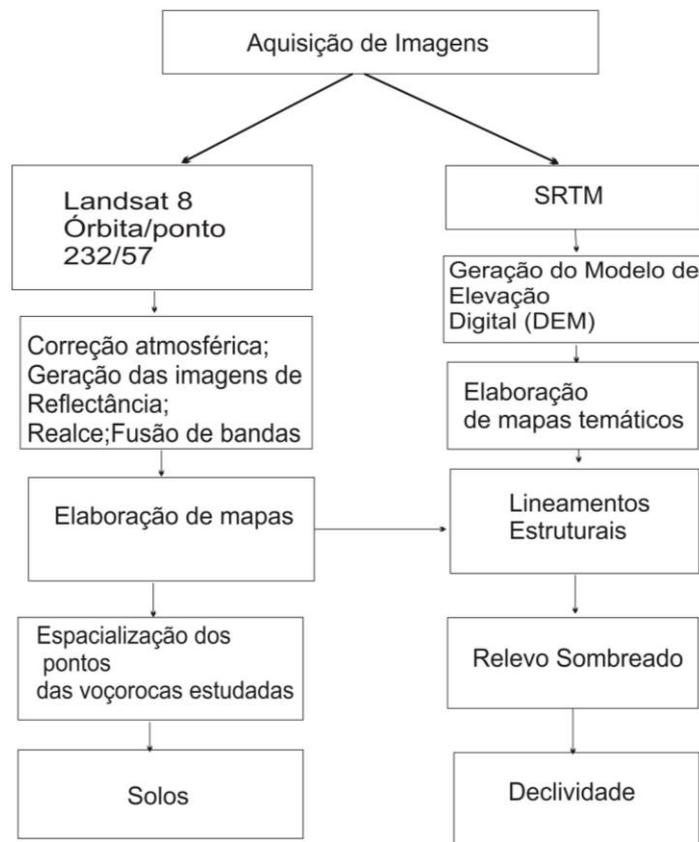
θ = ângulo solar zenital, em graus

As operações de realce consistiram na aplicação da função linear para ampliação do contraste, visando à obtenção de maior qualidade visual nas imagens, bem como na fusão, via técnica IHS entre as imagens da composição colorida 6R5G4B bandas 4 (B), 5 (G), 6 (R) com a banda 8 (Pan-Cromática).

Os processamentos nas imagens SRTM consistiram na aplicação das operações de recorte com finalidade de obter a completa cobertura da área. A operação de realce consistiu na aplicação de contraste para melhor definição das variações de tons de cinza.

A imagem SRTM serviu de base para a elaboração dos mapas de declividade que utilizou a metodologia de classificação da Embrapa (1979), relevo sombreado e lineamentos estruturais, utilizando a escala de 1:35.000, para tanto foi utilizado o pacote *Spatial Analyst*, da plataforma ArcGis. Para elaboração da imagem sombreada, aplicou-se o azimute de iluminação de 45° e 30° de elevação, com exagero vertical 1. A partir da imagem do relevo sombreado traçaram-se perfis topográficos, a fim de ressaltar a morfologia na qual as voçorocas estão instaladas.

Figura 11– Fluxograma com procedimentos metodológicos de processamento das imagens de sensores remotos e de elaboração dos mapas temáticos.



3.3.2 Atividades de campo

O trabalho de campo foi realizado no início do mês de julho de 2016. Primeiramente foram selecionadas quatro voçorocas em três diferentes pontos para serem estudadas, para esta etapa, foram utilizadas diferentes ferramentas: Trena, anel volumétrico, inclinômetro, bússola, GPS, balança de precisão (pesagem do solo *in loco*), picareta (Figura 12) que auxiliaram na obtenção dos dados morfométricos e na coleta dos solos e uma planilha de campo (anexo1) onde foram registrados os procedimentos das seguintes atividades:

Figura 12- Ferramentas utilizadas durante a pesquisa em campo.



Foto de Luiza Câmara (2016)

a) Cadastro das feições erosivas lineares

As feições erosivas foram selecionadas e descritas a partir dos seguintes critérios: acessibilidade, localização na vertente, litologia, morfologia e identificação de microfeições geomorfológicas.

Quanto às características das feições erosivas, foram observados os seguintes aspectos: contatos litológicos, mergulho e direção da camada, e em relação a área de ocorrência foram descritas: vegetação de entorno, declividade, uso atual da área, e tipologia do solo.

Para aquisição dos dados morfométricos foram utilizados uma trena manual para obter as medidas de largura, profundidade e extensão; inclinômetro para medir a inclinação das vertentes e taludes para a verificação da orientação das voçorocas a bússola de Bruton.

Os tipos de voçorocas foram verificados em campo observando o modelo de evolução de voçorocas, proposto por Oliveira (1999). Quanto à morfologia dos canais, foi utilizada a metodologia proposta por Vieira (2008).

A aquisição de imagens pode oferecer um significativo suporte a outras técnicas de estudo. Deste modo realizou-se um levantamento fotográfico, em especial do talude de erosão e das áreas de entorno.

A espacialização das feições erosivas foi realizada a partir da coleta de coordenadas geográficas, adquiridas através de receptor GPS (*Global Positioning System*) na região de cabeceira dessas feições.

b) Descrição do perfil do solo e coleta de amostras

A descrição do perfil de solo foi feita em taludes de erosão, obedecendo a seguinte sequência: identificação e medidas de altura dos horizontes; identificação da cor do solo; descrição das microfeições geomorfológicas. Posteriormente, foram coletadas amostras indeformadas com o auxílio de anel volumétrico e deformadas, com o auxílio de pá pedológica, da base para o topo nos diferentes horizontes em torno de um quilograma e acondicionadas em sacos plásticos para posterior análise.

c) Volume do material erodido

Para calcular as dimensões das incisões foi utilizada a metodologia proposta por Vieira (2008), aplicada somente na voçoroca V3 devido a facilidade de acesso. A medida foi realizada a cada dois metros verificando-se a profundidade e largura, para posteriormente fazer o cálculo da área aproximada da voçoroca ($\text{comprimento} \times \text{largura} = \text{área m}^2$). A partir dos dados da área multiplicada pelos valores de profundidade média, se estabeleceu o volume do material erodido ($\text{área} \times \text{profundidade} = \text{m}^3$).

3.3.3 Análises laboratoriais

Nas amostras de solos coletadas foram feitas análises granulométrica, morfológica, identificação mineralógica dos grãos, pH do solo, umidade, densidade, porosidade e matéria orgânica. Os procedimentos empregados para analisar os sedimentos / solos foram feitos de acordo com Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997) e do Instituto Agrônomo de Campinas (2001) seguindo a seguinte metodologia:

a) Análise granulométrica através do método aquoso e seco

Para efetuar a análise granulométrica, foram utilizadas amostras totais do solo seco em temperatura ambiente, peneiradas em malha de 2mm para obter a terra fina seca ao ar (TFSA).

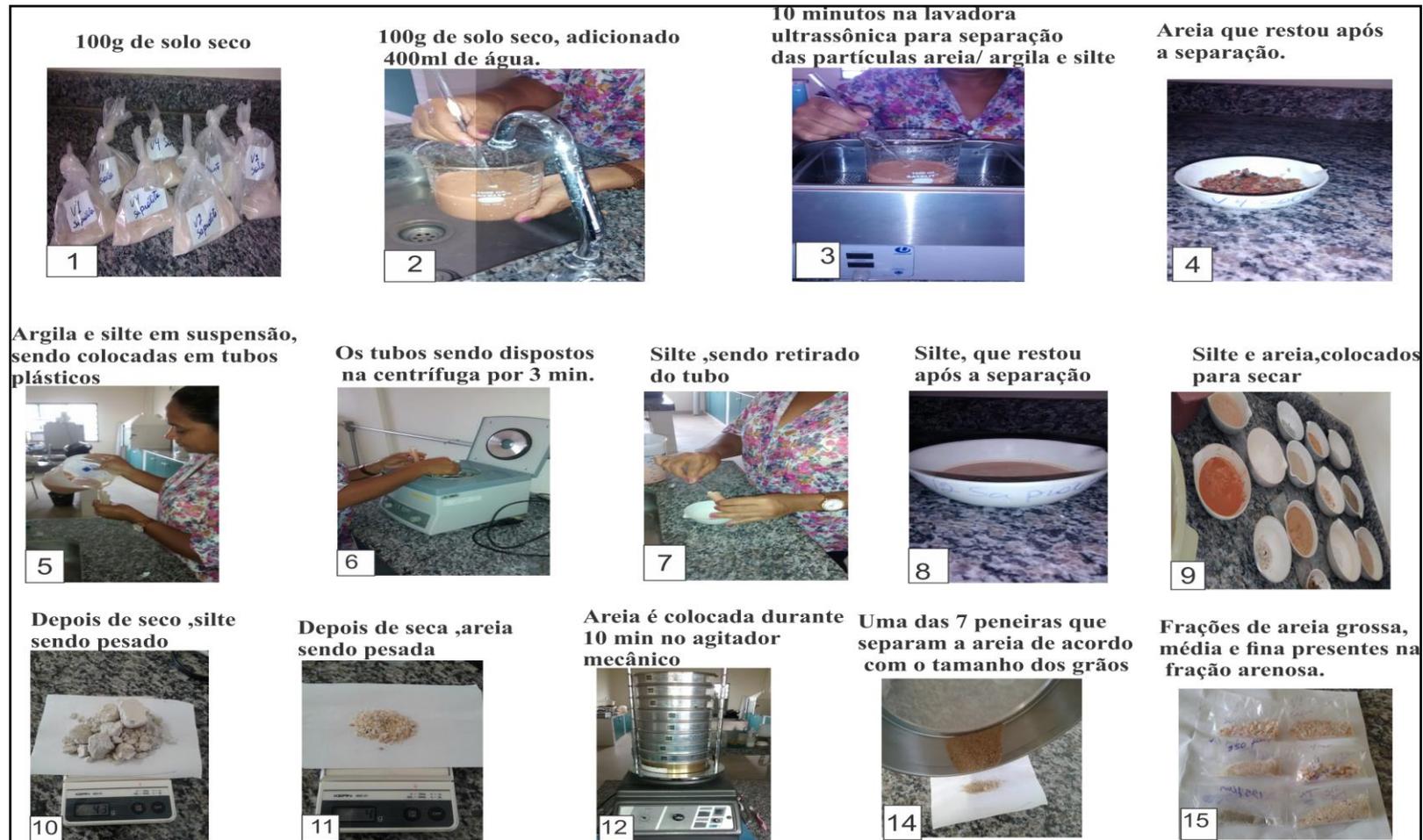
Este solo seco foi desagregado manualmente e posteriormente analisado a partir de volumes iniciais de 100 g. Cada amostra foi disposta em um recipiente de vidro, onde foram adicionados 400 ml de água. Nesta análise as amostras foram colocadas durante 10 minutos na lavadora ultrassônica, para separação da areia das demais partículas do solo.

Na separação do silte da argila, as amostras foram colocadas em tubos plásticos dentro de uma centrífuga por 2 minutos, neste processo de separação a fração silte deposita-se no fundo do recipiente e a fração argila que ficou em suspensão foi descartada. Depois de secos, a areia e silte foram pesados, o que permitiu por diferença do volume inicial saber o percentual de argila.

Posteriormente, foi realizado na fração areia o peneiramento a seco para determinação dos valores percentuais correspondentes às frações de areia grossa, média e fina presentes na fração arenosa. Para isso, foi utilizado um conjunto de peneiras da série *Tyler* formado pelas peneiras de abertura 4.00, 2.00, 1.00, 0,500, 0,250, 0,125,0,63 mm, superpostas na ordem decrescente, colocadas em um agitador mecânico por 10 minutos (Figura 13).

Adotando a classificação de Folk e Ward, (1957), os dados granulométricos foram tratados com o software SYSGRAN na versão 3.1 que permitiu obter informações sobre diâmetro médio das partículas, grau de seleção, grau de assimetria e curtose. Esses dados são apresentados na forma de tabela e diagramas triangulares tipo Shepard (1954). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do NUPENERG –UFRR.

Figura 13- Procedimentos metodológicos utilizados durante o processo de separação granulométrica em meio aquoso e seco.

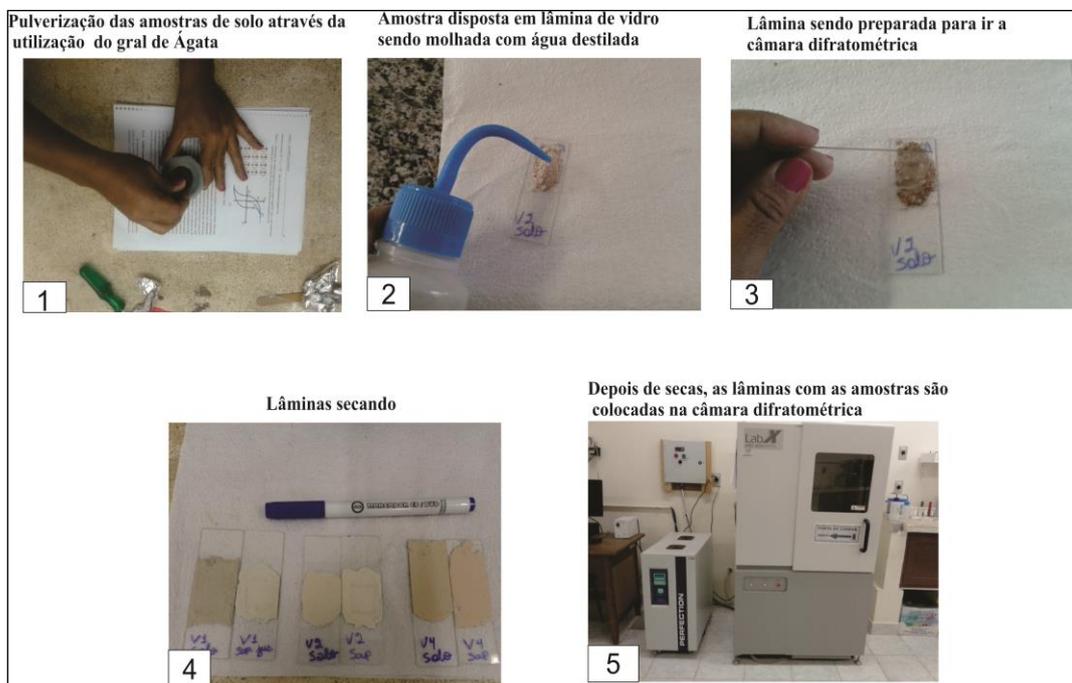


Organização: Marta Melo (2016)

c) Composição mineralógica dos grãos

Após a análise granulométrica realizou-se a identificação mineralógica, mediante a técnica de Difração de Raios-X (DRX). As amostras de solo foram pulverizadas através da utilização do gral de Ágata, em seguida colocadas pequenas quantidades em lâminas de vidro e posteriormente inseridas numa câmara difratométrica, cuja leitura de cada amostra é analisada no intervalo de varredura de 5° a $70^\circ 2\theta$ (Theta), em uma duração de 50 minutos (Figura 14).

Figura 14- Procedimentos metodológicos para preparação das amostras para a leitura no difratômetro de raio X.



Organização: Marta Melo (2016)

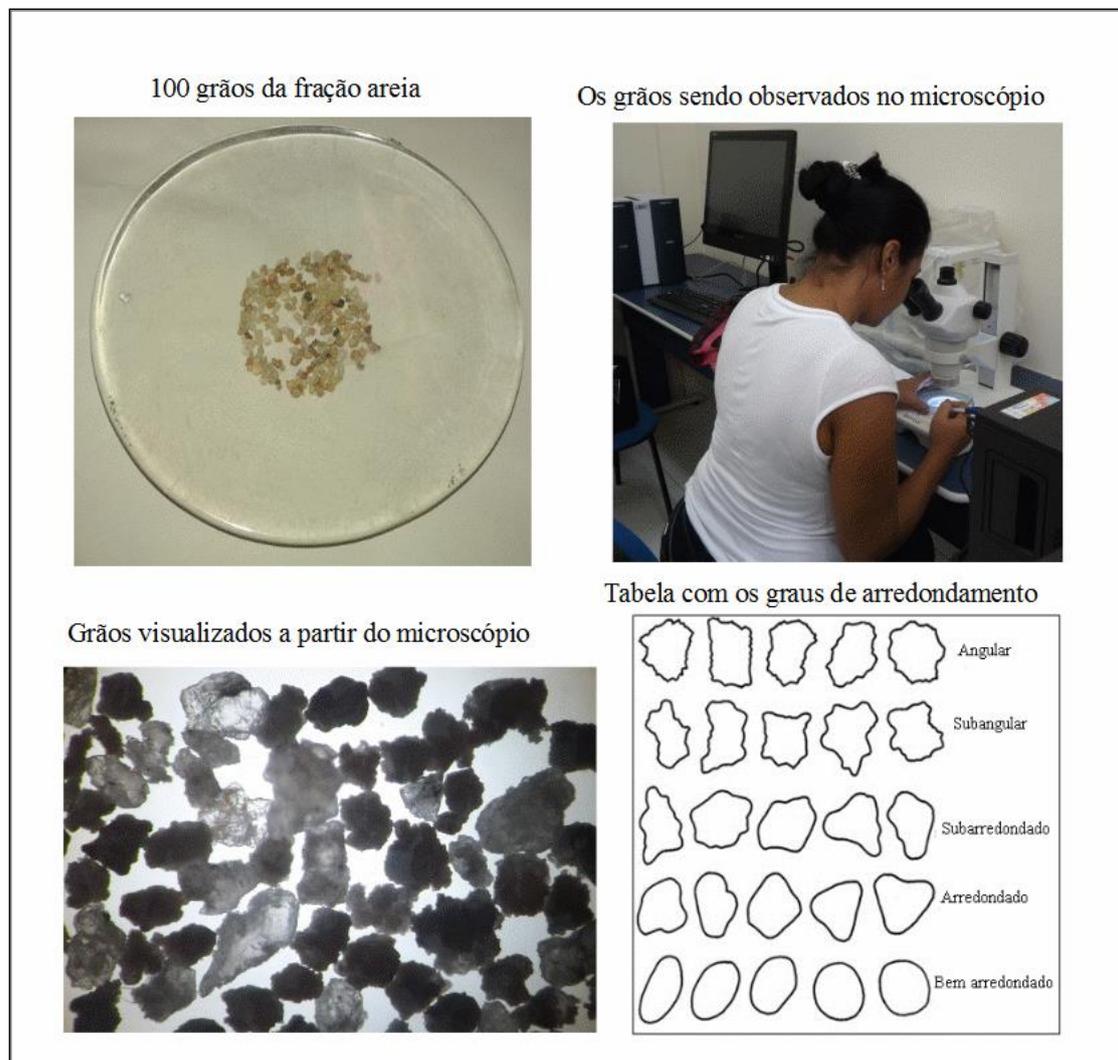
As medidas de difração de raios-X foram realizadas num difratômetro SHIMADZU, modelo XRD/6000, operado em geometria convencional com escala $^\circ(\theta - 2\theta)$ e extensão $(2 - 100)^\circ\text{C}$. A radiação usada foi a do cobre (Cu) com comprimento de onda $\lambda = 0,154186 \text{ nm}$.

A análise foi realizada pelo software *X'Pert HighScore*, que identifica os minerais presentes no solo, disponível no laboratório de difração de Raio X do curso de Física da UFRR (Universidade Federal de Roraima) onde foram realizadas as análises. A leitura dos picos foi identificada no banco de dados do *X'Pert*, e depois foi levada para o software Origin 6.0 para gerar os gráficos.

b) Análise Morfológica dos grãos

Para a realização destas análises foi utilizado um microscópio eletrônico, o que permitiu uma melhor visualização. Foram separados 100 grãos em diferentes intervalos das classes granulométricas, 4 mm, 2mm,1mm e 500 μ m e comparados visualmente com as tabelas de classes de arredondamento e esfericidade, utilizadas nos trabalhos de Suguio (1973). Por último, esses grãos foram fotografados através do microscópio para serem melhor visualizados (Figura15). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise e Mapeamento de Áreas Degradadas do (IGEO).

Figura 15- Procedimentos metodológicos utilizados durante a separação morfológica dos grãos com o uso do microscópio óptico.



c) Matéria Orgânica e pH do solo

As análises foram realizadas no Laboratório Agrotécnico de Piracicaba, São Paulo – Pirasolo, seguindo a metodologia do Instituto Agrônomo de Campinas (2001). O índice de matéria orgânica (MO) foi obtido através do método Colorimétrico que consiste em:

- a) Transferir 1 cm³ de terra para um frasco cilíndrico de 100 ml;
- b) Adicionar, com dispensador 10 ml de dicromato de sódio (Na₂Cr₂O₇) em ácido sulfúrico;
- c) Agitar durante 10 min, em agitador com velocidade de 180 rpm;
- d) Após repouso de uma hora, adicionar 50 ml de água, usando dispensador com um jato forte para promover a mistura das soluções. Deixar decantar durante a noite;
- e) No dia seguinte, transferir o líquido sobrenadante para cela de medida do espectrofotômetro ou colorimétrico, com filtro de transmissão máxima de nm. Acertar o zero do aparelho;
- f) Calcular os resultados a partir da curva-padrão.

A determinação do pH foi feita utilizando-se o cloreto de cálcio (CaCl₂), seguindo a seguinte metodologia:

- a) transfere-se com cachimbo, 10 cm³ de terra para frasco plástico;
- b) Adiciona-se, 25 ml de solução de cloreto de cálcio, deixando 15 minutos em contato;
- c) Agita-se a suspensão por 10 minutos a 220 Rpms, usando agitador com movimento circular horizontal. Deixa decantar por 30 minutos;
- d) Ajustar o medidor de PH com as soluções tampão de pH 4,0 e 7,0;
- e) Sem agitar, mergulha-se o eletrodo combinado na suspensão, de modo que a ponta do eletrodo de vidro toque ligeiramente a camada de sedimento e a saída do eletrodo de referência fique submersa. Ler o pH após estabelecido o equilíbrio.

e) Umidade

Para a determinação da umidade do solo as amostras foram coletadas através de um anel volumétrico de 100 cm³. Essas amostras foram inicialmente pesadas no momento da coleta (Mm - peso da amostra úmida), posteriormente seca ao ar e pesadas novamente (Ms - peso da amostra seca). A umidade volumétrica e gravimétrica do solo foi quantificada segundo as equações abaixo:

$$\text{Umidade gravimétrica} = 100 \times Mm - Ms / Ms$$

$$\text{Umidade volumétrica} = 100 \times Mm - Ms / V$$

Onde,

Mm = Peso da amostra úmida(g)

Ms = Peso da amostra seca (g)

V = Volume (cm³) no anel volumétrico

f) Densidade aparente do solo

A determinação da densidade do solo foi realizada a partir do valor obtido por intermédio das amostras secas, coletadas através do anel volumétrico. A densidade aparente do solo é calculada a partir da equação:

$$\text{Densidade aparente do solo (g/cm}^3\text{)} = m / V$$

Onde,

m = Peso da amostra seca

V = Volume do anel volumétrico

g) Densidade real do solo

A densidade real foi determinada a partir de 20g de solo seco. Posteriormente, a amostra foi transferida para um balão volumétrico aferido de 50 ml, sendo adicionado álcool etílico até completar o volume do balão (Figura 16). Os dados referentes ao volume de álcool consumido e o peso da amostra seca a 105°C, permitiram calcular a densidade de partículas do solo através da seguinte equação:

$$\text{Densidade real (g/cm}^3\text{)} = m / 50 - V$$

Onde,

m = Peso da amostra seca

V = Volume de álcool consumido

Figura 16- Metodologia utilizada para obtenção da densidade real do solo.



Organização: Marta Melo (2016)

h) Porosidade

A porosidade vai determinar o volume de poros totais do solo ocupado por água e/ou ar. Para obtê-la utilizou-se os dados de densidade aparente e densidade real, conforme a seguinte equação:

$$\text{Porosidade total} = 100 (a - b) / a$$

Onde,

a = densidade real

b = densidade aparente

i) Micromorfologia e química de partículas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) acoplada com Espectrometria de Dispersão de Raios X (EDS).

Para identificação e caracterização micromorfológica das partículas minerais foram adquiridas imagens em alta resolução de solo/sedimentos por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura, enquanto que para determinação qualitativa da composição química dessas amostras foi utilizado o Espectrômetro de Dispersão de Raios – X.

Para essas análises foram utilizadas amostras totais secas ao ar que foram depositadas numa fita de carbono, depois colocada no porta - amostra. Seguidamente essa amostra foi colocada na câmara a vácuo do MEV, após alguns minutos as imagens geradas são exportadas para o computador (Figura 17).

Essa imagem pode ser ampliada até 30.000 vezes. Após esse processo a imagem é salva para o EDS, para que seja obtido os dados da composição química. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Análise e Mapeamento de Áreas Degradadas (Hydros/IGEO).

Figura 17 – Procedimentos para análise dos grãos com o uso do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Espectrometria de Energia Dispersiva (EDS).



Organização: Marta Melo (2016)

3.3.4 Dados pluviométricos

Os dados pluviométricos dos anos de 1985 a 2014 foram obtidos através do site Hidro web, pertencente a Agencia Nacional de Águas (2016). Os gráficos foram elaborados a partir de dados disponibilizados pela Estação Marco BV-8, código 8461000, localizado no Município de Pacaraima. Para o ano de 2015 de 2016 a os dados da ANA ainda não estão disponíveis, dessa forma, os últimos dados a serem utilizados foram os do ano de 2014. Os anos e os dados incompletos foram excluídos da análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ESPACIALIZAÇÃO E MORFOMETRIA DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES

A espacialização e a morfometria s das incisões estudadas (V1, V2, V3 e V4) situadas nas vertentes de morros e colinas na cidade de Pacaraima são apresentadas a seguir:

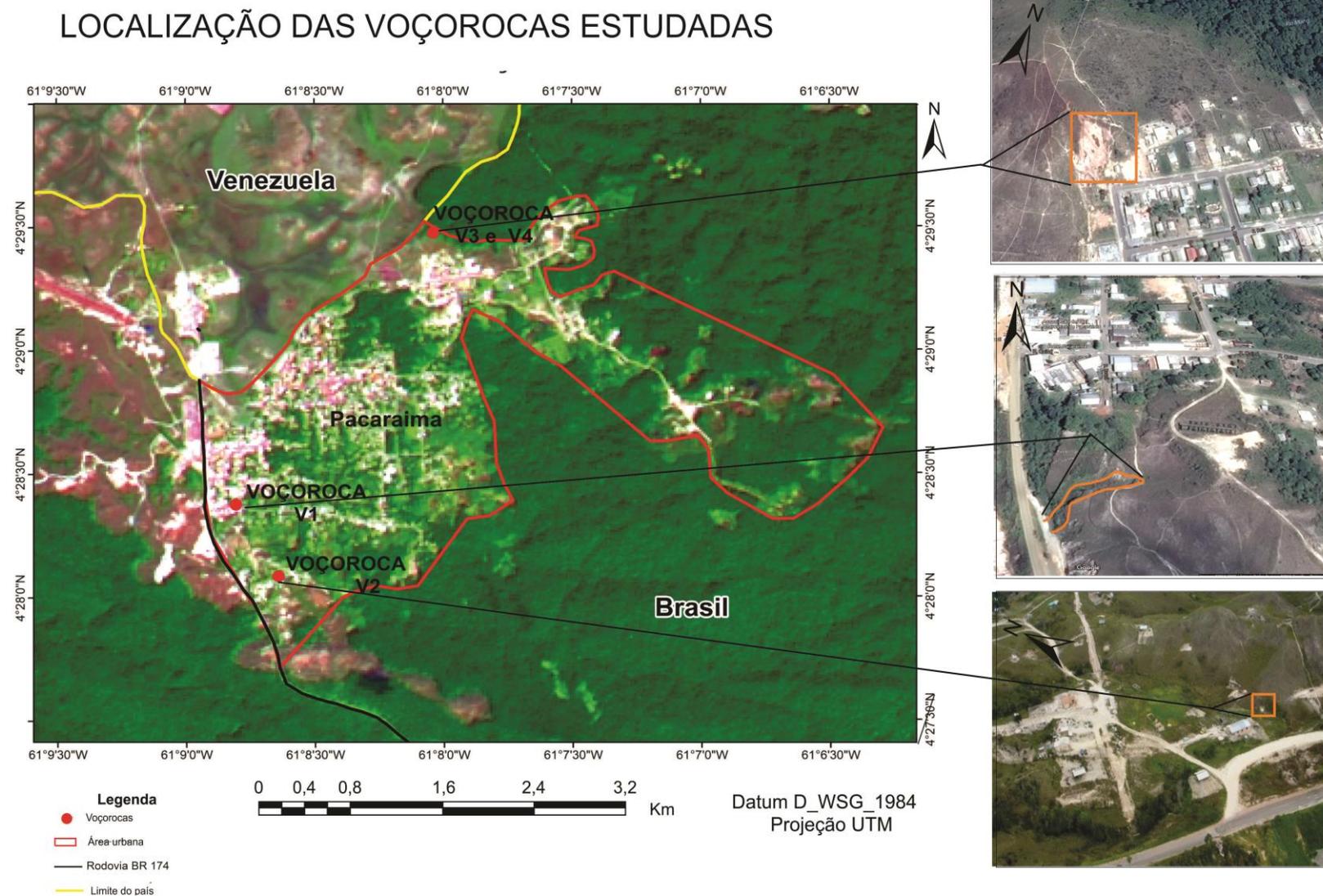
a) A voçoroca V1 encontra-se instalada na média vertente de morros situados na margem direita da BR 174 na entrada de Pacaraima. As medidas morfométricas próximo à cabeceira constitui-se de, 4 m de largura e 2,35 m de profundidade. O canal é representado pelo formato em “V”, de forma irregular e a jusante foi observado que o canal atinge o lençol freático indicando que na região ele encontra-se em nível raso. Com a relação à rede de drenagem esta classifica-se como desconectada.

b) A voçoroca V2 se localiza na margem direita da BR-174, no bairro da Balança, como observar-se na **Figura 18**, se instalou em uma pequena colina tendo sua cabeceira quase nas proximidades do topo, sua extensão é de 9,0 m. A montante a largura é de 2,70 m, a profundidade é de 1,60 m, a parte mediana dessa incisão possui 3,60 m de largura e 1,52 m de profundidade, a jusante 3,82 m de largura e 0,80 m de profundidade, o canal apresenta formato em “U” e forma retangular, está conectado a rede de drenagem.

c) A voçoroca V3 está instalada em morros situados na porção NE da cidade. As medidas morfométricas são representadas pela extensão total do canal de 12,62m, tendo na cabeceira 2,50 m de largura e de 1,80 m de profundidade; na parte mediana a largura é de 4,30 m e profundidade de 0,80m a jusante é representada por 1,72 m de largura e 0,53 m de profundidade. Destaca-se que o canal é do tipo “U”, no formato retangular e desconectado da rede de drenagem.

d) A voçoroca V4 localiza-se no morro Suapi, possui extensão de 27,80 m, largura de 18 m, apresentando canal com seção transversal em “U”, forma retangular e desconectado da rede de drenagem. Em seu interior há muitas ravinas que contribuem para o processo de voçorocamento através do escoamento concentrado das águas pluviais.

Figura 18- Mapa de localização das voçorocas estudadas, imagem OLI/Landsat 8, órbita/ ponto 237/57 e Google Earth .Em destaque na vertente morros e colinas.



4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES CONDICIONANTES AOS PROCESSOS EROSIVOS

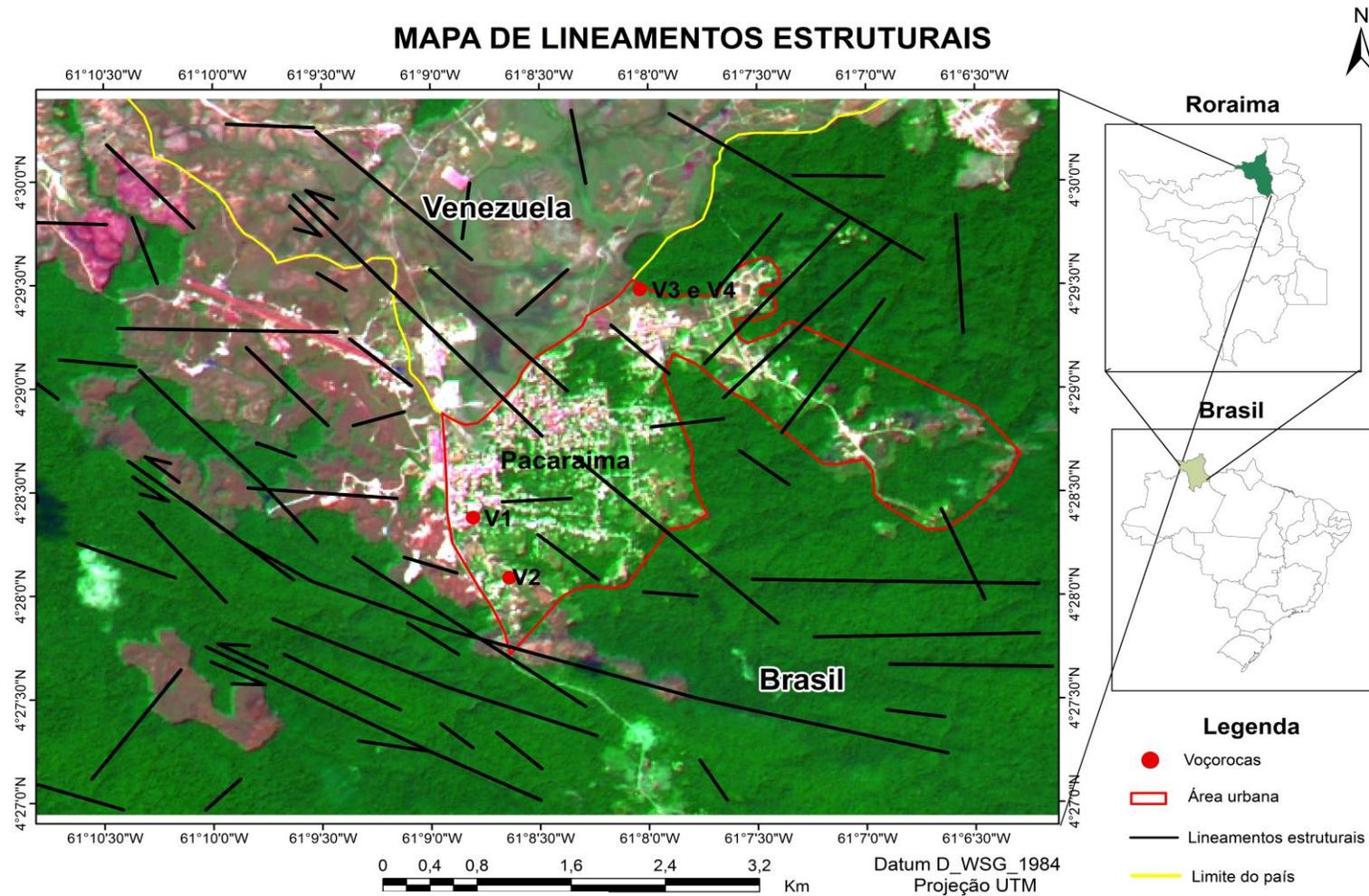
4.2.1 Geologia

A cidade de Pacaraima está situada sobre as rochas vulcânicas do Grupo Surumu, que de acordo com CPRM (1999), é caracterizada por um conjunto de rochas vulcânicas predominantemente ácidas a intermediárias representadas por dacitos, traquidacitos, riolitos e andesitos. É bordejada por morros e colinas que segundo Nascimento (2011) estão inseridas em estruturas regionais (falhas e fraturas).

As estruturas exercem controle no desenvolvimento da erosão linear. Na **Figura 19** estão representados lineamentos estruturais correspondentes a zonas de cisalhamento transcorrentes sinistrais, onde identificam-se duas orientações mais expressivas, uma na direção E-W, onde estão localizadas as voçorocas V1 e V2 e NW-SE onde estão a V3 e V4.

De acordo com Viero (2004) os lineamentos resultantes de falhamentos e fraturamentos representam zonas de aumento de porosidade que contribuem para o aumento da movimentação da água subterrânea. Essa situação é observada nas voçorocas V1 e V2, pois na primeira o lençol freático aflora na altura mediana da incisão e a segunda está conectada a rede de drenagem.

Figura 19- Mapa de lineamentos estruturais, destaque aos lineamentos orientados preferencialmente a NW-SE, em função de sua relação espacial com os canais principais das voçorocas V3 e V4. Além dos de orientação E-W, relacionados às voçorocas V1 e V2. Elaborado a partir dos dados SRTM e Imagem OLI/ Landsat 8, órbita / ponto 232/57.



Elaboração: Marta Melo (2016)

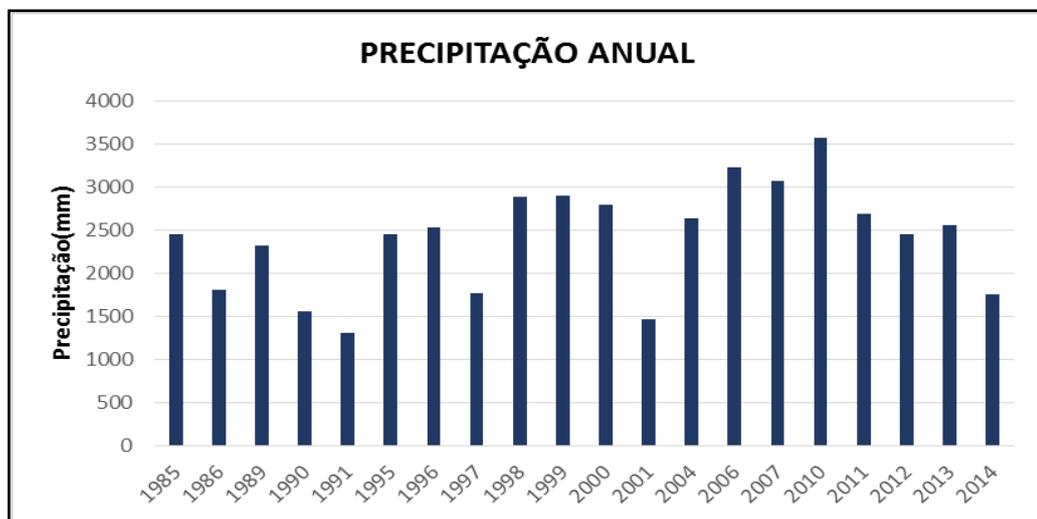
4.2.2 Distribuição Pluviométrica

Com base nos dados analisados da série histórica (1985 a 2014) a média de precipitação pluviométrica para a região de Pacaraima é de aproximadamente 2.408 mm/ano. Os valores anuais precipitados variam de 1.311,5 à 3.565,9, demonstrando que a distribuição pluviométrica ao longo dos anos é bem significativa (Figura 20).

O estudo de Sander; Wankler; Carvalho (No prelo) reforça esses dados pois para eles os valores mais elevados de pluviosidade para o estado de Roraima são verificados nas bordas norte, da bacia do rio Auaris até a região da sede municipal de Pacaraima, além das parcelas oeste, sul e sudeste de Roraima. Nessas áreas os valores médios de pluviosidade são superiores a 2.300mm/ano.

Ressalta-se que os períodos de El Niño influenciam na pluviosidade da região, havendo queda de valores precipitados em até 48,82%. Para os estágios de La Niña de forte intensidade, há uma pequena progressão em relação à média dos eventos gerais com valores 20,31% (SANDER; WANKLER; CARVALHO, No prelo).

Figura 20: Dados pluviométricos para a região de Pacaraima. Elaborado a partir de dados da Estação Marco BV-8, código 8461000 (ANA, 2016).

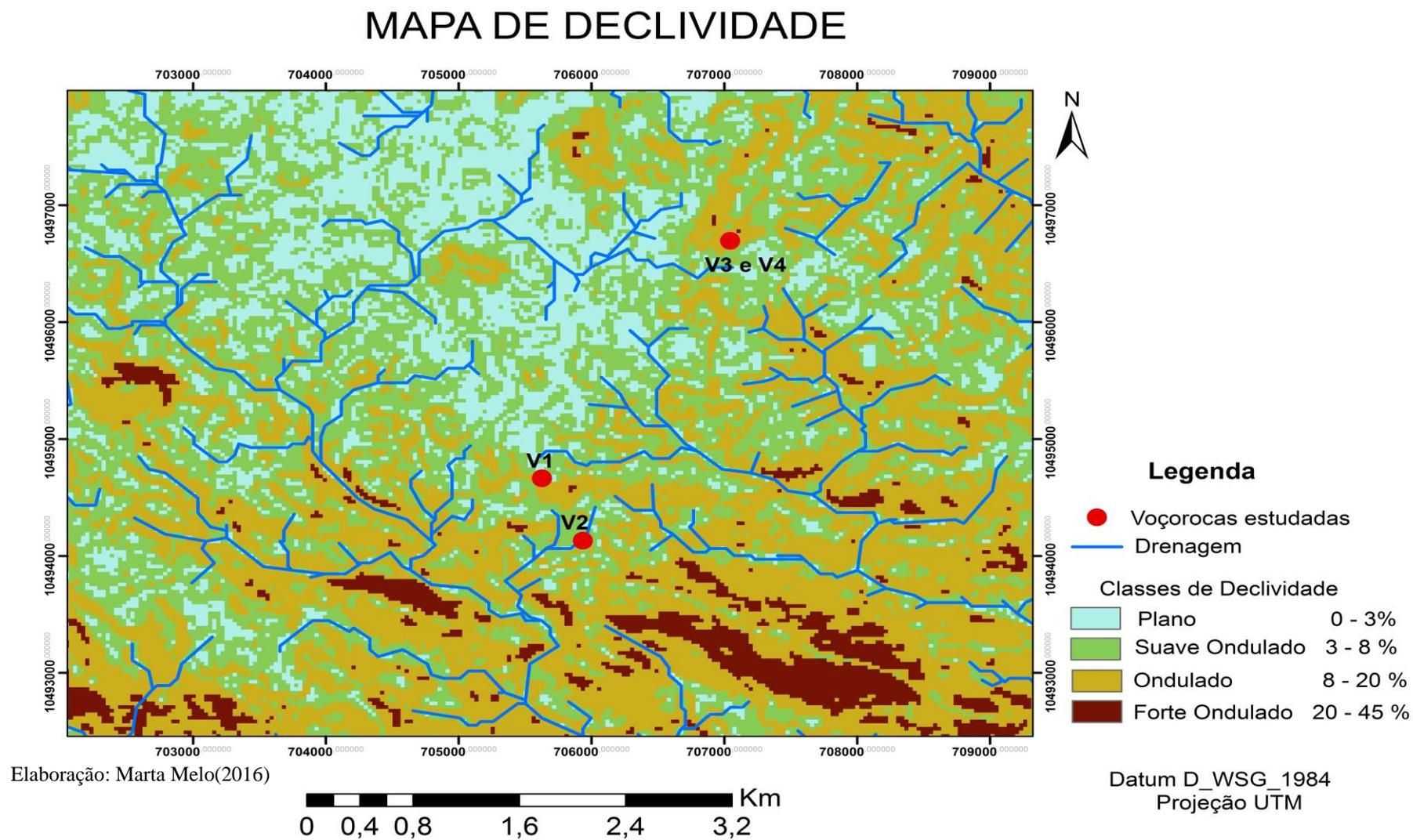


Fonte: Agência Nacional de Águas (2016)

4.2.3 Declividade

A declividade das vertentes de morros e colinas da área de estudo predomina o padrão ondulado (8-20%) e secundariamente gradando para suave ondulado (3-8%). Nesse contexto, as voçorocas V1, V3 e V4 estão instaladas no relevo de padrão ondulado e em menor expressão ocorre a presença da voçoroca V2 em ambiente suave ondulado (Figura 21).

Figura 21: Mapa de declividade, mostrando o padrão de ondulação da área de estudo, em destaque a localização das voçorocas. Elaborado a partir dos dados SRTM.



A voçoroca V1 está instalada em vertentes de morfologia côncava-convexa, tendo seu vale escavado na seção côncava do ambiente, observa-se na parte superior da cabeceira inúmeras marcas de ravinamento (Figura 22), o que sugere forte fluxo superficial favorecendo o trabalho erosivo e conseqüentemente a evolução da voçoroca.

Figura 22- Modelado das vertentes: marcas de ravinamento próximo ao canal (A) e entorno da voçoroca V1(B) representado por linha tracejada.

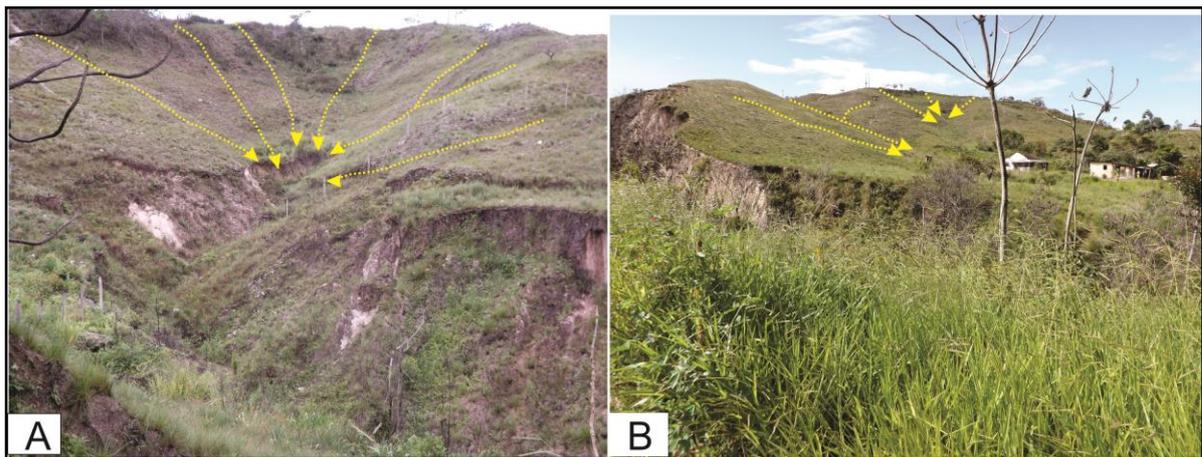


Foto de Luiza Câmara (2016)

A voçoroca V2 instalou-se em uma colina com declividade que chega a 8% considerado pela classificação da EMBRAPA (1979) como relevo suave ondulado, com morfologia côncavo-convexa. Seu processo evolutivo já alcançou as proximidades do topo (Figura 23). Foi observado que o material é erodido em forma de blocos, devido à existência de muitas fendas e dutos, que vão se desprendendo da vertente.

As voçorocas V3 e V4 fazem parte de um imenso processo erosivo que se instalou no morro do Suapi. Este morro apresenta morfologia côncava-convexa proporcionando o fluxo concentrado de águas pluviais. Na voçoroca V3 (Figura 24 A) o fluxo de água se concentra na montante, com isso há um grande arraste do solo, proporcionando escorregamento de lama na sua cabeceira. Na margem esquerda há um escalonamento de quartzo (Figura 25), apresentando o topo menos erodido, com isso formam-se terraços com o material mais resistente retardando a evolução da erosão nesta margem.

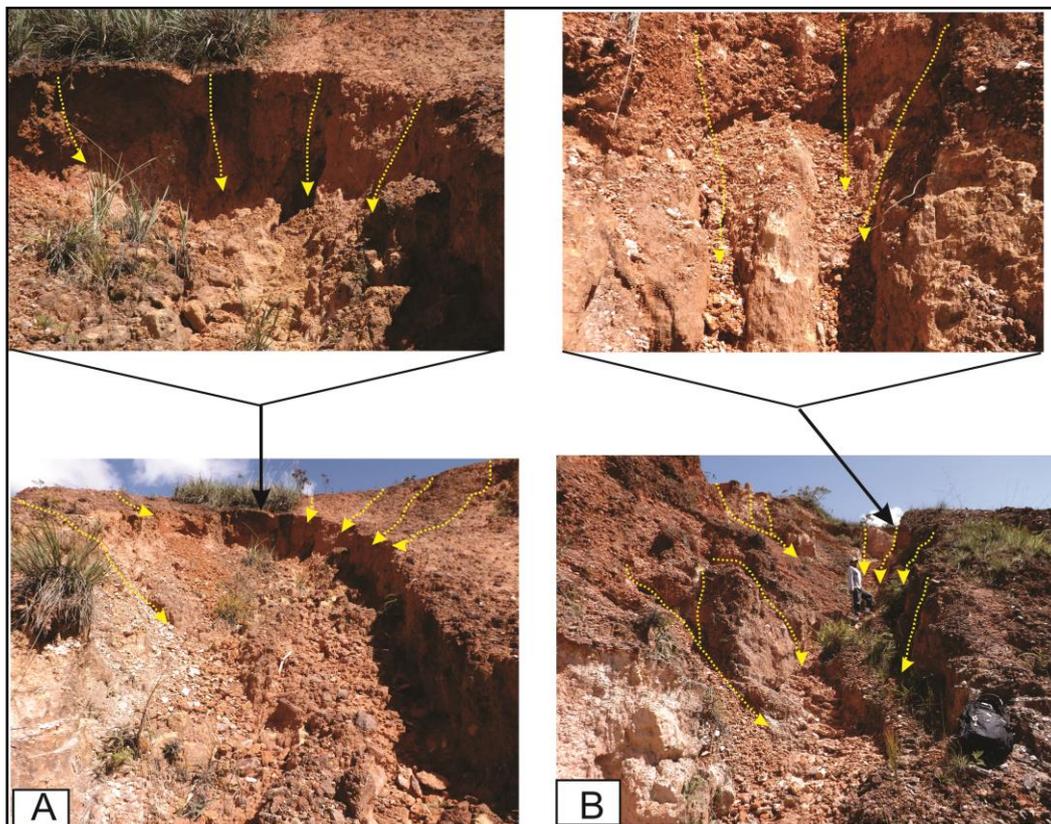
Na voçoroca V4 (Figura 24 B) o lado direito da incisão forma um paredão, por onde o fluxo de águas pluviais escorre, enquanto que no lado esquerdo há várias ravinas dispostas por toda a vertente por onde o fluxo de água se concentra, carregando uma grande quantidade de material.

Figura 23: Modelado da vertente, na margem esquerda fendas e dutos que favorecem a evolução do processo erosivo, área da incisão delimitada pela linha tracejada.



Fotos de Luiza Câmara

Figura 24: Modelado da vertente, linha tracejada mostrando a direção do fluxo superficial (A) em destaque à cabeceira da voçoroca V3 com a presença de alcovas de regressão e escorregamento de lama (B) disposição de várias ravinas, em destaque carreamento de material na margem direita da cabeceira da voçoroca V4.



Organização: Marta Melo (2016)

Figura 25: Escalonamento de quartzo presente na margem esquerda da Voçoroca V3, sugerindo que o material menos resistente foi transportado.



Organização: Marta Melo (2016)

A elaboração do relevo sombreado Figura 26, possibilitou um melhor entendimento da morfologia local. Na parte sul da área predominam os morros de altitudes mais elevadas, estruturalmente alinhados na orientação preferencial NW-SE, onde há maior desenvolvimento de feições erosivas lineares, enquanto que na porção mais nordeste ocorrem morros isolados de menor altitude, onde também observa-se o desenvolvimento de voçorocas, porém em menor número. Na parte central predomina um relevo mais plano, sem ocorrências dessas feições erosivas.

A partir do relevo sombreado foi traçado o perfil topográfico com três seções visando à observação em maior detalhe da relação das voçorocas com a morfologia do terreno (Figura 27). Os locais onde essas incisões estão instaladas são bastante similares pois, se instalaram no sopé das vertentes, rodeados por morros e colinas côncavo-convexa.

Como detalhado nas seções dos perfis topográficos, as áreas com menor elevação correspondem à rede de drenagem bem como as áreas de planície, as mais elevadas são representadas pelas encostas dos morros onde ocorrem os processos erosivos lineares.

Figura 26: Mapa de relevo sombreado da área de estudo, destacando a morfologia das vertentes onde as voçorocas estão instaladas e o traçado dos perfis topográficos. Elaborado a partir dos dados SRTM.

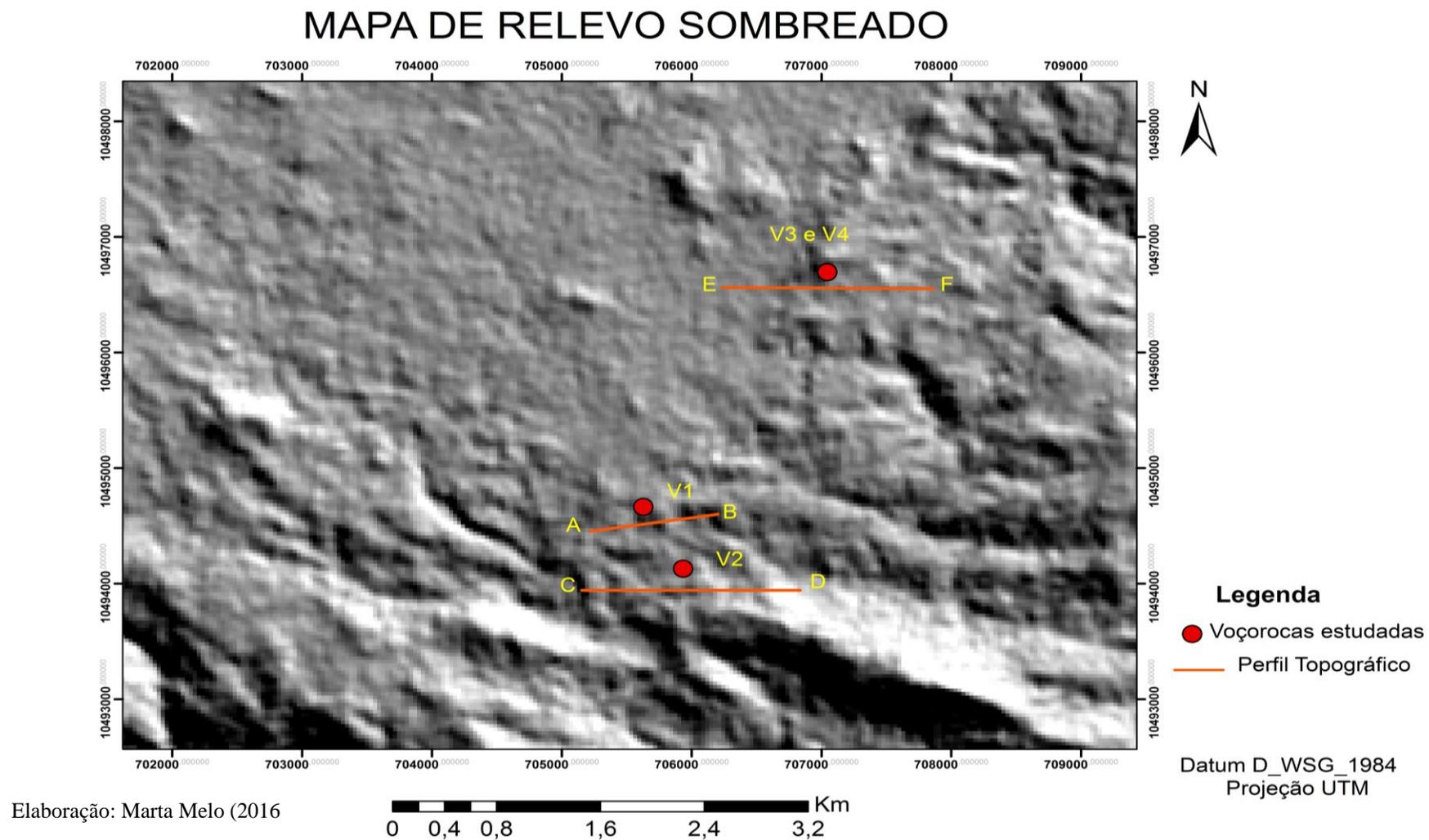
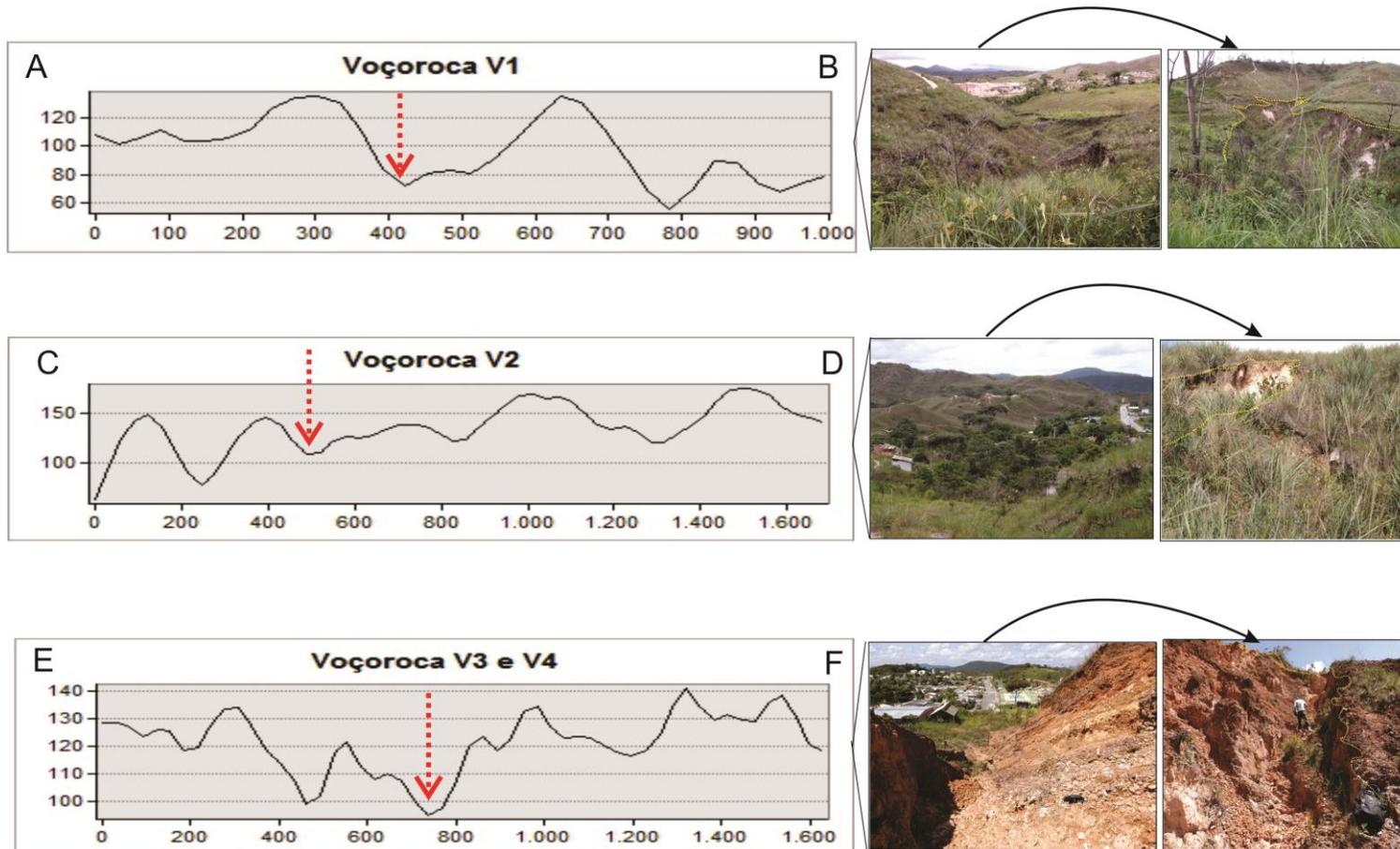


Figura 27: Perfil Topográfico da área onde estão localizadas as voçorocas, mostrando que essas incisões se instalaram no sopé das vertentes. As figuras destacam as voçorocas e o relevo regional na qual estão inseridas, constituído de morros e colinas côncavo-convexa. Elaborado a partir dos dados SRTM.



Organização: Marta Melo (2016)

4.2.4 Os solos

A caracterização dos solos tomou como referência estudos de Vale Júnior e Schaefer (2010), deste modo foi identificado na área três tipos de solos: Neossolo Litólico distrófico típico; Argissolo Vermelho -Amarelo distrófico arênico; Argissolo Vermelho-amarelo e Amarelo distrófico típico.

A maior expressão de cobertura de solo é representado pelo tipo Neossolo Litólico distrófico típico na parte central e secundariamente ocorrem os solos Argissolo Vermelho - Amarelo distrófico arênico, situados na porção NW e NE e Argissolo Vermelho-amarelo e Amarelo distrófico típico na porção Sul (Figura 28).

As feições erosivas lineares (voçorocas) se instalaram nos Neossolos Litólico distrófico típico, representado por solos rasos assentados diretamente nos saprólitos.

As características dos perfis de solos estudados serão discutidas a seguir:

- a) O perfil de solo da voçoroca V1, nos seus 2,35 m do topo para a base, compreende dois horizontes: no topo este apresenta textura síltica e cor marrom acinzentado, com 1,73 m de profundidade; sotoposto encontra-se o horizonte representado pelo saprólito com 0,62 m de profundidade, de textura síltica e cor avermelhada com pequenas manchas de mosqueamento (Figura 29 A), sugerindo lixiviação parcial do Fe_2O_3 . Foi observado entre os dois horizontes fragmentos dispersos de rocha de composição SiO_2 .
- b) O perfil de solo da voçoroca V2 desenvolveu-se em solo cuja superfície possui inúmeros seixos angulosos de quartzo, apresenta 1,60 m de espessura, representado por dois horizontes: o primeiro apresenta textura síltica e cor avermelhada, com espessura de 0,50 m descensionalmente, o horizonte apresenta textura síltica coloração avermelhada bem clara e 1,10 m de profundidade (Figura 29 B).
- c) A voçoroca V4 se desenvolveu em um perfil com 1,82 m de espessura, no topo expõe solo com bastante seixo de quartzo, presença de muitas raízes com espessura de 0,31 m, textura síltica, coloração marrom clara. O segundo horizonte com 1,51m de espessura, com textura porfírica mostrando quartzo, feldspato estirados ainda preservando matriz argilosa alterada, cor avermelhada clara, formada por saprólito originado de dacito rocha vulcânica (Figura 29 C).

Figura 28- Mapa de solos mostrando os três tipos de solos da área de estudo e a disposição das voçorocas no tipo Neossolo Litólico Distrófico.

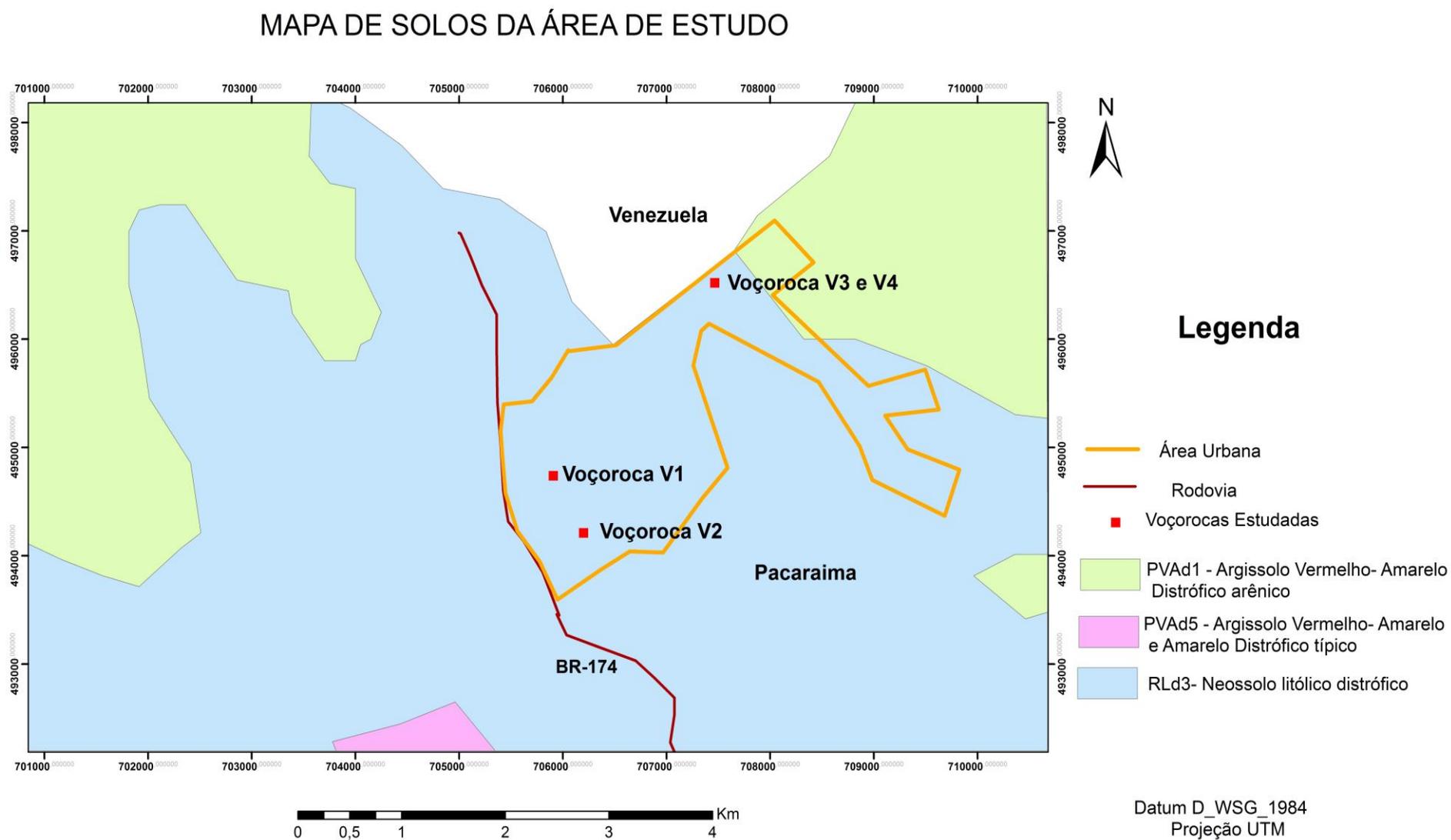
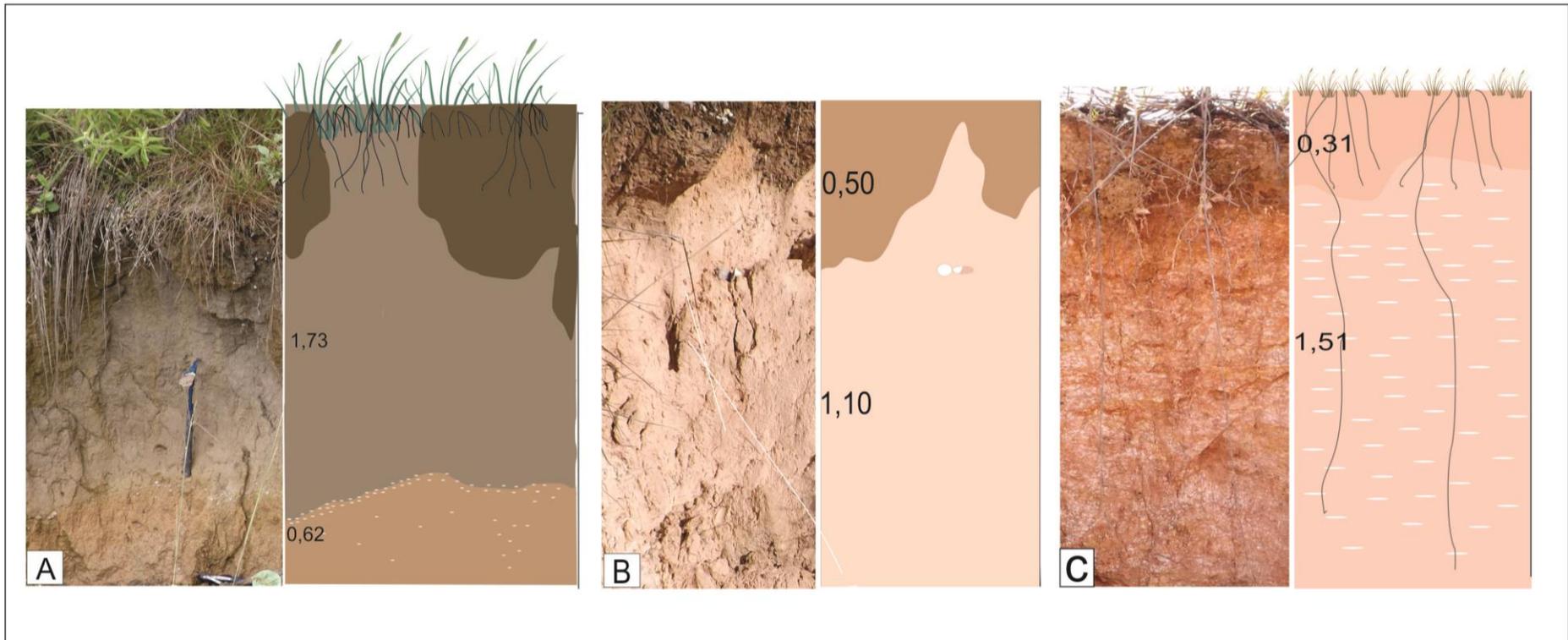


Figura 29: Perfis dos solos estudados (A) Perfil e croqui da voçoroca V1(B) perfil e croqui da V2 (C) perfil e croqui da V4, os três perfis apresentam dois horizontes, o primeiro com predominância de textura siltica, o inferior formado por material saprolítico, característico dos Neossolos Litólico Distróficos encontrados no local.



Organização: Marta Melo (2016)

Para uma melhor compreensão do solo dessa área foram realizadas análises física, química e mineralógica do solo.

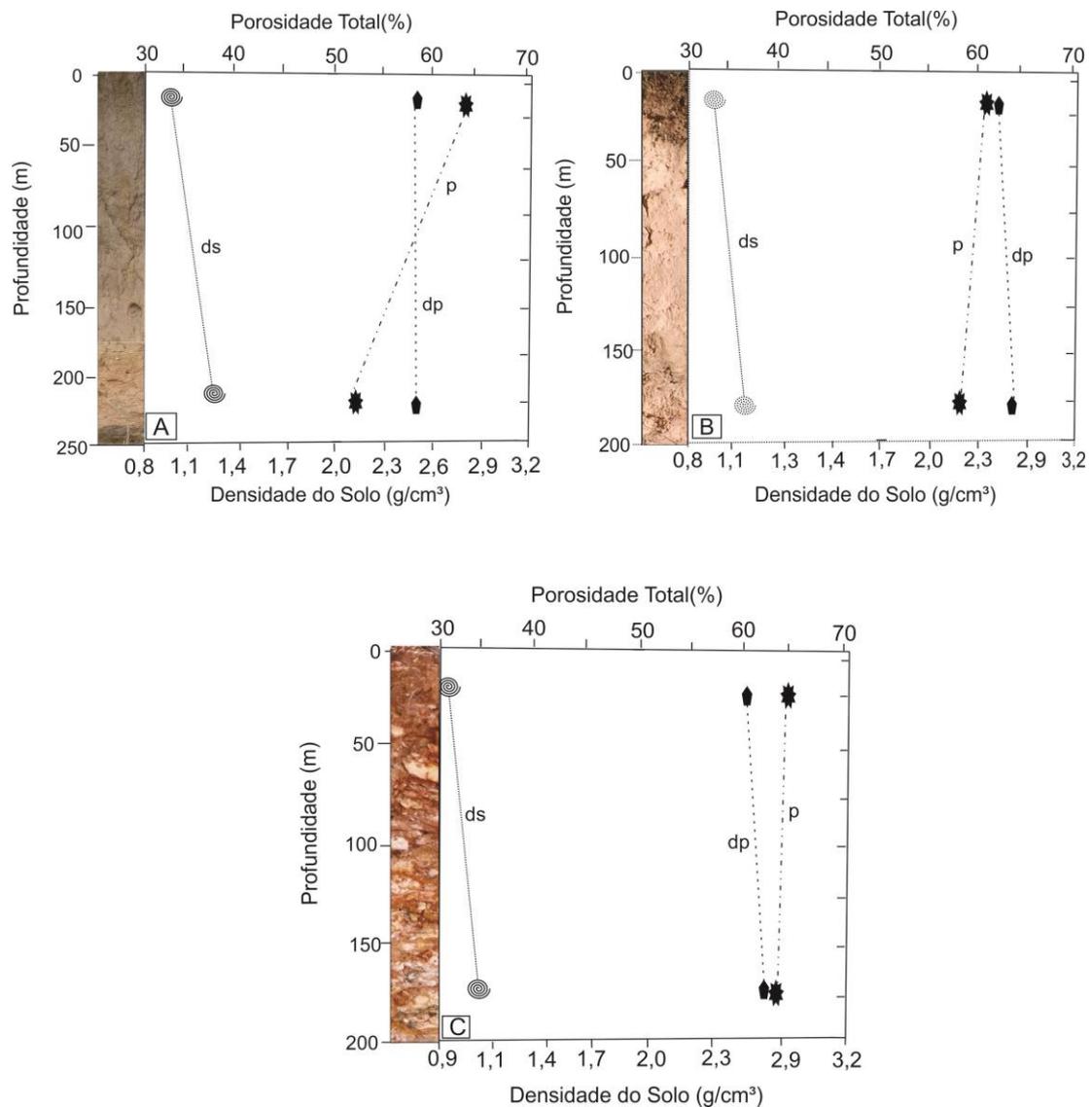
4.2.4.1 Densidade e porosidade

A Densidade do solo nas voçorocas analisadas Figura 30, tiveram uma variação de 0,90 a 1,18, observa-se que nos horizontes inferiores a densidade do solo é maior que no horizonte superficial. Santana (2009), diz que geralmente a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno de compactação, reduzindo a porosidade.

As densidades de partículas nos diferentes perfis tiveram uma alternância 2,5 a 2,8 (g cm³) isto porque, nos solos analisados foram encontrados quantidades significativas, de quartzo e o feldspato, cujas densidades reais estão em torno de (2,65 g cm³). Beserra Neta (2007), Nascimento (2015) encontraram valores semelhantes na densidade de partículas ao estudarem a evolução da paisagem na serra do Tepequém.

Nos três perfis analisados a porosidade nos horizontes superficiais é levemente mais elevada que nos horizontes inferiores, variando de 50% a 65%. A porosidade do solo é um parâmetro muito importante, pois, interfere na aeração, condução e retenção de água, resistência à penetração e à ramificação de raízes (RIBEIRO et al., 2007).

Figura 30- Densidade do solo (d_s) densidade de partículas (d_p) em g/cm^3 nas profundidades de até 2,35m voçoroca V1(A) 1.60m voçoroca(V2) 1,82 voçoroca (V4) e Porosidade total em %.



Organização: Marta Melo (2016)

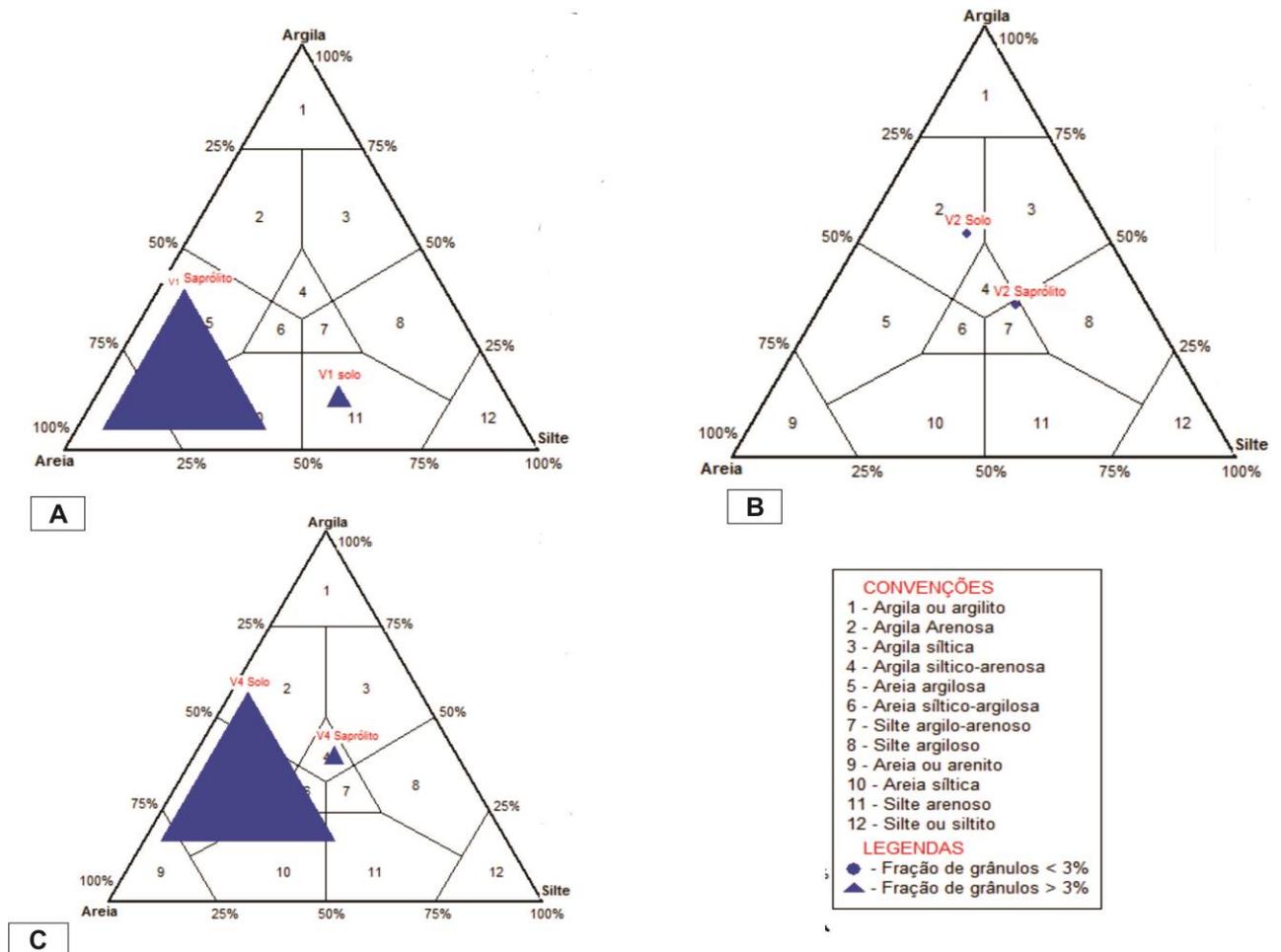
4.2.4.2 Granulometria do solo

Os solos onde se situam as voçorocas estudadas são predominantemente sílticos, ocorrem pequenas variações do topo para a base dos perfis.

No solo onde se instalou a voçoroca V1 (Figura 31 A), o horizonte superficial é representado por areia síltica, gradando para síltico arenoso para o horizonte subsequente; enquanto que os solos da Voçoroca V2 e V4 (Figura 31 B e C) mostra similaridade quando se

observa a presença em horizonte superficial e subsuperficial texturas mais argilosas gradando de arenosa a siltica.

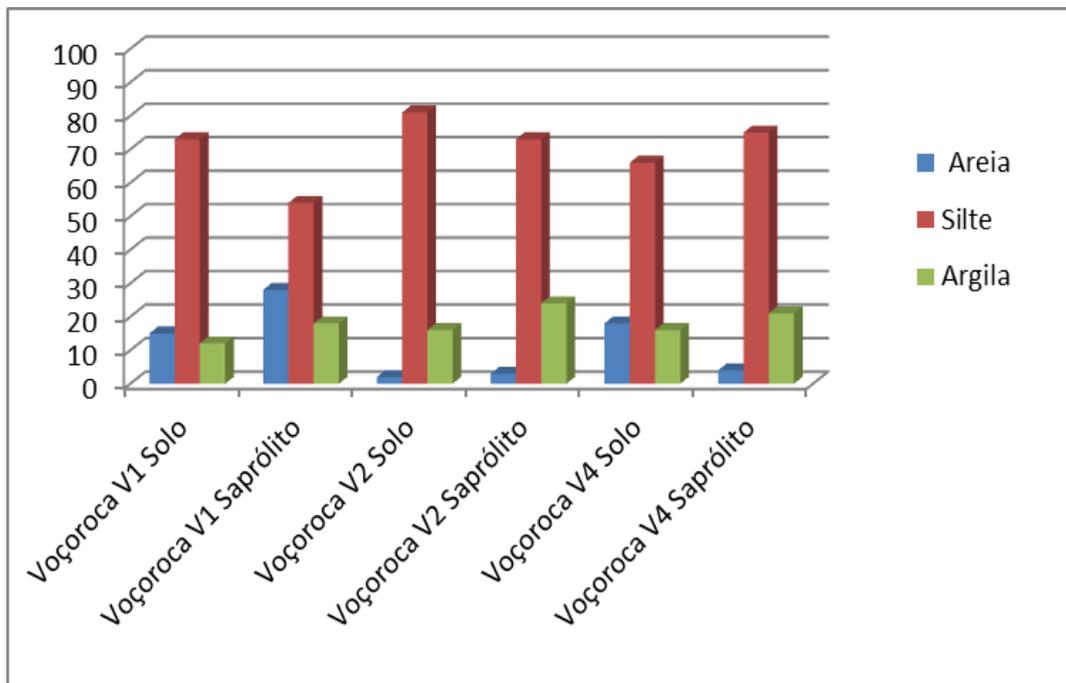
Figura 31 - Distribuição granulométrica nos diagramas de Shepard (A) voçoroca V1, (B) voçoroca V2 (C)voçoroca V4.



Organização: Marta Melo (2016)

A granulometria das voçorocas estudadas estão dispostas na Figura 32, pode-se observar que nos três perfis analisados, tanto no horizonte superficial, bem como aqueles situados mais na base do perfil predomina o silte, seguido pela argila e secundariamente a areia.

Figura 32- Granulometria do solo, predomínio do silte nos horizontes dos perfis analisados.



Organização: Marta Melo (2016)

Na fração areia Figura 33 o grau de seleção dos grãos variou de 1,7 a 2, classificando-os em pobremente selecionados a muito pobremente selecionados. Isso significa que esse material sofreu pouco transporte, pois segundo Suguio (1973) o grau de seleção tende a aumentar com o transporte dos sedimentos. Um sedimento pobremente selecionado compreende vários tamanhos de partículas e indica um transporte rápido e de pequena duração por fluidos densos. Os valores de assimetria foram de muito negativo a muito positivo, variando de -0,1 a 0,7. Suguio (1973) ressalta que, a assimetria positiva significa que a amostra possuirá calda de material fino enquanto que os valores negativos correspondem a material mais grosseiro.

A curtose é à medida que retrata o grau de agudez dos picos nas curvas de distribuição de frequência (SUGUIO,1973). Os valores de curtose das amostras analisadas foram de (0,67 a 7,4), mostra que a distribuição granulométrica se apresenta sob a forma de curvas de frequência consideradas, Pluricúrticas a extremamente leptocúrticas e Mesocúrticas que apareceram somente na voçoroca.

Nos três perfis analisados a curtose se apresenta sob a forma de curvas de frequência extremamente leptocúrticas, isso sugere de acordo com Suguio (1973) que esse material foi

selecionado de uma região de alta energia e então transportado sem mudanças das características para outro ambiente se misturando a outros sedimentos.

Figura 33- Grau de seleção, assimetria e curtose da fração areia.

Perfil do solo	Diâmetro médio das partículas	Grau de seleção	Grau de assimetria	Curtose
1-Perfil Voçoroca 1	Areia média a areia fina (3,0 a 3,2)	Pobremente selecionado a muito pobremente selecionado (1,7 a 2,5)	Muito negativo a negativa (-0,1 a -0,3)	Mesocurtica a extremamente leptocurtica (1,0 a 7,4)
2-Perfil Voçoroca 2	Areia muito fina a silte médio (3,2 a 6,2).	Pobremente selecionado (1,0 a 1,7)	Muito negativo a muito positivo (-0,3 a 0,7)	Pluricurta a extremamente leptocurtica (0,67 a 6,2)
3-Perfil Voçoroca 4	Areia muito fina a areia média (3,1 a 3,2).	Pobremente selecionado a muito pobremente selecionado (1,8 a 2,5)	Muito positivo a muito negativo (-0,3 a 0,3)	Leptocurtica a extremamente leptocurtica (1,3 a 7,2)

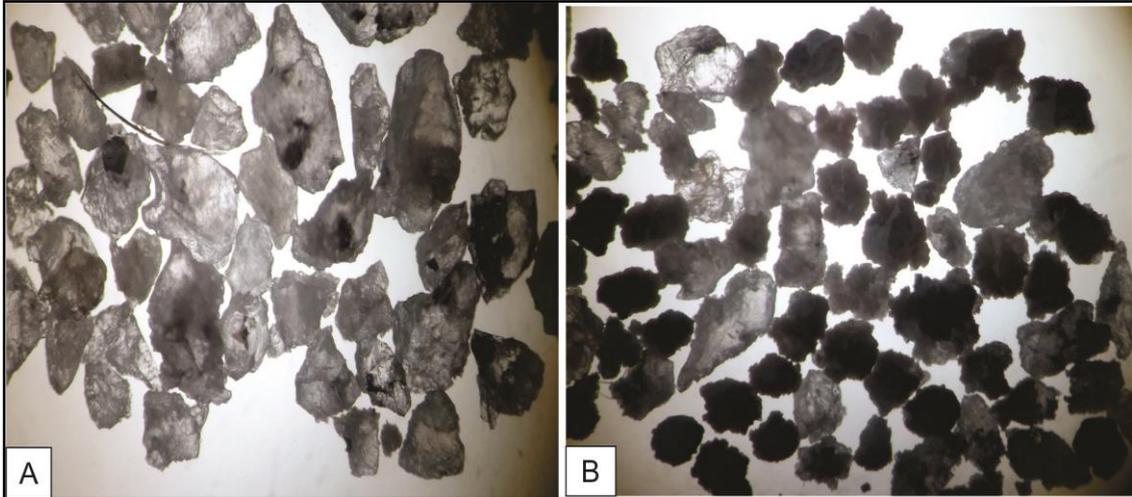
Organização: Marta Melo (2016)

4.2.4.3 Morfologia dos grãos

As análises morfológicas foram feitas nas frações de areia de 2 mm, 1mm e 500 μ m, observou-se que os grãos, formados principalmente por quartzo, apresentam predominância da morfologia subangulosa (84%), evidenciando pouco transporte e área fonte próxima. Esses sedimentos apresentam estrias e algumas fissuras, prevalecem aspectos translúcido-brilhantes sugerindo que o transporte foi por meio aquoso (figura 34 A). Os grãos angulosos (54%) apresentam aspectos brilhantes e foscos com predominância de grãos foscos indicando que a maior parte foi transportada por meio seco (figura 34 B). Somente no horizonte superficial da voçoroca V4 foram encontrados grãos, subarredondados (49%), indicando maior transporte e área fonte relativamente longe do ambiente de deposição, o aspecto fosco, demonstra que esse material foi transportado por meio seco, os grãos apresentam estrias e fissuras. No horizonte de base do perfil da voçoroca V2 foram encontrados grãos arredondados (6%), demonstrando que o material foi transportado de área distante através de

meio aquoso. Alguns grãos de quartzo da voçoroca V1 apresentam cores avermelhadas devido à presença de hematita no solo.

Figura 34- (A) grãos subangulosos com aspecto brilhante, (B) angulosos com predominância de grãos foscos.



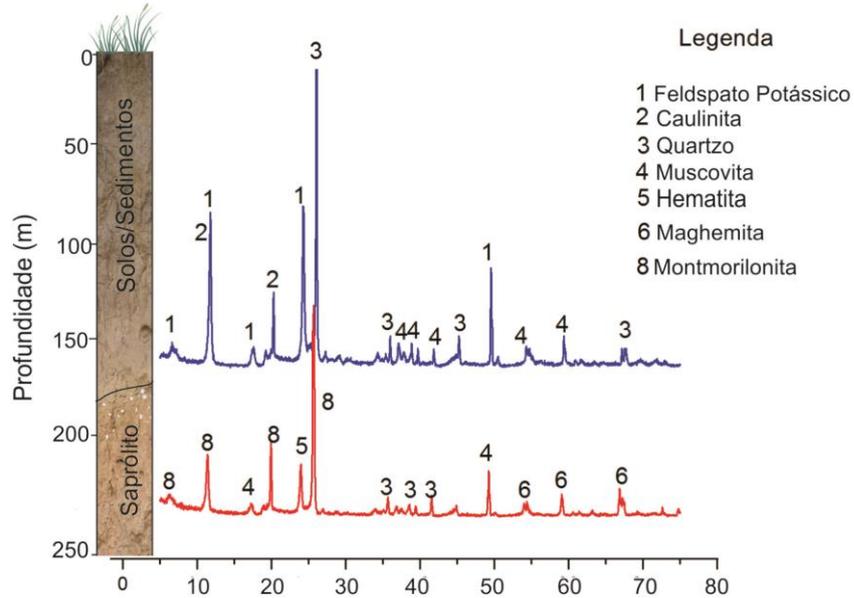
Organização: Marta Melo (2016)

4.2.4.4 Composição mineralógica dos solos

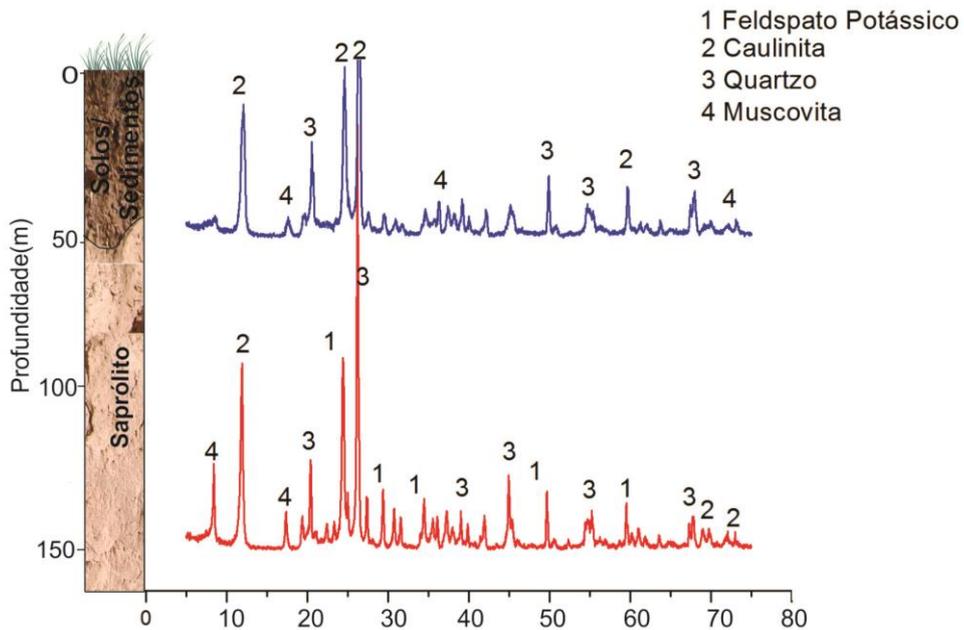
Os solos estudados são constituídos predominantemente de K-Feldspato, Quartzo, Caulinita e Muscovita. Tal composição está de acordo com o tipo litológico predominante (dacitos). Em relação à caulinita e muscovita, consideram-se produtos derivados de processos de alteração intempérica.

Na voçoroca V1, além dos minerais citados, foi encontrado no horizonte inferior Hematita, Maghemita e a Montmorilonita (Figura 35 A). De acordo com Campos et al., (2011) a presença dos óxidos de ferro é comum em solos de ambientes tropicais, em razão das condições de intensa lixiviação, e mesmo em concentração baixa no solo, os óxidos eles possuem alto poder pigmentante e influem na coloração dos solos de maneira bem nítida. Na voçoroca V2 foram encontrados K-Feldspato, Quartzo, Caulinita e Muscovita (Figura 35 B). Na V4 além dos minerais supracitados foi observado à presença do mineral Ilita (Figura 35 C). Beneditti et al.(2011) afirma que a ocorrência de caulinita indica intemperismo avançado, com forte lixiviação de bases, resultando em baixa fertilidade química do solo.

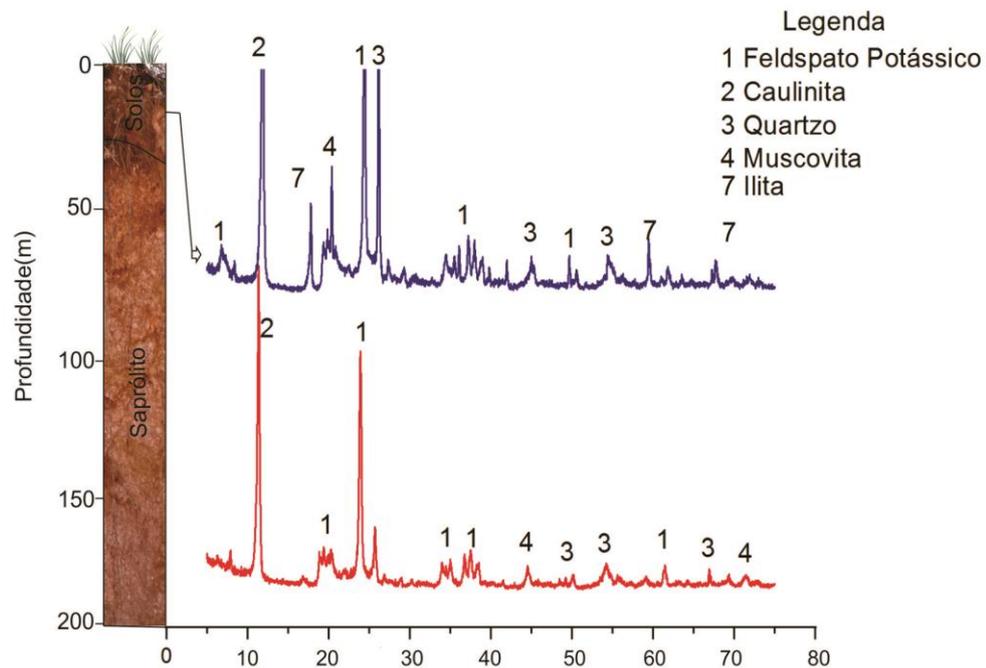
Figura 35- Composição mineralógica do solo (A) Voçoroca V1, no horizonte superior o maior pico é o de quartzo seguido do K- feldspato e caulinita, no horizonte inferior a montmorilonita se destaca (B) Voçoroca V2, horizonte superficial com predominância de caulinita seguido de quartzo e no inferior quartzo e K- feldspato (C) Voçoroca V4, horizonte superior com predominância de Caulinita, o inferior K-feldspato e caulinita.



A



B



C

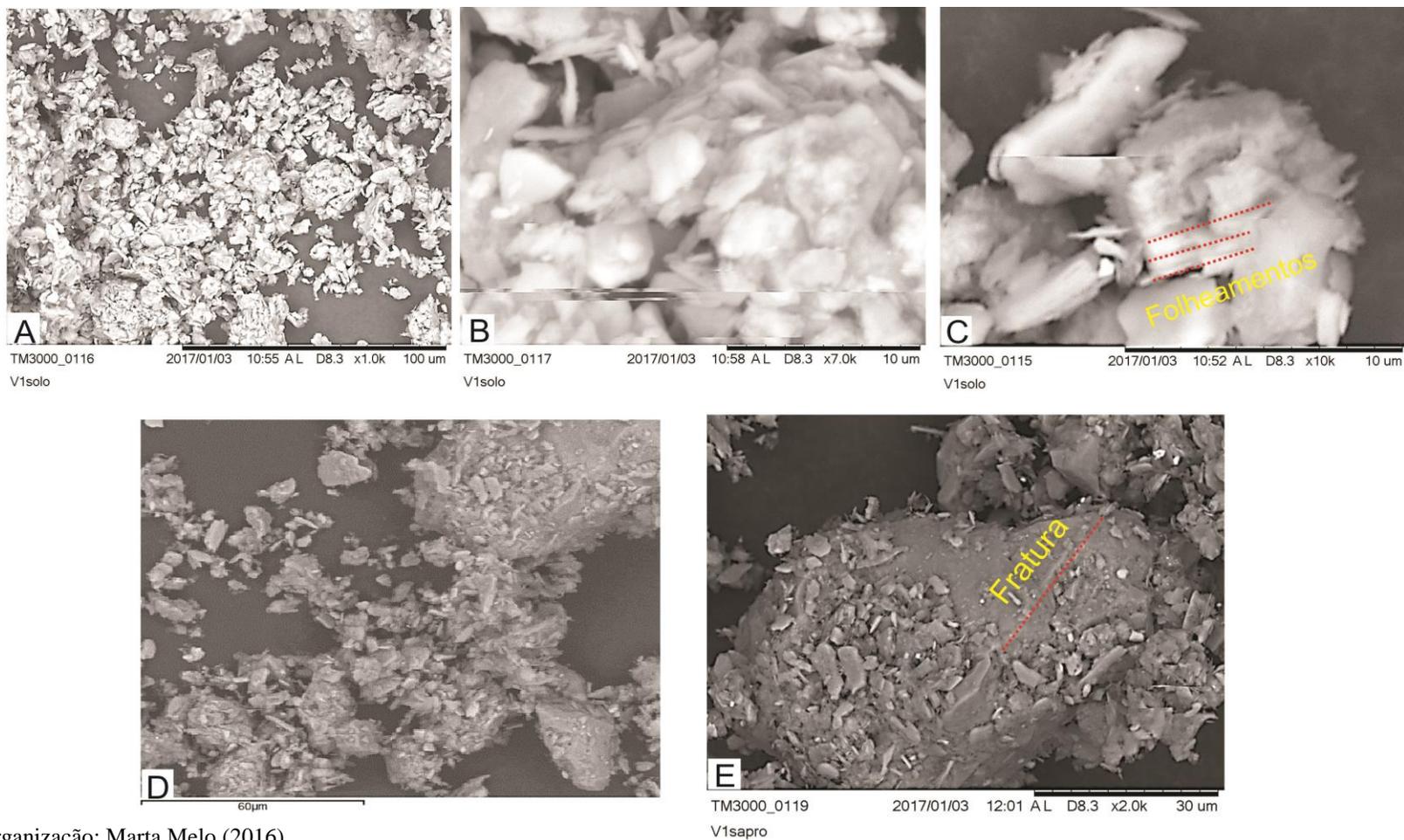
Organização: Marta Melo (2016)

4.2.4.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e microanálise química (EDS)

Os solos do perfil da voçoroca V1 apresenta no horizonte superficial predominância da caulinita, em que se observam plaquetas submilimétricas (Figura 36) característica típica da caulinita. Esses resultados vêm corroborar e confirmar os resultados da mineralogia adquiridos por difração de raios-X.

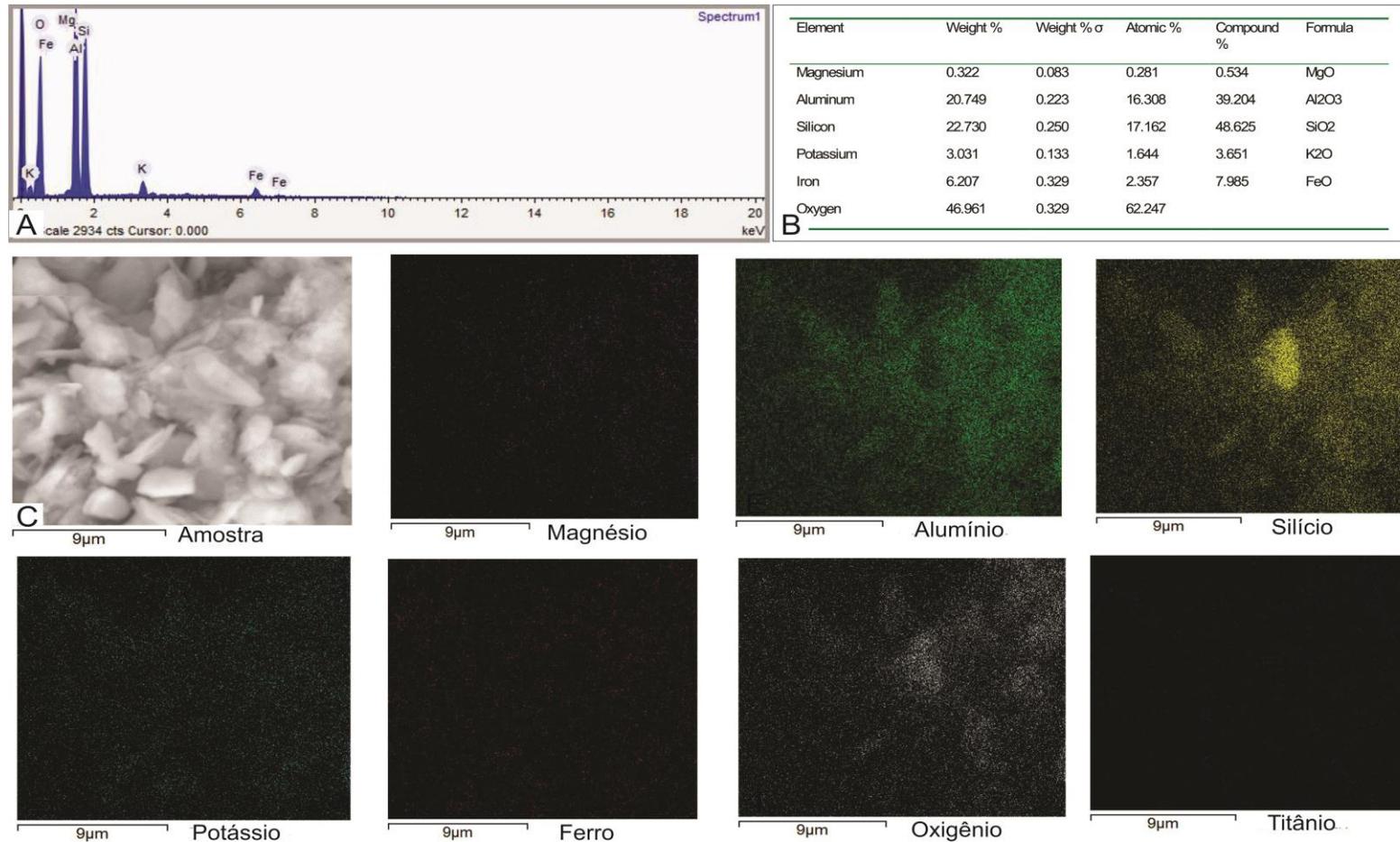
No horizonte inferior, composto de material saprolítico, predomina quartzo envolto por caulinita, foi observado fratura conchoidal no grão de quartzo (Figura 36 D e E). Foram encontrados a partir da análise química por EDS os elementos constituintes desse perfil. Os resultados obtidos foram praticamente os mesmos ao longo do perfil, as amostras apresentaram predominância de SiO_2 e Al_2O_3 respectivamente (Figura 37 e 38 A, Be C). Outros elementos encontrados foram Fe_2O_3 , típico de solos onde se encontra a Hematita e Maghemita a exemplo do perfil analisado, e em menores teores foram K2, Mg e Ti.

Figura 36- Microfotografia do perfil da Voçoroca V1 obtidas pelo MEV: (A) porção de amostra do horizonte superficial (B) Plaquetas sublimétrica da caulinita (C) folheamentos da caulinita (D) porção de amostra do horizonte inferior (E) grão de quartzo com fratura conchoidal parcialmente recoberto por plaquetas de caulinita.



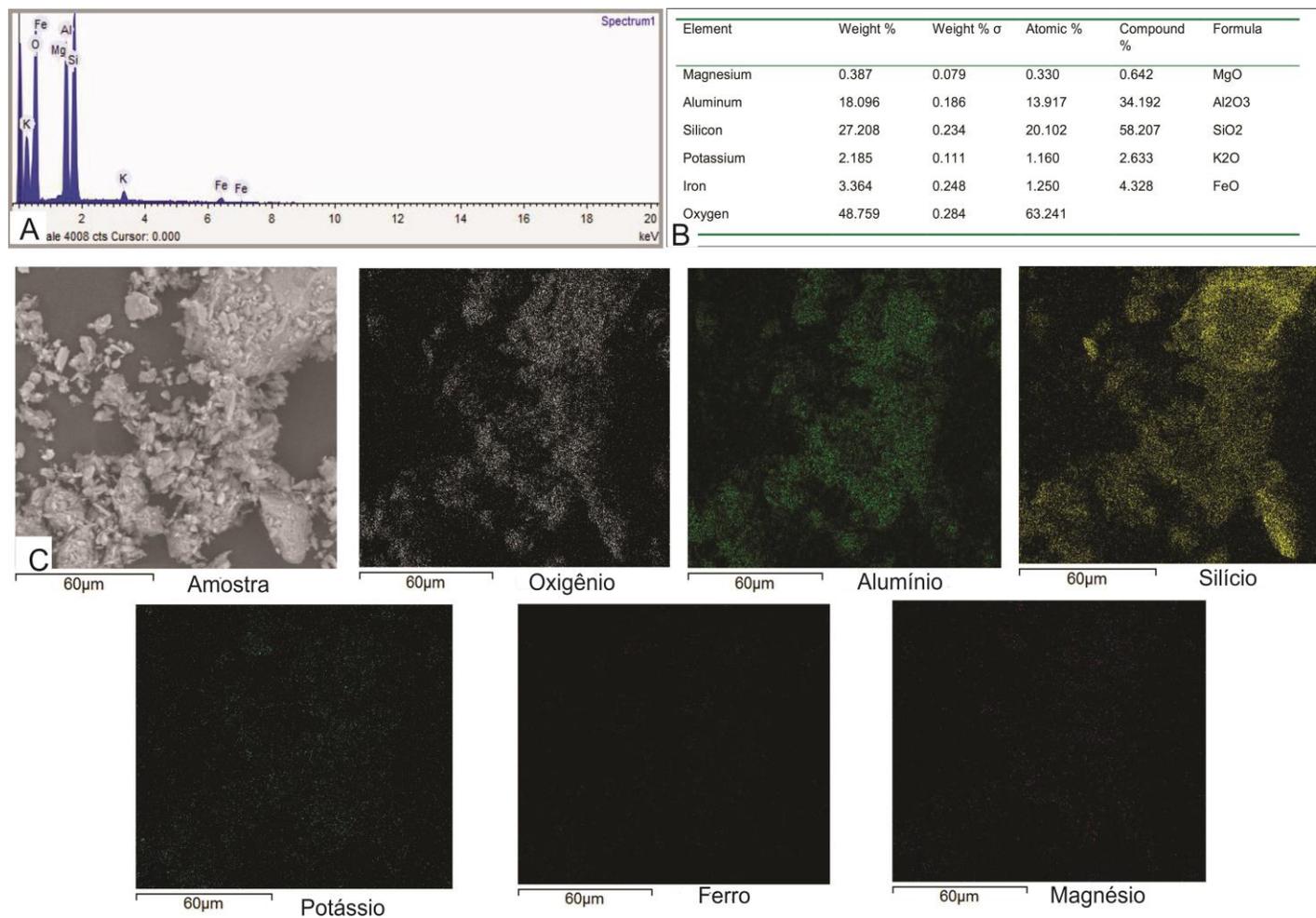
Organização: Marta Melo (2016)

Figura 37- Disposição e intensidade dos espectros dos principais elementos químicos constituintes da amostra retirada da voçoroca V1 horizonte superficial (B) Composição química na forma de óxido. (C) Mapeamento por elemento químico na porção da amostra analisada.



Organização: Marta Melo (2016)

Figura 38- Disposição e intensidade dos espectros dos principais elementos químicos constituintes da amostra retirada da voçoroca V1 horizonte inferior (B) Composição química na forma de óxido. (C) Mapeamento por elemento químico na porção da amostra analisada.

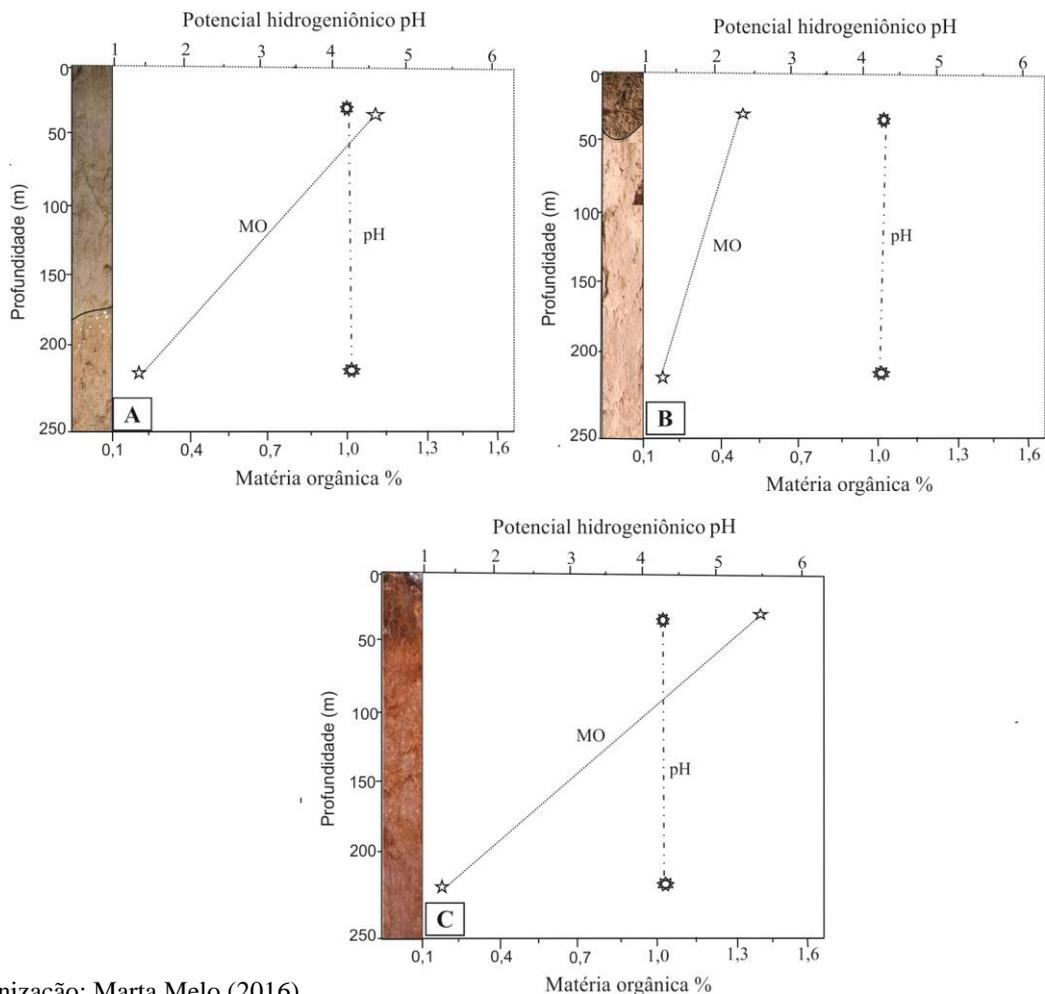


Organização: Marta Melo (2016)

4.2.4.6 Matéria orgânica e pH dos solos

A matéria orgânica (MO) teve variação de 0,2% a 1,4% (Figura 39). As maiores concentrações de 1,1% e 1,4% foram encontradas nos horizontes superficiais das voçorocas V1 e voçoroca V4 respectivamente. Segundo (GUCHERT, ROUSSENQ NETO, 2007, p. 24) “Um solo, para ser considerado perfeito, precisa ter em sua constituição: 45% de minerais, 25% de ar ocupando seus poros, 26% de água e 5% de matéria orgânica e microrganismos”, levando em consideração esses parâmetros nota-se que os índices de matéria orgânica encontrado é muito baixo.

Figura 39- Matéria Orgânica (MO) em %, apresentando maior concentração nos horizontes superficiais e Potencial Hidrogeniônico do solo (PH), não apresentando grandes diferenças nos horizontes e perfis estudados. (A) Voçoroca V1 (B) Voçoroca V2 (C) Voçoroca V4.



Organização: Marta Melo (2016)

A análise química dos solos apresentou pH em CaCl₂ de 4,1 a 4,2, portanto considerados extremamente ácidos. Somente na voçoroca V1 houve uma pequena variação do PH de 4,1 no horizonte superficial para 4,2 no horizonte inferior, nos demais perfis não houve variação.

A interpretação adotada para valores de pH em CaCl₂ é apresentada no (Figura 40). Portanto observa-se que a acidez do solo nas voçorocas estudadas é muito alta, refletindo na potencial de erodibilidade do solo, ou seja, solos muito ácidos são mais susceptíveis aos processos erosivos.

Figura 40 - Parâmetros relacionadas a acidez do solo.

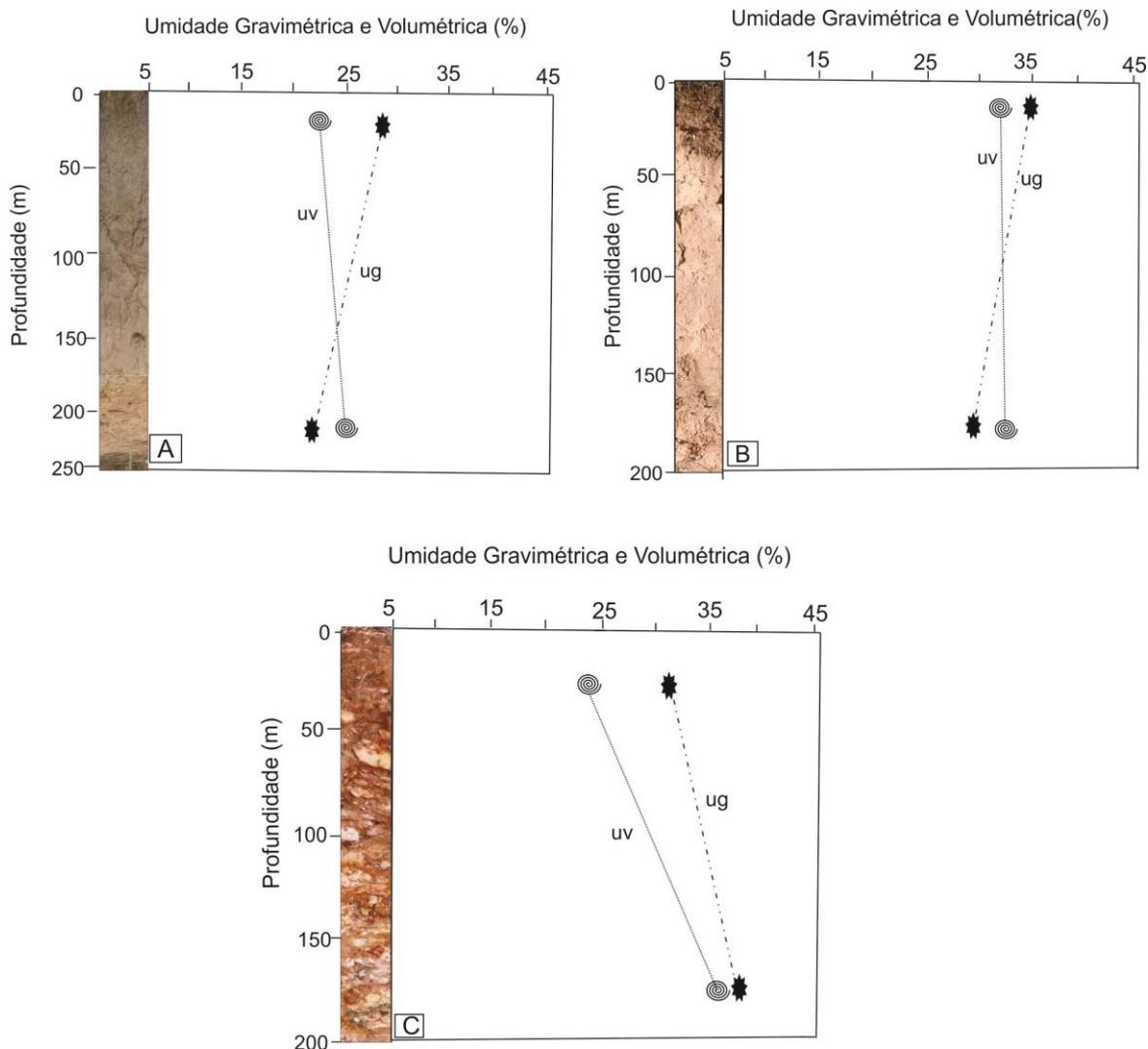
ACIDEZ	pH em CaCl ₂
Muito alta	Até 4,3
Alta	4,4 – 5,0
Média	5,1-5,5
Baixa	5,6 -6,0
Muito baixa	> 6,0

Camargo et al.(2009)

4.2.4.7 Umidade do solo

A umidade volumétrica nos três perfis analisados teve uma variação de 20% a 35%, sendo maiores nos horizontes inferiores da V1 e V4 e sem diferenças na V2, a gravimétrica oscilou de 20% a 40% apresentando na V1 e V2 em maior percentagem nos horizontes superiores enquanto que na V4 é mais expressivas no horizonte inferior (Figura 41). Esses índices elevados de umidade se deve a proximidade com o lençol freático que no caso da V1 chega a aflorar à jusante.

Figura 41- Umidade volumétrica (uv) Umidade Gravimétrica do solo (ug) (A) Voçoroca V1(B) Voçoroca V2 (C) Voçoroca V4.



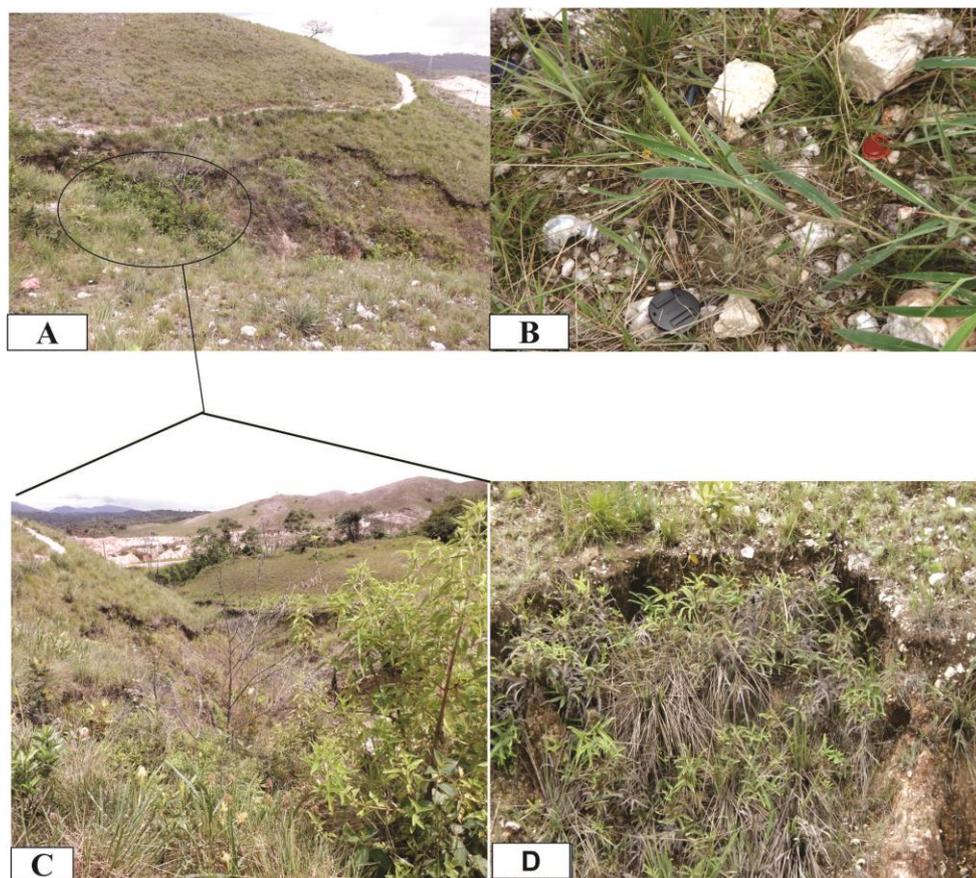
Elaboração: Marta Melo (2016)

4.2.5 Vegetação no entorno das voçorocas

A vegetação do entorno das voçorocas estudadas é do tipo Savana Arbustiva Graminosa, na voçoroca V1(Figura 42), pode-se observar que a vegetação é bem esparsa. Na borda do lado direito a vegetação recobre mais o solo, retardando a aceleração do processo erosivo. Na borda do lado esquerdo a superfície do solo apresenta muito cascalho solto, sugerindo que houve lixiviação da camada mais fina,

essa baixa cobertura vegetal favorece o processo erosivo, que é mais intenso desse lado do canal. Na cabeceira da voçoroca a vegetação é um pouco mais densa e na margem esquerda encontram-se pteridófitas (*samambaias*) fixadas sobre blocos desprendidos das margens.

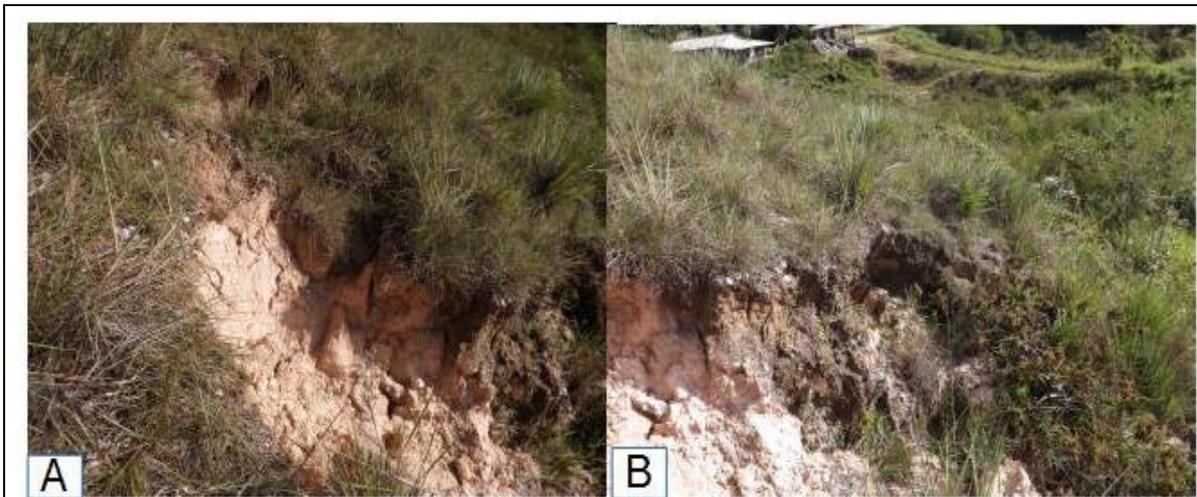
Figura 42: Vegetação encontrada na voçoroca V1(A) vegetação densa na cabeceira do canal (B) gramínea esparsas (C) visão geral da vegetação de entorno do canal (D) pteridófitas (*samambaias*).



Organização: Marta Melo 2016

Na voçoroca V2 (Figura 43), apesar das gramíneas serem um pouco mais alta, se distribui em forma de touceiras, deixando o solo entre elas parcialmente exposto, observa-se também a presença cascalhos soltos.

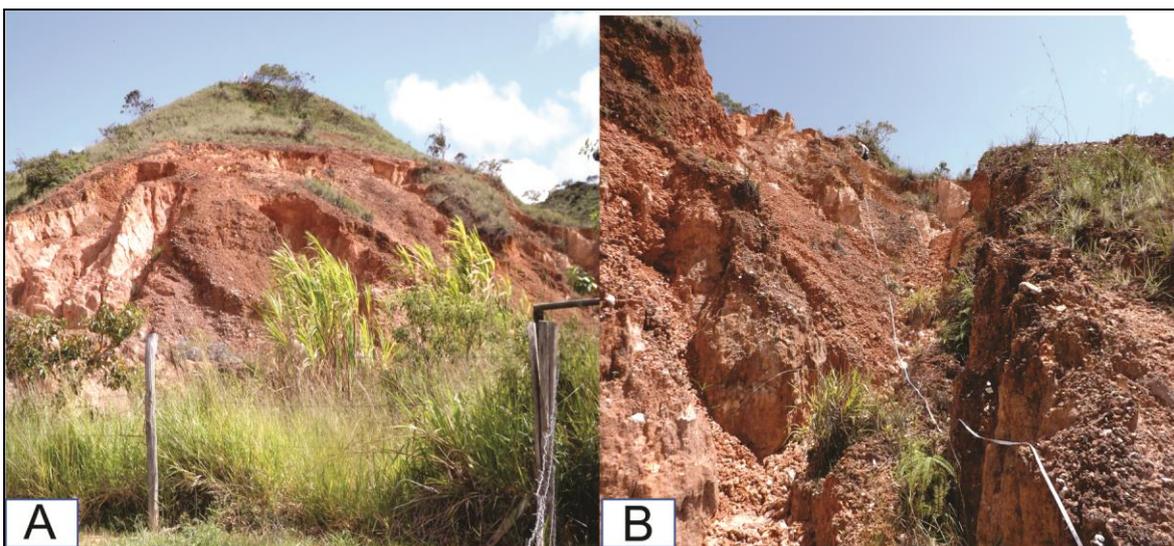
Figura 43:Vegetação encontrada na voçoroca V2(A e B) gramíneas em forma de touceiras.



Organização: Marta Melo 2016

No topo do morro onde estão instaladas as voçorocas V3 e V4, a vegetação rasteira é representada por savana gramínosa e na base há vegetação secundária, mas em suas bordas é praticamente inexistente, desta forma o solo está totalmente exposto (Figura 44).

Figura 44:Vegetação encontrada na voçoroca V3 e V4 (A)no topo do morro savana gramínosa, na base vegetação secundária (B) nas margem direita gramíneas esparsas.



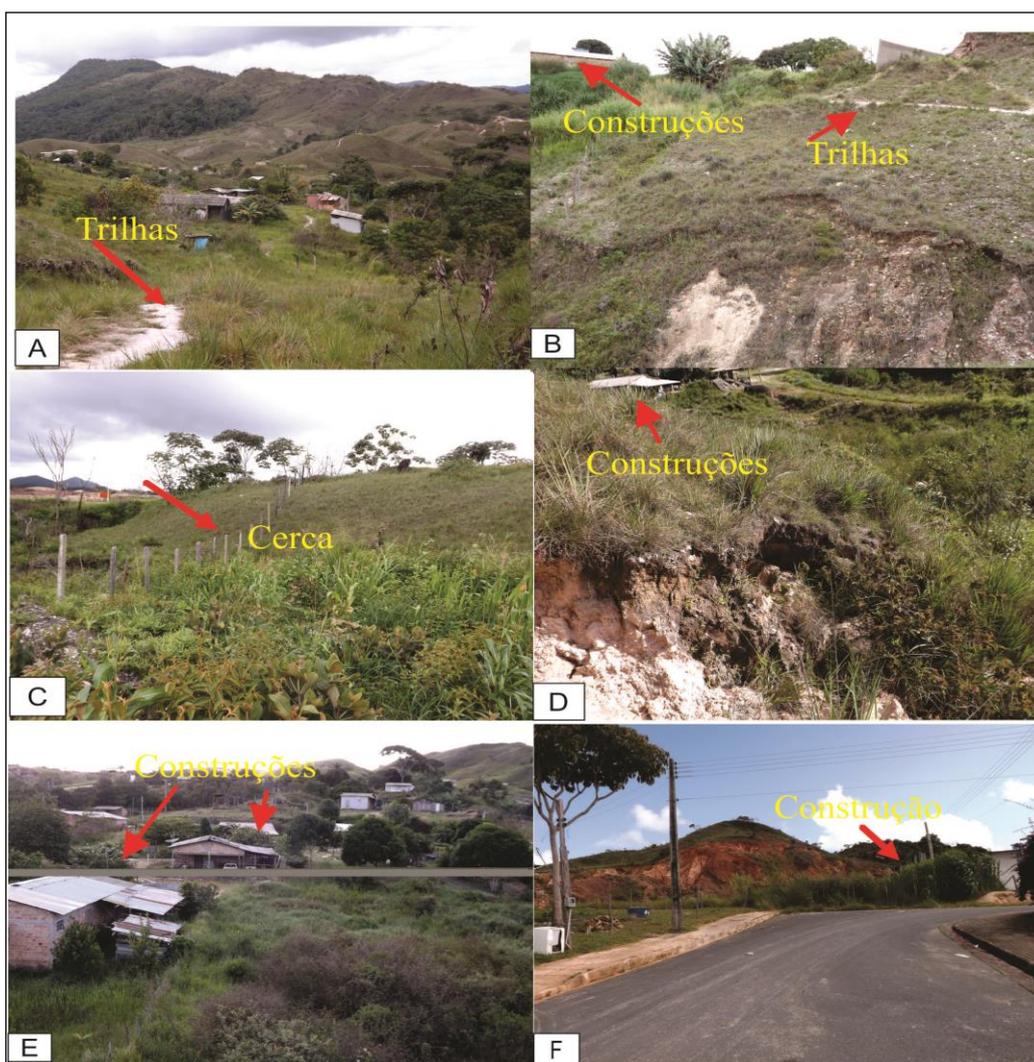
Organização: Marta Melo 2016

4.2.6 Ação antrópica

As voçorocas estudadas, por estarem instaladas em zona urbana encontram-se rodeadas por construções, em sua maioria residências. Pode-se constatar presença de cercas que delimitam os terrenos, trilhas que servem de caminho para os moradores chegarem ao centro de Pacaraima (Figura 45).

Na base dos morros onde ficam as voçorocas, há muitas residências, algumas bem próximas às incisões. O tráfego diário dos moradores e as construções civis alteram a porosidade do solo através da compactação, comprometendo o processo de infiltração das águas pluviais, o que implica no aumento do potencial erosivo do solo.

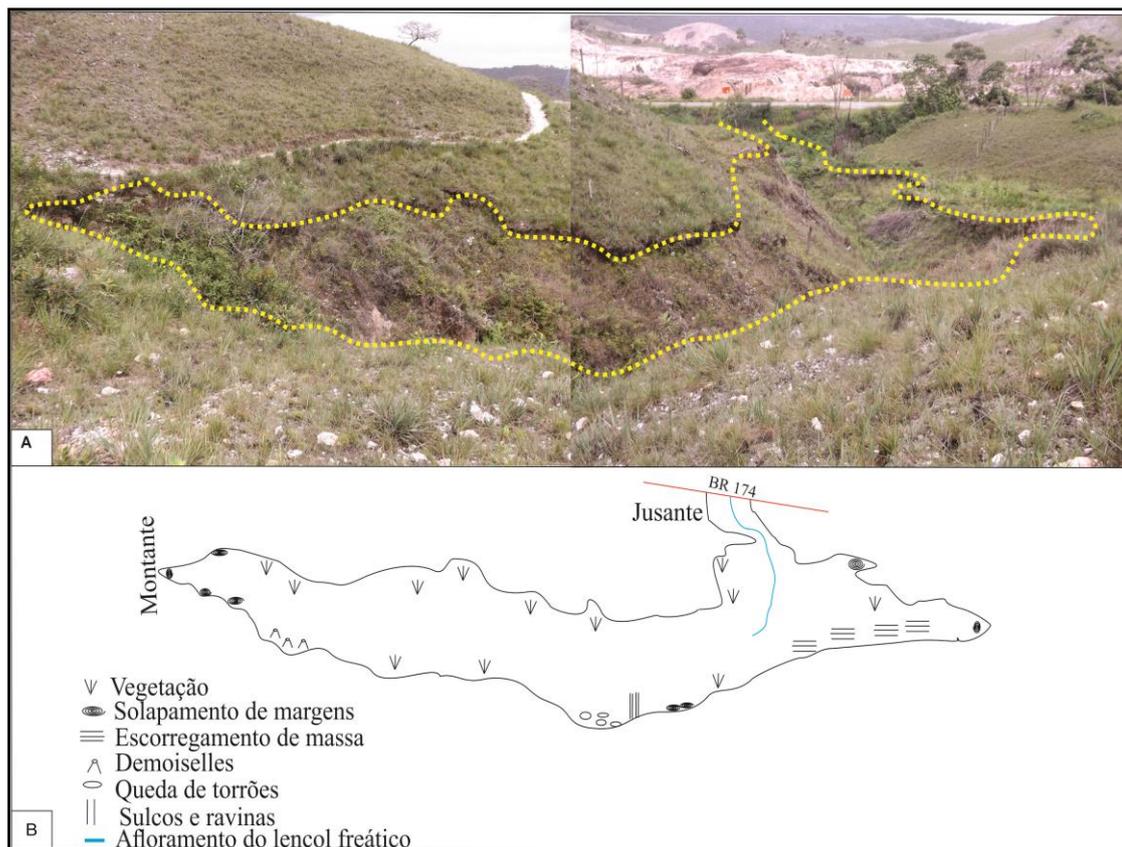
Figura 45: Interferências antrópicas nas voçorocas estudadas (A) trilhas que dão acesso ao centro da cidade (B) construções e trilhas próximas a voçoroca V1 (C) Cerca delimitando loteamentos (D e E) residências próximas a voçoroca V2 (F) construções na base do morro Suapi, voçoroca V3 e V4.



4.3 MICROFEIÇÕES EROSIVAS IDENTIFICADAS NAS VOÇOROCAS

Na voçoroca V1 há um intenso processo erosivo na margem direita e por toda a incisão foram encontradas diferentes microfeições erosivas estando espacializadas na **Figura 46**.

Figura 46 - (A) Linha pontilhada delimitação a voçoroca V1 (B) croqui com a espacialização das microfeições erosivas encontradas.



Organização: Marta Melo (2016)

Foram identificadas várias microfeições erosivas nas áreas de talude e interior da voçoroca, as quais serão descritas e apresentadas na **Figura 47**:

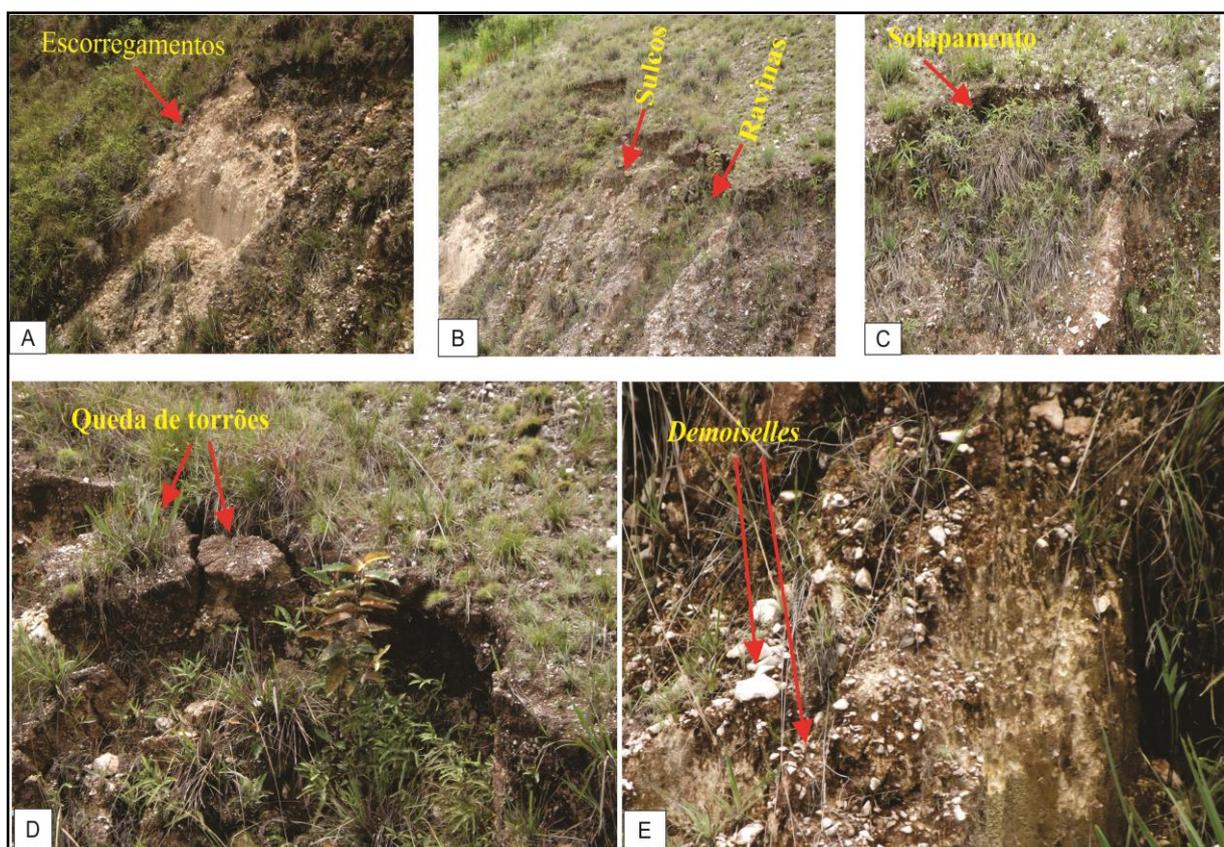
- a) Os escorregamentos de massa estão dispostos na margem direita, estando possivelmente ligada a falta de vegetação, ao encharcamento do solo devido algumas trincas encontradas no local;
- b) Sulcos e ravinas, encontrados nas duas margens, devido a pouca vegetação o escoamento se converge, formando rotas de concentração;

c) Solapamento de margens encontrados ao longo de toda a voçoroca acontece devido ao aprofundamento das alcovas no talude, contribuem para o aumento das bordas da incisão;

d) Queda de torrões, foram encontradas na margem direita, resultado do desprendimento de uma quantidade significativa de sedimentos soltos pelo solapamento das margens;

f) *Demoiselles*, estão presentes na cabeceira da voçoroca, tem formato alongado, afinando a medida que segue para o topo sendo recobertas por sedimentos de quartzo.

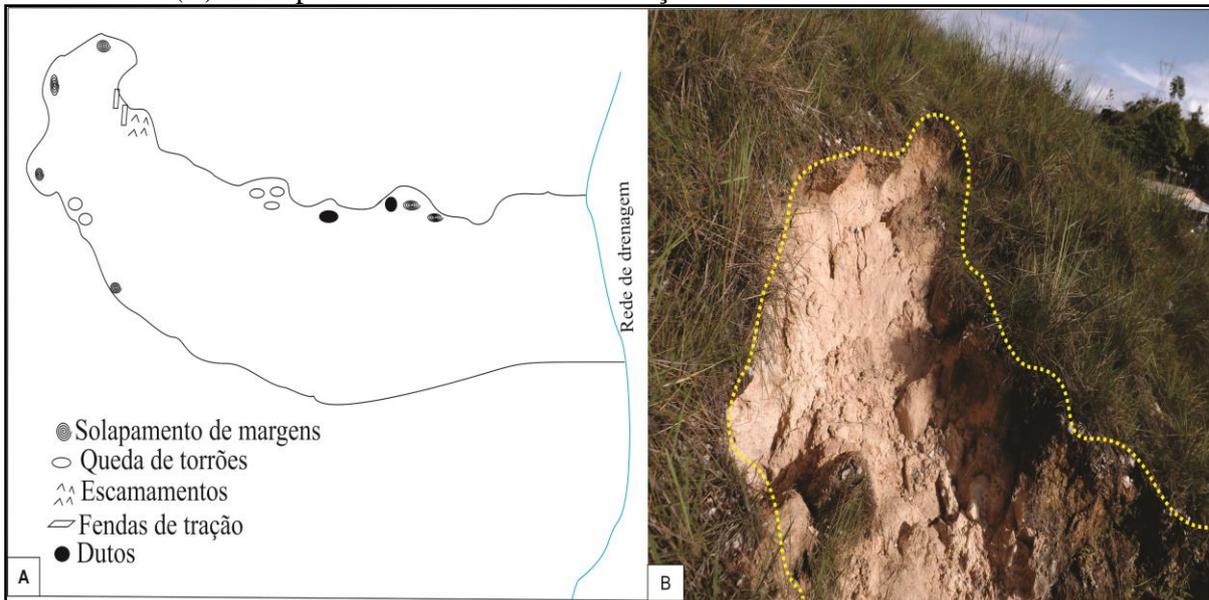
Figura 47- Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V1.



Organização: Marta Melo (2016)

A voçoroca V2 é a menor incisão estudada, no entanto o processo de erosão é bem intenso, é possível observar fendas de tração, solapamento de margens dentre outras feições no talude e interior da mesma (Figura 48).

Figura 48- (A) Croqui da voçoroca V2 com a espacialização das microfissões erosivas encontradas (B) linha pontilhada delimitando a voçoroca.

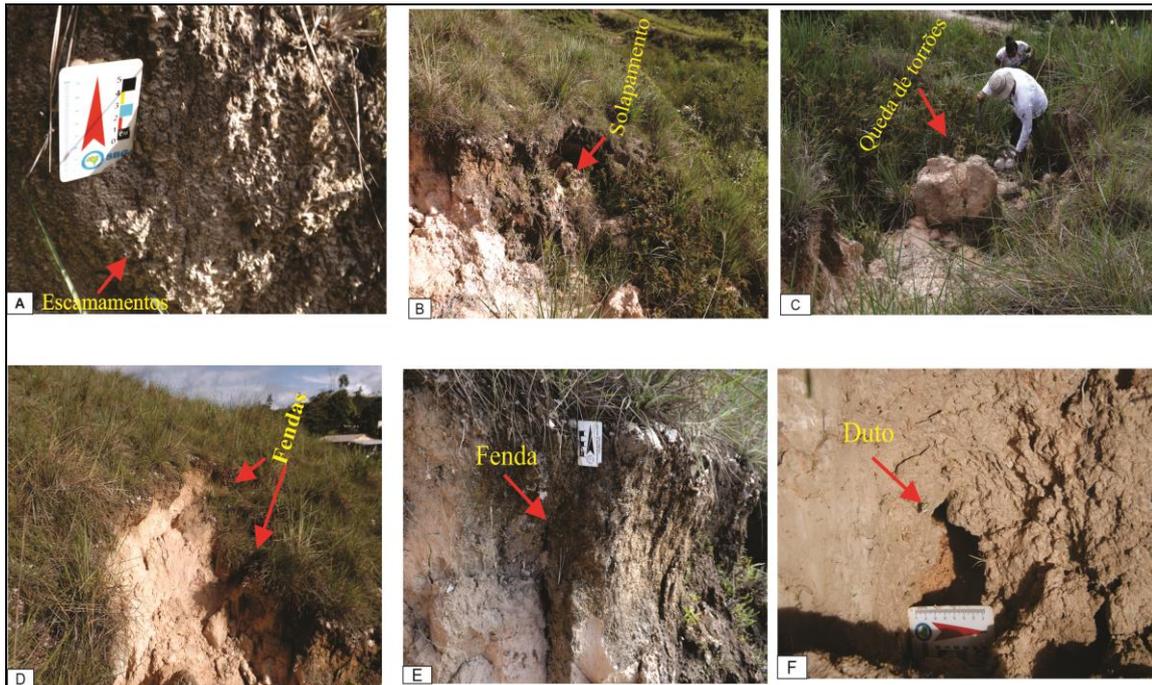


Organização: Marta Melo (2016)

Observa-se no talude e interior da voçoroca (Figura 49) a presença de algumas microfissões erosivas como:

- a) Os escamamentos se concentram na margem direita da incisão, no horizonte superficial indicando que a erosão laminar está atuando na retirada do material mais fino restando os mais resistentes;
- b) Solapamento de margens ocorre devido ao desprendimento de material ao longo das fendas;
- c) Quedas de torrões são comuns dentro do canal, indicando que houve desprendimento desse material das bordas do talude;
- e) As Fendas estão concentradas na margem direita do canal, esse tipo de feição contribui significativamente para o aumento do canal, pois as águas pluviais se infiltram com facilidade promovendo o solapamento do talude;
- f) Dutos que estão cerca de 30 cm abaixo da superfície com diâmetro médio de 4 cm, provavelmente associados a presença de canais subsuperficiais dentre outros;

Figura 49- Microfissões erosivas encontradas na voçoroca V2.

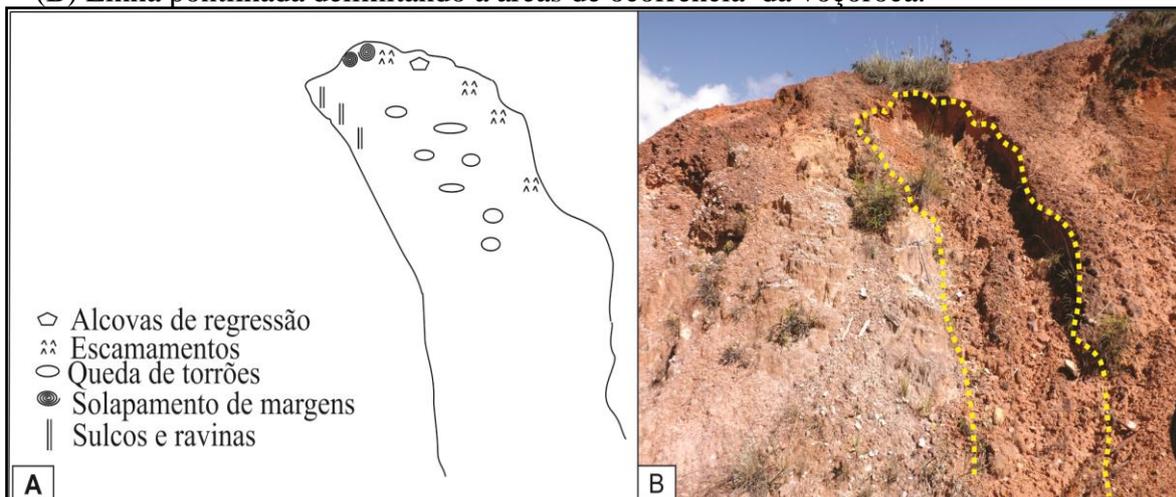


Organização: Marta Melo (2016)

A voçoroca V3 está instalada em um morro com solo totalmente exposto, o que facilitou o surgimento e evolução do processo erosivo. Na cabeceira estão presentes alcovas de regressão que contribuem para o solapamento das margens e queda de torrões no interior da mesma(Figura 50).

Figura 50- (A)Croqui da voçoroca V3 com a espacialização das microfieções encontradas

(B) Linha pontilhada delimitando a áreas de ocorrência da voçoroca.

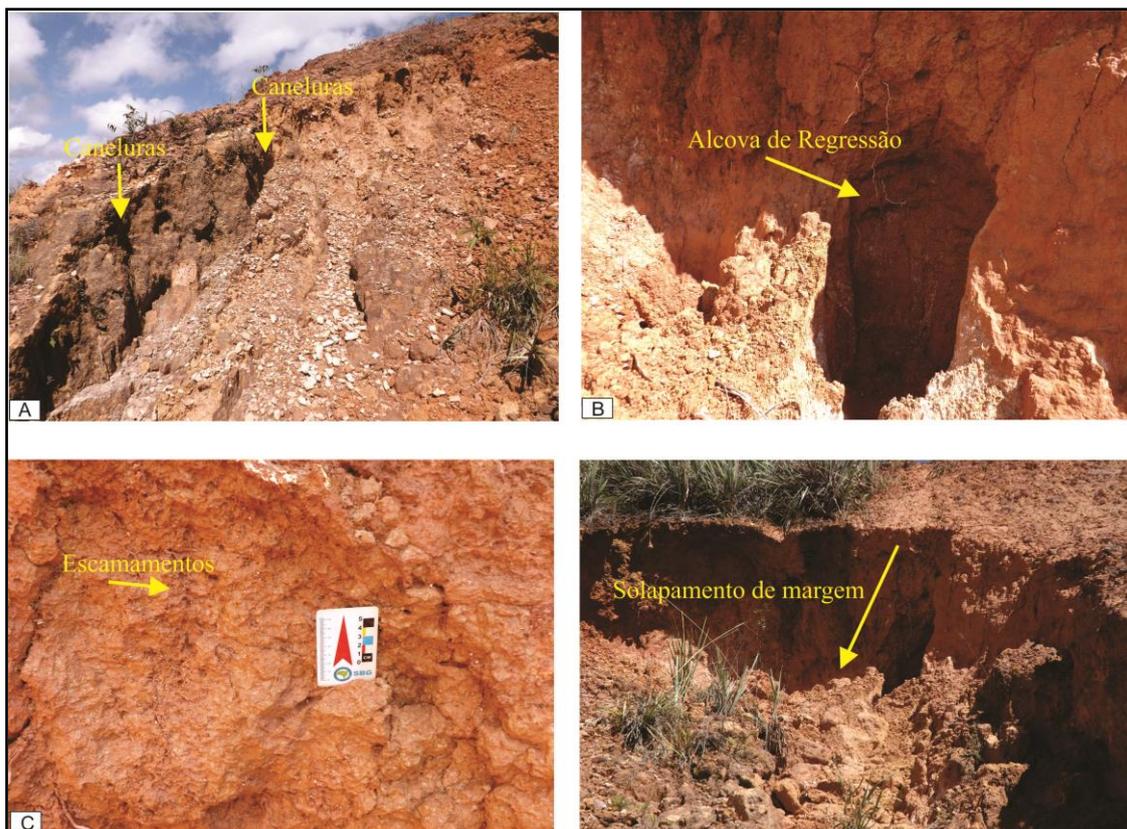


Organização: Marta Melo (2016)

No seu interior foram encontradas varias microfieções geomorfológicas (Figura 51) como:

- a) As caneluras geralmente estão associadas à convergência de fluxo superficial para o interior da voçoroca, resultante da interação entre erosão por queda d'água;
- b) As alcovas de regressão estão presentes na cabeceira, esculpidas pelo escoamento superficial na forma de filete após um evento chuvoso;
- c) Os escamamentos constituem-se feições formadas pelo acúmulo de material fino, sob superfície mais resistente, foram encontrados em toda a parede da margem direita, indicando que os fluxos laminares se concentram deste lado da voçoroca;
- d) Quedas de torrões foram identificadas ao longo do interior do canal, decorrente do solapamento das margens que estão sendo mais intensa a montante do canal.

Figura 51 – Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V3.

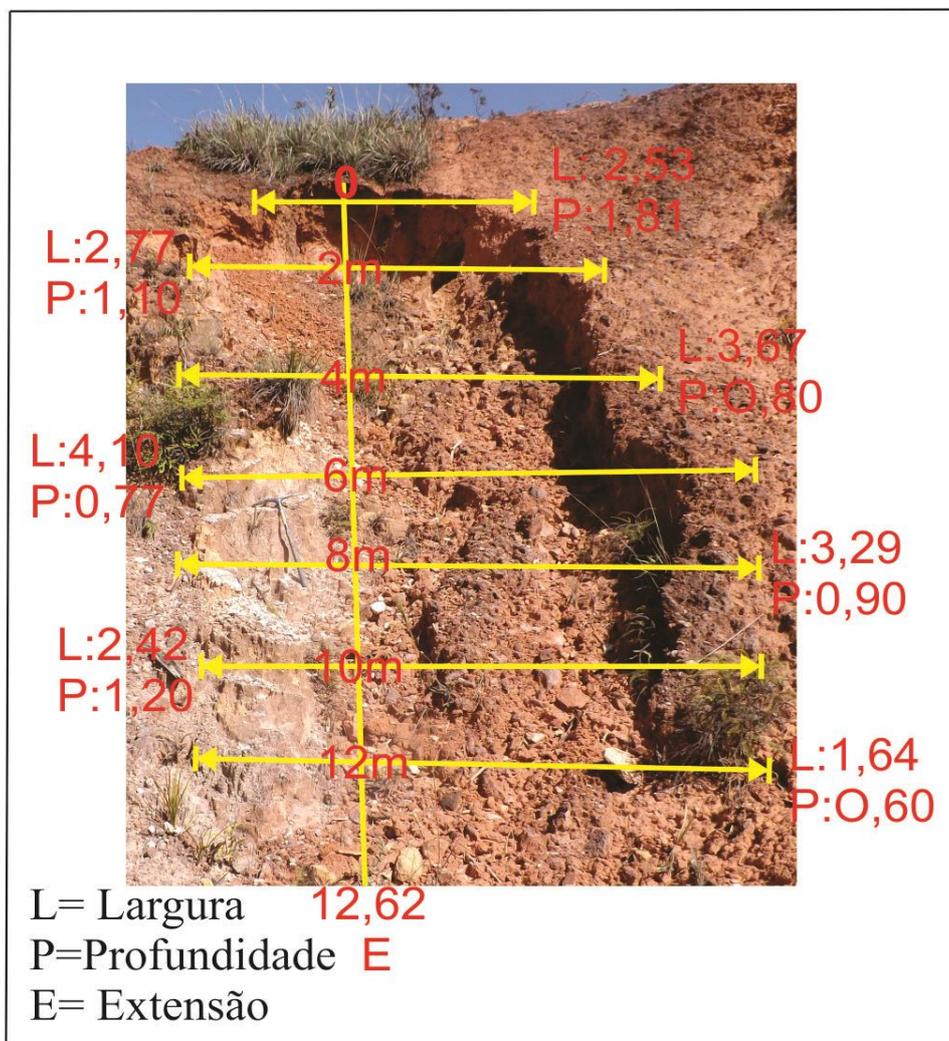


Organização: Marta Melo (2016)

Devido à facilidade encontrada para medir toda a extensão da voçoroca, foi feito a análise de quantos m³ de solo foi erodido nesta voçoroca. A largura média da incisão é de 2,91 metros, o comprimento 12,62, portanto $12,62 \times 2,91 = 36,72\text{m}^2$. A profundidade média é de 0,99 metros $\times 36,72\text{m}^2 = 36,352 \text{ m}^3$, total de material erodido (Figura 52).

Essa incisão é considerada muito pequena, pois apresenta valores inferiores a 999 m³ de material erodido.

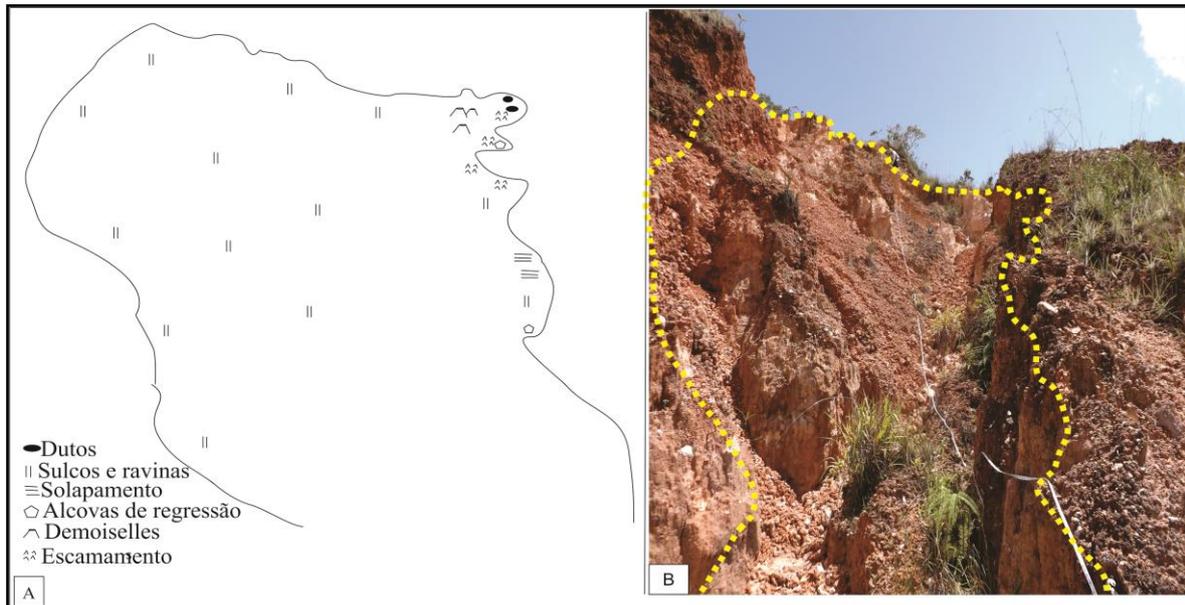
Figura 52: Volume de material erodido da voçoroca V3.



Organização: Marta Melo (2016)

A voçoroca V4 se encontra em intenso processo erosivo, o solo está praticamente exposto, é possível identificar muitas ravinas e solapamentos ao longo da incisão e microfieções erosivas disposta principalmente na margem direita do canal (Figura 53).

Figura 53 - (A) Croqui da voçoroca V4 mostrando a espacialização das microfieções erosivas (B) Linha pontilhada delimitando a área de ocorrência da voçoroca.



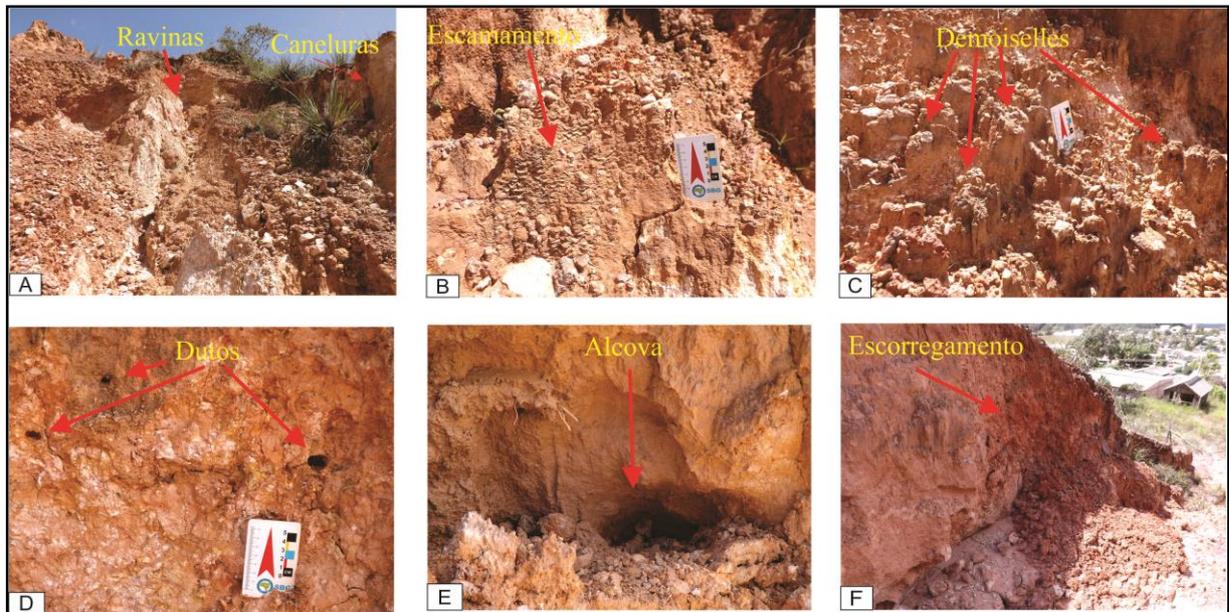
Organização: Marta Melo (2016)

No seu interior da voçoroca V4 há várias microfieções geomorfológicas (Figura 54) descritas a seguir:

- a) Os ravinamentos dispostos por todos os lados do canal, testemunhando a concentração do fluxo superficial após eventos chuvosos. As caneluras do lado direito associadas à convergência de fluxo superficial para o interior da voçoroca;
- b) Os escamamentos concentram-se na margem direita por onde os fluxos laminares se dissipam;
- c) *Demoiselles* concentram-se na cabeceira da margem direita, são formas residuais esculpidas abaixo de seixos de quartzo, sendo encontradas em diferentes alturas que variam de 2 a 4 cm;
- d) Os dutos estão dispostos próximos a superfície na margem direita, possuem pequena dimensão, provavelmente sua ocorrência está relacionada ao escoamento subsuperficial;
- e) As alcovas estão dispostas na margem direita sendo escavadas pelo escoamento das águas pluviais;

f) Os escorregamentos de massa estão dispostos na margem direita, estando possivelmente ligada a falta de vegetação, ao encharcamento do solo devido algumas trincas encontradas no local.

Figura 54 – Microfeições erosivas encontradas na voçoroca V4.



Organização: Marta Melo (2016)

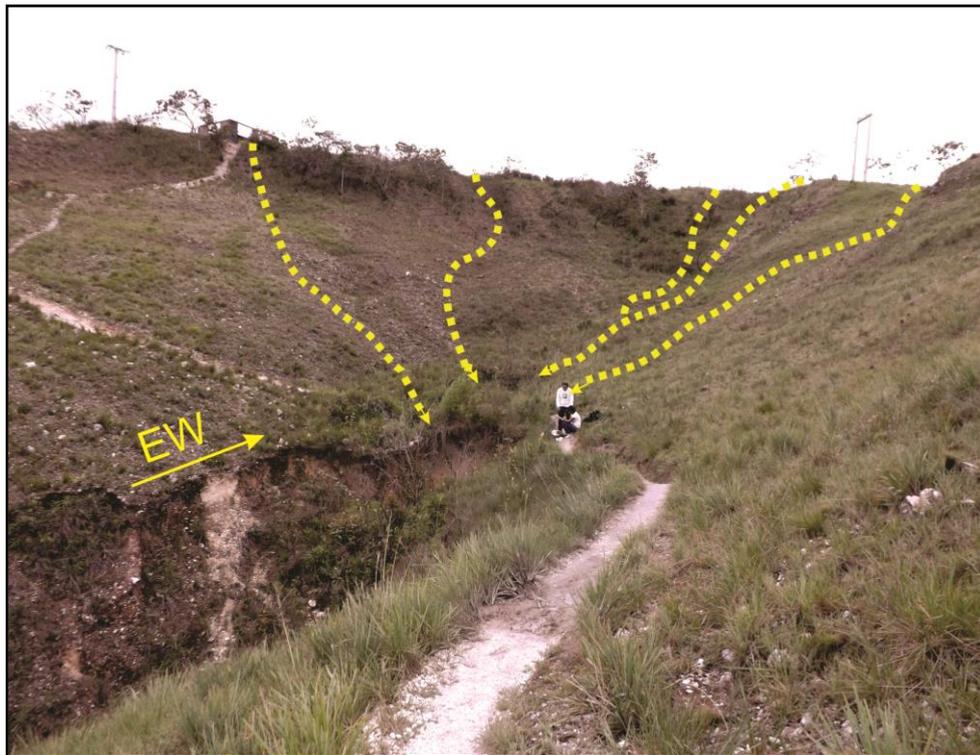
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE OS FATORES CONDICIONANTES E OS PROCESSOS EROSIVOS

Na gênese e evolução dos processos erosivos lineares, vários são os mecanismos que atuam simultaneamente, a seguir serão expostos os diferentes meios que atuam na evolução das voçorocas estudadas:

A geologia da área é caracterizada por rochas vulcânicas ácidas a intermediária do grupo Surumu e por um arranjo estrutural de orientações preferenciais E-W e NW-SE, como mostrado no mapa de lineamentos. Tanto essa composição litológica, como a estruturação constituem fatores condicionantes na organização da drenagem e na morfologia do relevo, como pode ser verificado, por exemplo, nos alinhamentos de morros e colinas. Por conseguinte no desenvolvimento das feições erosivas lineares, que mostram entalhamento dos canais concordante com essas direções estruturais.

As voçorocas se desenvolveram em relevo que varia de suave a ondulado, apresentando morfologia côncava-convexa. A concavidade das vertentes direcionam o fluxo superficial fazendo com haja um entalhamento e evolução do canal (Figura 55).

Figura 55: Concavidade da vertente que se instalou a Voçoroca V1. A linha tracejada mostra a direção do fluxo superficial, que ganham velocidade vertente a baixo e com isso o fluxo se concentra em direção a incisão contribuindo para o seu aumento.



Organização: Marta Melo(2016)

As vertentes íngremes apresentam vegetação incipiente, formada por gramíneas. Apesar de gerar a impressão de que o solo esteja protegido, quando se observa atentamente essa vegetação é bem esparsa, deixando o solo ao redor susceptível à ação da chuva. Esse baixo estrato herbáceo aliado à alta pluviosidade da região, vai incrementar o escoamento superficial, potencializando a velocidade do fluxo. Esta maior velocidade reflete um maior poder de abrasão e arraste de partículas, durante os eventos chuvosos. A **Figura 56** mostra que o material fino foi removido ficando apenas um material grosseiro e bem compactado nas margens da voçoroca, o que vai provocar a selagem do solo e aumentar o escoamento superficial.

Figura 56 –Formação de crosta provocando eventualmente a selagem do solo nas margens da voçoroca V4.



Fotos Luiza Câmara (2016)

Os solos da área são originários da decomposição de rochas ígneas, o tipo predominante é o Neossolo Litólico, considerado quimicamente pobre e tendo como principal característica um horizonte assentado diretamente no saprólito, oriundo de rocha vulcânica ((Figura 57).

Figura 57: Fragmentos da rocha-mãe encontrados abaixo de um fino horizonte de solo.



Foto Luiza Câmara (2016)

A densidade do solo não apresentou variação significativa ao longo dos perfis analisados. No entanto apresentou ao longo dos horizontes uma pequena variação, com valores mais expressivos nos horizontes inferiores em relação ao topo. A densidade de partículas está relacionada à densidade real dos minerais encontrados, por se tratar de um material que tem a mesma origem não apresentando variação de um perfil para outro.

A porosidade encontrada foi bem significativa e os horizontes superficiais são levemente mais porosos que os horizontes inferiores. Esse parâmetro influi na dinâmica da água no solo representando o volume de espaços vazios entre as partículas mais finas até as mais grosseiras, um solo com elevada porosidade retém menos água.

Nos três perfis analisados tanto nos horizontes superficiais como nos inferiores o material encontrado é predominantemente siltico. Na pequena fração de areia encontrada observou-se que esse material é de granulometria fina, sofreu pouco transporte sem mudanças significativas em suas características. Ainda nessa fração as análises demonstraram que a maior parte dos grãos são formados por quartzo apresentando morfologia subangulosa seguida pelas angulosas, o que vem confirmar que esse material possui área fonte próxima, sendo transportado em sua maioria por meio aquoso seguido pelo meio seco.

O solo possui baixo teor de matéria orgânica sobressaindo-se os horizontes superficiais. Esse baixo índice deve-se a baixa densidade da cobertura vegetal encontrada no local, pois a mesma é composta basicamente por gramíneas que não fornecem material suficiente para produção de *húmus*.

As análises demonstraram que esse solo é extremamente ácido, não havendo variação significativa ao longo dos horizontes e perfis analisados.

Desta forma apesar da densidade do solo ser baixa e a porosidade alta, os processos erosivos vão se instalar com facilidade devido à atuação de outros fatores como a presença de grãos finos do material siltico, associados com o baixo teor de matéria orgânica e pH extremamente ácido. Esses fatores agindo conjuntamente produzem crostas na superfície do solo e diminuem a porosidade e conseqüentemente aumentam as taxas do escoamento superficial (*runoff*) e a perda do solo.

A umidade desses solos teve uma leve variação ao longo dos perfis analisados, no entanto é bem mais significativa nos horizontes inferiores, isso deve-se ao lençol freático bastante raso na região.

Aliado a esses fatores tem-se a ação antrópica que se faz presente em todas as voçorocas analisadas, pois as mesmas localizam-se no perímetro urbano, sendo rodeadas por construções e trilhas, com escadarias entalhadas, utilizadas como via de acesso por onde pessoas trafegam para chegar ao centro da cidade de Pacaraima. Esta prática deixa o solo desprotegido ocasionando a selagem que condiciona a concentração do fluxo em superfície.

Portanto, a análise dos condicionantes (Geologia, Geomorfologia, pluviosidade, vegetação, solos e ação antrópica) mostrou que estes agem conjuntamente criando um ambiente de alta vulnerabilidade a ocorrência dos processos erosivos e formação de voçorocas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As feições erosivas estudadas localizam-se em morros e colinas dispostos pela cidade de Pacaraima. Duas incisões estão dispostas na margem direita da BR 174 e as outras no interior da cidade. Predominam os canais em forma de “U”, demonstrando que essas voçorocas ainda não adquiriram estabilidade. Na seção transversal há predomínio do formato retangular, duas das incisões estudadas estão conectadas a rede de drenagem.

A geologia da área favorece a gênese e evolução dos processos erosivos, uma vez que as voçorocas estão instaladas em zonas de falhas e fraturas. Essas zonas são consideradas como áreas de fraqueza, contribuindo para o aumento da porosidade e consequentemente com o aumento da movimentação da água subterrânea.

A declividade das vertentes dos morros e colinas é predominantemente ondulada, que conjuntamente com a incipiente cobertura vegetal interferirá diretamente na infiltração da água no solo, originando um maior escoamento superficial. Aliada a esses fatores está a pluviosidade elevada e concentrada em meses específicos no município, atuando diretamente na remoção e transporte das partículas do solo promovendo a instalação de ravinas e voçorocas nas partes côncavas dessas vertentes.

Os solos do tipo Neossolo Litólicos possuem perfis rasos assentados sobre saprólitos com textura siltica, baixa densidade, elevado teores de umidade, alta porosidade, elevado pH e baixo índice de matéria orgânica, tais características tornam o ambiente extremamente frágil aos processos erosivos.

A composição mineralógica dos perfis analisados não apresentou diferença em sua constituição. Todos apresentam quantidade significativa de caulinita e muscovita, demonstrando que esse material passou por processos de alteração intempérica. O grau de seleção, curtose e morfologia dos grãos demonstraram que esse material não sofreu muito transporte, portanto sugere-se que a área fonte desse material está bem próxima.

Em síntese a análise e correlação dos fatores condicionantes demonstraram significativa vulnerabilidade do ambiente natural à gênese e evolução das feições erosivas lineares(voçorocas).

REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - **HIDROWEB/Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em:< <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em novembro de 2016.

ALMEIDA, D. A. de. **Utilização de imagens de sensoriamento remoto orbital para Reconhecimento e análise da dinâmica da paisagem na sede do Município de Pacaraima – Roraima- Brasil**. 105folhas: Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Roraima Programa de Pós-Graduação Em Recursos Naturais. Boa Vista, 2008.

ALMEIDA FILHO, G. S. de. Diagnóstico, Prognóstico e Controle de Erosão. Simpósio Nacional de Controle de Erosão. 2001, Goiânia, **Anais**. Goiânia: ABGE.

ALMEIDA, F.G.; GUERRA, A.J.T. Erosão dos solos e Impactos Ambientais na Cidade de Sorriso (MT). In: **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. A.J.T.GUERRA e S.B.CUNHA (orgs). Rio de Janeiro:Bertrand Brasil,2001. p.253-22.

ALMEIDA FILHO, G. S. de ; TEIXEIRA FILHO, José. A importância da diferenciação dos processos erosivos lineares dos tipos ravina e boçoroca. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, n 22, 2014, Natal. **Anais...** 15 p.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Fraturas e desenvolvimento de unidades geomorfológicas côncavas no médio vale do rio Paraíba do Sul, São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, n.22, São Paulo, 1994, p.222-227.

AZAMBUJA, R. N. **Análise geomorfológica em áreas de expansão urbana no Município de Garanhuns – PE**. 153 folhas: Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia. Recife, 2007.

BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETTO, A. L.; ACERDA, W. Fatores condicionantes do voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Maracujá, Ouro Preto – MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 2001, Goiânia. **Anais**, Goiânia: ABGE, 2001. p. 120-121.

BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds.) **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.195-227.

BARBOSA, R. I. Distribuição das chuvas em Roraima. In: Barbosa, R. I; Ferreira, E. J. G; Castellón, EG. (eds). **Homem, ambiente e ecologia no estado de Roraima**. Manaus: INPA p. 325-334,1997.

BARINI, M. L. **Estudo do processo da degradação da paisagem no jardim aeroporto I, Município de Franca – SP.** 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá - UEM- Infra-Estruturas e Sistemas Urbanos, 2010.

BENEDETTI et al. Gênese, química e mineralogia de solos derivados de sedimentos plioleustocênicos e de rochas vulcânicas básicas em Roraima, norte amazônico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 35:299-312, 2011

BESERRA NETA, L. C. **Análise evolutiva da paisagem da serra Tepequém - Roraima e o impacto da atividade antrópica** 190 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia de Roraima por imagens de sensores remotos. In: SILVA, Paulo Rogério de Freitas. **20 anos: geografias de um novo Estado/** Org. Paulo Rogério de Freitas Silva e Rafael da Silva Oliveira. Boa Vista: Editora da UFRR, 2008.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Editora Ícone, 1999. 356 p.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; SANTOS, G. F. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais: Fundamentos Geológico-Geográficos, Alteração Química e Física das Rochas, Relevo Cárstico e Dômico.** Florianópolis: UFSC. 1994. vol.1.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** João Bigarella, Rosemari Dora Becker, Gilberto Friedenreich dos Santos, 2 ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. 3v.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos.** 7. ed. Rio de Janeiro: F. Bastos, 1989.

BRITO NETO et al. Determinação de valores físicos de imagen stm/landsat- 5 utilizando a linguagem legal para obter índices de vegetação. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.** Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008

CAMARGO et al. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (**Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada**)

CAMAPUM DE CARVALHO, J.C et al. Processos erosivos. In: **Processos Erosivos no Centro-Oeste brasileiro.** José Camapum de Carvalho, Mauricio Martines Sales, Newton Moreira de Souza e Maria Tereza da Silva Melo(org) Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

CAMPINAS. Instituto Agronômico. **Análise química para avaliação da fertilidade dos solos tropicais**. Editado por B. Van Raij, J.C. de Andrade, H. Cantarella e J.A. Quaggio. Campinas, Instituto Agronômico, 2001.

CAMPOS et al. Características mineralógicas de latossolos e argissolos na região sul do Amazonas. **Rev. Acad., Ciênc. Agrár. Ambient.**, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 11-18, jan./mar. 2011.

CASTILHO, C.P.G.; TEIXEIRA FILHO, J. A importância da cobertura vegetal na atenuação da precipitação que atinge o solo – estudo de caso: cultura de cana-de-açúcar. **VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão** Goiânia (GO), 03 a 06 de maio de 2001.

CASSETI, V. **Geomorfologia**, 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 20 de setembro de 2015.

COSTA, J. A. V. **Compartimentação do relevo do estado de Roraima**. In Roraima em Foco: pesquisas e apontamentos recentes. Org. Rafael da Silva Oliveira. Boa Vista: Editora da UFRR, 2008.

COSTA, J. A. V.; FALCÃO, M. T.; COSTA, J. B. S. Vulnerabilidades aos processos erosivos no Município de Pacaraima - RR. Primeira abordagem. In: simpósio nacional de Geomorfologia e I.A.G. regional conference on geomorphology, 2006, Goiania. **Anais...** Goiana: SINAGEO, 2006.

CUNHA, L. D.; BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. Áreas de risco identificadas no perímetro urbano de Pacaraima. In: **Pacaraima: um olhar geográfico** / Elói Martins Senhoras, Maurício Elias Zouein (org). Boa Vista: Editora da UFRR, 2011.

CHAVEZ JR, P.S. An improve dark-subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, 24:459-479, 1988.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Roraima Central, Folhas NA.20-X- -B e NA.20-X-D (integrais), NA.20-X-A, NA.20-X-C, NA.21-V-A e NA.21-V-C (parciais). Escala 1:500.000. Estado de Roraima. Superintendência Regional de Manaus. Manaus, 1999. (CD-ROM).

CREPANI et al. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE. São José dos Campos, junho de 2001.

CRUZ, C. **Análise comparativa da evolução das boçorocas nos anos de 1962 e 1999 nos Municípios de Pompéia e Oriente – SP.** 2001. 123 f. Dissertação (Mestrado em Geociência) –Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista de Rio Claro, Rio Claro- SP, Rio Claro, 2001.

DREHER, A. M. et al. O Vulcanismo Surumu na Folha Vila de Tepequém, Roraima, Escudo Das Guianas. **III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados.** Cabo Frio, RJ – 02 a 07/08/2005.

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

_____ Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro,RJ).**Manual de métodos de análise de solo.**Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997.Boa Vista: Editora da UFRR,2008.

EVANGELISTA,R.A de O.;SANDER,C.;WANKLER,F.L. Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da Bacia do Rio Branco. In: SILVA, P. R. de F.; OLIVEIRA, R. da S (Org). **Roraima 20 anos: geografias de um novo Estado.**

FRANCO et al .Folha NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. In: BRASIL, **Projeto RADAM BRASIL.** Geomorfologia. Rio de Janeiro: DNPM, p.139-180. (Levantamento de Recursos Naturais. V8) 1975.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. (Ed). **Física do solo.** Viçosa, MG: SBCS, 2010.p.3-24.

FOLK, R.L.; WARD W.C, 1957. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters: **J. Sediment. Petrology**, v. 27, 1957.

FUSHIMI, Melina. **Vulnerabilidade Ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP.** 2012.Dissertação. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Presidente Prudente:2012.

FLAUZINO, Fabricio Silvério et al. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade & Natureza**, v22, n11.Uberlândia –MG, Abril de 2010.

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

GALETI, P. A. **Conservação do solo: reflorestamento e clima.** Campinas, Instituto Campineiro de ensino agrícola, 257p. 1982.

GUERRA, A. J.T. Processos erosivos nas encostas. In:**Geomorfologia ,uma atualização de bases e conceitos** , 3ª ed, Guerra, A.J.T.; Cunha,S.B.(eds) Rio de Janeiro: Bertrand Brasil , 1998,149-209.

_____. **Geomorfologia ambiental**. Antônio José Teixeira Guerra, Monica dos S.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006

_____. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 7 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 652 p.

_____. Processos erosivos nas encostas. In: **Geomorfologia ,uma atualização de bases e conceitos**. Guerra, A.J.T e Cunha ,S.B.(eds), Bertrand Brasil , Rio de Janeiro, 10 ed, 2011, 149-209.

_____. Encostas Urbanas. In: **Geomorfologia urbana**. Antônio Teixeira Guerra(org). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

_____. O início do processo erosivo. In: **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações** / Antônio José Teixeira Guerra, Antônio Soares da Silva, Rosângela Guarrido Machado Botelho (organizadores). 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012.

GUCHERT, J. A.; ROUSSENQ NETO, J. **Conservação e uso do solo**. Indaial: Ed. Grupo UNIASSELVI, 2007. p. 23-27

GÜRTLER et al. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ LANDSAT. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, p. 162- 167, ago. 2005.

HOLANDA, J. L. R. **Geodiversidade do estado de Roraima** / Org. Janólfta Lêda Rocha Holanda, José Luiz Marmos e Maria Adelaide Mansini Maia. – Manaus: CPRM, 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Diretório FTP, **Mapas Temáticos**, 2005. Disponível em <<http://www.geoftp.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 de novembro de 2015.

JACINTHO, E.C. et al. Solos Tropicais e o processo erosivo. In: **Processos Erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. José Camapum de Carvalho. Mauricio Martines Sales, Newton Moreira de Souza e Maria Tereza da Silva Melo(org) Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

LEAL, A.B. de M.; GIRARDI, V.A. V.; LEAL, L.R. B. Geologia, petrografia e geoquímica dos *sills* Cotingo e Pedra Preta, estado de Roraima, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 20(3)233-250, 2006.

LOUREIRO, H. A. S.; FERREIRA, S. M. O papel das geotecnologias no estudo das feições erosivas e de movimentos de massa. In.: **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. GUERRA, A. F. T.; JORGE, M. C. O. (Orgs). São Paulo: Oficina de Textos, pag. 95-125, 2013.

MAGALHÃES, R.C.; MOLINARI, D. C.; GOMES, R. C. M. Produção do espaço e alterações das características fitogeográficas e geomorfológicas em Manaus: o caso Tarumã e distrito industrial 2 (Amazônias). **Revista GEONORTE**, Nota Técnica, Ano 02, n.3, v.1, p. 40-58, 2011.

MENDONÇA, J. K. S.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. GUERRA, A. J. T; VITTE, Carlos Antônio (orgs.). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, pp. 225-251.

MIRANDA, J. G. **Mapeamento Geotécnico e estudo da susceptibilidade a erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT)**, escala 1:100.000, 2005.269 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

NASCIMENTO, E.C. **Os processos erosivos e suas implicações na evolução da paisagem atual da Serra do Tepequém-RR**. 115 folhas. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós- Graduação em Geografia. Boa Vista – RR, 2015.

NASCIMENTO, F. A. **Compartimentação Geomorfológica da Serra do Tepequém – RR, com base em produtos de sensoriamento remoto**. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós- Graduação em Geografia. Boa Vista- RR, 2013.

NASCIMENTO, F.A.; BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. Compartimentos geomorfológicos da região de Pacaraima. In: **Pacaraima: um olhar geográfico** / Elói Martins Senhoras, Maurício Elias Zouein (organizadores). Boa Vista: Editora da UFRR, 2011.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008

OLIVEIRA, M. A. T. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Eds.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.57-99.

OLIVEIRA, M.A.T de. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. In: **Erosão e Conservação dos Solos. Conceitos, temas e aplicações**. GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. DA; BOTELHO, R.G.M. (Orgs.), Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 8a. ed., p. 57-99, 2012.

OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). In: **Geociências**. nº 4. São Paulo, 1985.

PACHECO, A. da P. Determinação de valores físicos de imagens Tm/landsat- 5 utilizando a linguagem legal para obter índices de vegetação. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008.

PINHEIRO, S. da S. **Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, geologia da região do Caburá, nordeste do Estado de Roraima**. Cartas geológicas, metalogenético –previsionais. Escala 1:100.000. Organizado por Sandoval da S. Pinheiro, Nelson. J. Reis e Hilton Tulio Costi, Brasília, DNPM/CPRM, 1990.

PINTON, L. de G.; CUNHA, C. M. L. da. **Avaliação da dinâmica dos processos erosivos lineares e sua relação com a evolução do uso da terra**. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 3, p. 329-343, 2008.

RABELO, N. A. **Método de Análise** – Goiânia: Ed. UCG, 2000. 88p.: - (Cadernos Didáticos; 12).

REIS, N. J. et al. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. **Géologie de la France**, nº 2-3, p. 71-84, 2003.

REIS, N. J.; YÁNEZ, G. **O Supergrupo Roraima ao longo da faixa fronteira entre Brasil e Venezuela (santa Elena de Uairén – Monte Roraima)**. Contribuições à Geologia da Amazônia – Volume 2 – 2001 – páginas 113-144.

RIBEIRO, K. D. et al. Propriedades físicas do solo influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, julho/ago. 2007.

ROCHA, E. A. V . **Avaliação do processo evolutivo e da dinâmica erosiva: um estudo de caso no município de Ipameri-Go**. Uberlândia – MG, 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território).

SANDER, C.; WANKLER, F.L.; CARVALHO, T.M de. Uma análise primária sobre a variação espaço temporal de chuvas e a atuação de episódios de El Niño e La Niña no Estado de Roraima. In: HOLANDA, E.C.; BESERRA NETA, L.C. Org. **Geociências de Roraima**. Boa Vista: Editora da UFRR (No prelo).

SANTANA, J. A. S. et al. Produção anual de serapilheira em floresta secundária na Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*, n.40, p.119-132, 2003.

SANTANA, S.C. **Indicadores físicos na qualidade de solos no monitoramento de pastagens degradadas na região sul de Tocantins** 76 folhas .Dissertação (Mestrado em Agronomia) Programa de pós- Graduação em produção vegetal. Gurupi, Tocantins, 2009.

SILVA, A.S, da. Análise Morfológica dos Solos e Erosão. In: **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações** / Antônio José Teixeira Guerra, Antônio Soares da Silva, Rosângela Guarrido Machado Botelho (organizadores). 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.121-124, 2012.

SILVA, et al. Características Geomorfológicas e a Atuação Antrópica na Formação da Atual Paisagem em Boa Vista, Bonfim e Pacaraima. **Revista Acta Geográfica**, Ano III, n.6, 2009.

SILVA, L, S. **Plano de uso público do Parque Nacional do Monte Roraima: proposta de estruturação de uma cadeia produtiva de ecoturismo na calha do rio Cotingo, com base nos princípios da economia ecológica**. Dissertação (Mestrado profissional interinstitucional em Economia) Porto alegre, 2009.

SOUTO, P. C. **Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de Caatinga na Paraíba-Brasil**. 2006. 146 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo, Edgard Blücher, 1973

_____. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1.222 p.

SUERTEGARAY, D. M. A. (Org.). **Terra: feições ilustradas**. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. 264 p.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt clay ratio. **J. Sediment Petrology**, n. 24, 1954.

STERN, E. et al. **A utilização de SIG no planejamento e gestão de bacias urbanas**. EPUSP, Depto. De Eng. Hidráulica e Sanitária. São Paulo, 2005.

USGS - Geological Survey / Serviço de Levantamento Geológico Americano. **Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 EUA**. Disponível em (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Acesso em 22 agosto 2013.

VALE JÚNIOR, J.F do.; SCHAEFER, C.E.G.R. Gênese e Geografia dos solos de savana. In: VALE JÚNIOR, J.F.do. **Solos sob savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais**/ José Frutuoso do Vale Júnior, Carlos Ernesto Gonçalves Reynaud Schaefer. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010

VALE JÚNIOR, J. F. do.; SOUSA, M. I. L. de. ; NASCIMENTO P. P. R. R. SOLOS E AMBIENTES. In: Holanda, Janólfta Lêda Rocha. **Geodiversidade do estado de Roraima** / Org. Janólfta Lêda Rocha Holanda, José Luiz Marmos e Maria Adelaide Mansini Maia. – Manaus: CPRM, 2014

VIEIRA, A.F.G. **Erosão por voçorocas em áreas urbanas: o caso de Manaus (AM)**. Dissertação (Mestrado). Florianópolis: UFSC, 1998. 222.

_____. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Filosofia e Ciências Humanas Programa de Pós-

Graduação em Geografia. Tese de Doutorado, Florianópolis/SC, 12 de dezembro de 2008.

VIEIRA, A.F.G.; ALBUQUERQUE, A.R.da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: B-174 (trecho Manaus - Presidente Figueiredo). In: V Simposio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM, 2004. p. 50 – 65

VIEIRA et al. Condicionantes morfométricos para o surgimento de caneluras e escamamentos em voçorocas. **Revista GEONORTE**, Vol.01, N.02, Ano 02, p. 79-92, 2011.

VIERO.A.C. **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: Bacia do Taboão, RS.** Dissertação, Programa de Pós Graduação em Recursos hídricos e saneamento ambiental UFRGS, Porto Alegre, 2004.

APÊNDICE

Ficha de cadastramento das voçorocas

Data:		Ficha n°:			
1-Localização e identificação das voçorocas					
Coordenadas:			Acesso:		
Bairro:					
2-Dados Regionais					
Relevo:					
Geomorfologia:					
Geologia					
Vegetação					
3-Dados Morfométricos					
Prof.	Larg.	Ext.	Declividade	Localização na Vertente	Direção
Tipo			Forma		
<input type="checkbox"/> Conectada			<input type="checkbox"/> Retangular <input type="checkbox"/> Linear		
<input type="checkbox"/> Desconectada			<input type="checkbox"/> Bifurcada <input type="checkbox"/> Irregular		
<input type="checkbox"/> Integrada			<input type="checkbox"/> Ramificada		
4-Characterização das voçorocas					
Tipos de erosões					
<input type="checkbox"/> Canelura		<input type="checkbox"/> Desabamento		<input type="checkbox"/> Movimentos de massa	
<input type="checkbox"/> Pináculo		<input type="checkbox"/> Ravinamento		<input type="checkbox"/> Demoiselles / pedestal	
<input type="checkbox"/> Duto		<input type="checkbox"/> Alcovas de regressão		<input type="checkbox"/> Escamamento	
<input type="checkbox"/> Sulco		<input type="checkbox"/> Solapamento de margens () _____			
Litologia					
Mergulho e direção das camadas					
Interferências antrópicas					
Ocupação limítrofe					
Vegetação de entorno					

5-PERFIL DO SOLO

Horizonte	Espessura	Umidade	Características

6- CROQUI DA VOÇOROCAS

7- OBSERVAÇÕES GERAIS