

FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES EM VERTENTES DE RELEVOS COLINOSOS NA REGIÃO DE FRONTEIRA BRASIL-VENEZUELA

LINEAR EROSION FEATURES IN HILLY RELIEF SLOPES IN THE BRAZIL-VENEZUELA BORDER REGION

CARACTÉRISTIQUES ÉROSIVES LINÉAIRES DANS LES VERSANTS DE RELIEFS COLLINEUX DANS LA RÉGION FRONTIÈRE BRÉSIL-VENEZUELA

MARTA CLEMENTINA SILVA DE MELO ¹
STÉLIO SOARES TAVARES JÚNIOR ²
LUIZA CÂMARA BESERRA NETA ³

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Roraima e Professora da Secretaria de Estado de Educação e Desporto/SEED/RR.

E-mail: atramego@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1957-4381>

² Professor do Departamento de Geologia e da Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima/UFRR.

E-mail: stelio.tavares@ufr.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7649-2994>

³ Professora do Departamento de Geografia e da Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Roraima/UFRR.

E-mail: luiza.camara@ufr.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0505-4895>

Recebido: 30/11/2021

Enviado para correção 7/12/2021

Aceito 12/12/2021

RESUMO

A cidade de Pacaraima localizada no norte do Estado de Roraima, na região de fronteira entre o Brasil e a República Bolivariana da Venezuela, é marcada por uma diversificação de paisagens. Neste cenário de serras, colinas com vales abertos e planícies intramontanas que compõem a Serra de Pacaraima, se insere a área urbana da cidade de Pacaraima e seu entorno em que ocorre a deflagração de processos erosivos sob intensa atividade erosiva linear. A pesquisa visou entender as modificações do modelado atual do relevo da cidade de Pacaraima, a partir do intenso processo de voçorocamento foi realizado trabalho de campo, mapeamento e descrição dos perfis de solo e rochas ao longo dos taludes das voçorocas e coleta de amostras de solos para análise física e mineralógica. A base de dados altimétricos foi adquirida a partir do SRTM (Suttle Radar Topographic Mission) onde foi obtida curvas de nível, declividade, hipsometria. Nesse contexto buscou-se compreender a fragilidade do meio físico frente ao surgimento das feições erosivas lineares (ravinas e voçorocas). 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.

Palavras-chave: Modelado de relevo. Voçorocas. Paisagens.

ABSTRACT

The city of Pacaraima located in the north of the State of Roraima, in the border region between Brazil and the Bolivarian Republic of Venezuela, is marked by a diversification of landscapes. In this scenario of mountain ranges, hills with open valleys and intramontane plains that make up the Serra de Pacaraima, the urban area of the city of Pacaraima and its surroundings is inserted in which erosive processes deflagrate under intense linear erosive activity. The research aimed to understand the changes in the current modeling of the relief of the city of Pacaraima, from the intense erosive process. Field work, mapping and description of soil and rock profiles along the slopes of the gullies and collection of soil samples for physical and mineralogical analysis was carried out. The altimetric database was acquired from the SRTM (Suttle Radar Topographic Mission) where contour, slope, and hypsometry curves were obtained. Knowing the dynamics of erosive processes and the factors that control them is extremely important, since understanding the triggering of these erosive features is essential to mitigate the environmental and social problems generated by them.

Keyword: Relief Patterned. Gully. Landscape.

RÉSUMÉ

La ville de Pacaraima située au nord de l'État de Roraima, dans la région frontalière entre le Brésil et la République bolivarienne du Venezuela, est marquée par une diversification des paysages. Dans ce scénario de chaînes de montagnes, de collines avec des vallées ouvertes et de plaines intramontagnardes qui composent le Mont Pacaraima, la zone urbaine de la ville de Pacaraima et ses environs se trouve là où se produit la déflagration des processus érosifs sous une intense activité érosive linéaire. La recherche visait à comprendre les changements dans la modélisation actuelle du relief de la ville de Pacaraima, à partir du processus de ravinement intense. Des travaux sur le terrain, la cartographie et la description des profils de sols et de roches le long des pentes des ravines et la collecte d'échantillons de sol pour analyse physique et minéralogique ont été effectués. La base de données cartographique a été acquise auprès de la SRTM (Suttle Radar Topographic Mission) où les courbes de contour, de pente et d'hypsométrie ont été obtenues. Dans ce contexte, nous avons cherché à comprendre la fragilité de l'environnement physique face à l'émergence d'éléments érosifs linéaires (rigoles et ravines). Connaître la dynamique des processus érosifs et les facteurs qui les contrôlent est extrêmement important, car comprendre le déclenchement de ces caractéristiques érosives est essentiel pour atténuer les problèmes environnementaux et sociaux qu'ils génèrent.

Mot-clé: Relief à Motifs. Ravine. Paysage.

INTRODUÇÃO

A cidade de Pacaraima (área de estudo da pesquisa) localizada na porção norte do Estado de Roraima (Figura 1), mais precisamente na região de fronteira entre o Brasil e a República Bolivariana da Venezuela, é marcada por uma diversificação de paisagens composta por unidades de relevos desde áreas aplainadas entre vales, colinas e serras que se destacam formando um mosaico característico da Amazônia setentrional.

Neste cenário de serras, colinas com vales abertos e planícies intramontanas que compõem a Serra de Pacaraima, se insere a área urbana da cidade de Pacaraima e seu entorno em que ocorre a deflagração de processos erosivos sob intensa atividade erosiva linear, a exemplo, das voçorocas que se instalaram sobre a cobertura da baixa-média vertentes de colinas que se distribuem na paisagem. As feições erosivas lineares são uma das manifestações mais visíveis na paisagem da cidade de Pacaraima e destacam-se devido a sua magnitude e ampla distribuição.

A presença desses fenômenos erosivos tem sido atribuída ora aos mudanças da paisagem provocadas pela ação antrópica ora a vulnerabilidade física e mineralógica dos solos da área.

Assim, faz-se necessário entender os processos erosivos visto que são considerados agentes externos modeladores do relevo, podendo ser desencadeados por meio das ações das águas em superfície e subsuperfície, bem como a contribuição da ação antrópica.

Dentre os estudos realizados no Brasil sobre as feições erosivas lineares destacam-se, Camapum de Carvalho et al. (2006); Augustin e Aranha (2006), Jacintho (2006); Vieira (2008); Vieira et. al. (2011); Guerra (2012); Oliveira (1992, 1999), Guerra et al. (2020) consistem em importante referencial para o entendimento das características e processos associados, bem como diferentes técnicas para monitorar erosão, desde as mais tradicionais, até as mais modernas, como VANTs e Laser Scanner Terrestre.

Em Roraima, várias são as ocorrências de feições erosivas, destacamos os estudos de Beserra Neta (2007); Beserra Neta, Costa e Borges (2007), Almeida et. al. (2009), Beserra Neta e Tavares Júnior (2012) sobre a evolução da paisagem na serra do Tepequém, em que 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.

Entender os processos erosivos e suas influências no modelado da paisagem atual da serra do Tepequém foi objeto de estudo de Nascimento (2015) por meio de análises das medidas morfométricas de feições erosivas lineares e análises físicas e químicas de solos em diferentes horizontes.

Na cidade de Pacaraima as feições erosivas lineares vêm sendo estudadas, possibilitando o entendimento dos mecanismos associados ao processo, de gênese e formação das voçorocas. Destacam trabalhos de Costa, Falcão e Costa (2006); Cunha, Beserra Neta e Tavares Júnior (2012); Nascimento, Tavares Júnior e Beserra Neta (2012); Melo (2017), que procuram entender o modelado do relevo e a gênese das feições erosivas e como interferem na formação da paisagem. Os estudos de Marquez (2018) descreve o modelado da paisagem atual da cidade de Pacaraima/RR a partir da análise da ação antrópica e das feições erosivas, a partir do auxílio de técnicas fotointerpretativas em imagens de sensoriamento remoto. Silva (2019) define as unidades geológicas e geotécnicas para a área da cidade de Pacaraima, em que busca o enfoque na caracterização do ambiente físico, permitindo a compreensão da vulnerabilidade do ambiente a riscos geológicos. Esses estudos produziu um expressivo número de dados sobre o meio biofísico na qual ocorrem os processos erosivos.

Portanto, entender as modificações do modelado atual do relevo da cidade de Pacaraima, a partir do intenso processo de voçorocamento, nesse contexto a pesquisa, buscou compreender a fragilidade do meio físico frente ao surgimento das feições erosivas lineares (ravinas e voçorocas). 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.

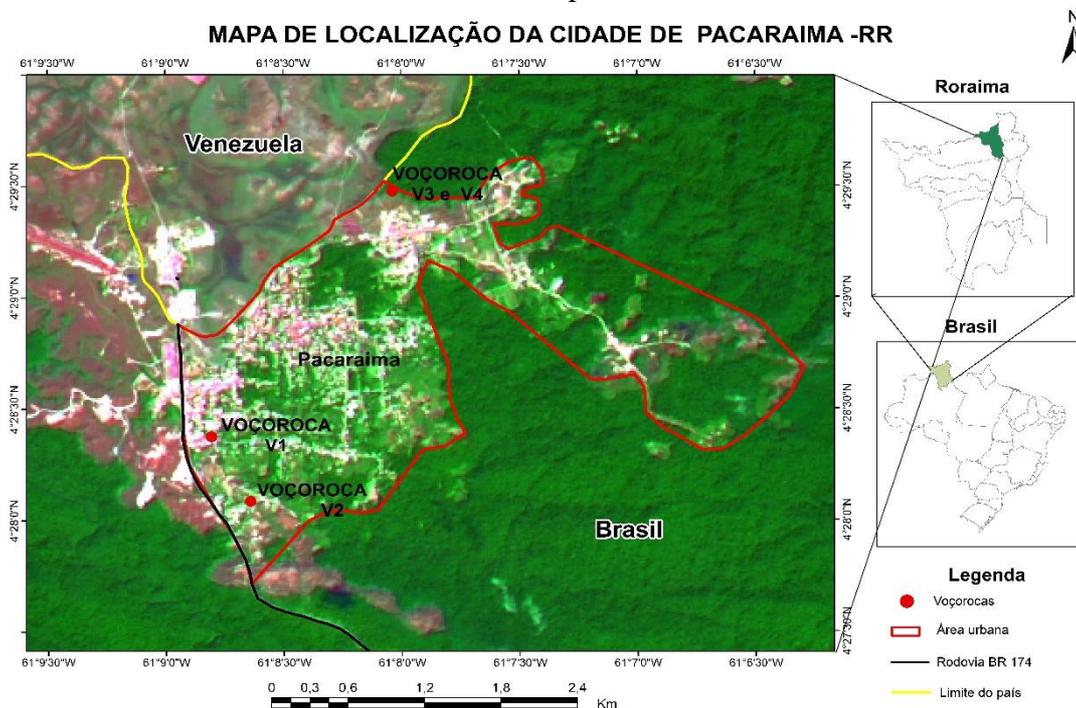
CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Pacaraima localiza-se no norte do Estado de Roraima, na Serra de Pacaraima, área fronteira do Brasil-Venezuela. A sede do município de Pacaraima compreende uma área de 165,6 km², distante 214 km da capital Boa Vista, o acesso é feito pela rodovia BR 174 (Figura 1). 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. 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).

Reis et al. (2003), estaca que o quadrante nordeste de Roraima, onde encontra-se inserida a cidade de Pacaraima, revela arranjos de lineamentos estruturados em E-W a WNW-ESE e NW-SE, onde predominam granitos e vulcanitos em corpos alongados, bem como extensa cobertura sedimentar junto à fronteira com a Venezuela. A erosão atuou nessas litologias vulcânicas resultando na elaboração de relevo levemente escalonados e dissecados, colinas com vertentes ravinadas de forte declividade e vales encaixados, com altitudes acima de 600 m pertencentes ao Planalto do Interflúvio Amazonas-Orenoco. Nas coberturas sedimentares são elaborados morros e colinas gradando de topos convexo para linear alinhados na direção NE-SW, encontram-se estreitos vales encaixados gradando para superfícies pediplanadas, com altitudes variando de 450 a 600m (BESERRA NETA; TAVARES JÚNIOR, 2008). Encontram-se encaixados entre vales e superfícies pediplanadas canais fluviais da área urbana os dois maiores cursos de água: rio Miang ao leste e o igarapé Samã ao sul, pertencentes à bacia hidrográfica do rio Surumu. A cobertura vegetal predominante nos relevos declivosos são Florestas Ombrófilas e nas colinas são as Savanas arbustivas gradando para gramíneas, em graus variados de alteração antrópica, e ao longo dos cursos das drenagens ocorrem matas ciliares. O clima é o tropical úmido, com uma estação seca

bem definida em média 4 meses (dezembro a março) com médias pluviométricas de 50 mm/mês. Enquanto o período chuvoso ocorre de abril a novembro, com ápice em junho e julho e média de 350 mm/mês. A temperatura média mensal em todos os meses do ano é superior a 18^o e temperatura média anual de 22^o (BARBOSA, 1997). Os principais tipos de solo na área de ocorrência das voçorocas na cidade de Pacaraima são: Neossolo Litólico distrófico típico; Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico; Argissolo Vermelho-amarelo e Amarelo distrófico típico (VALE JÚNIOR; SCHAEFER, 2010). 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 1 - Carta imagem do mapa de localização da cidade de Pacaraima. Imagem OLI/Landsat 8, órbita / ponto 232/57.



Fonte: MELO (2017)

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos utilizados para o processamento das imagens iniciouse 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 dezembro/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). 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.

Com ênfase no entendimento da intensificação das frentes erosivas lineares nas colinas da cidade de Pacaraima, fez-se necessário trabalho de campo compreendendo mapeamento e descrição dos perfis de solo e rochas ao longo dos taludes das voçorocas e coleta de amostras de solos conforme Lemos e Santos (1996). A descrição do perfil de solo seguiu as etapas: identificação e medidas de altura dos horizontes e identificação da cor do solo. 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.

A tipologia das feições erosivas lineares foi verificada 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). As características morfométricas das voçorocas foram adquiridas através de medições de profundidade, largura, comprimento e direção do canal principal.

As análises envolveram granulometria nas frações areia, silte e argila, segundo os procedimentos da EMBRAPA (1997). Essas análises foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do NUPENERG –UFRR.

A determinação das densidades aparente e de partículas do solo (ou densidade real) foi conduzida pelo método da EMBRAPA (1997). A determinação mineralógica por Difração de Raios X e a composição química total por ICP-MS.

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 $(2 - 100)^{\circ}C$. A radiação usada foi a do cobre (Cu) com comprimento de onda $\lambda = 0,154186$ 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. 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.

Para identificação e caracterização micromorfológica das partículas minerais foram adquiridas imagens em alta resolução de solo/sedimentos por meio da Microscopia Eletrônica de Varredura - MEV, enquanto que para determinação qualitativa da composição química dessas amostras foi utilizado o Espectrômetro de Dispersão de Raios – X. Esses procedimentos foram realizados no Laboratório de Análise e Mapeamento de Áreas Degradadas (Hydros/IGEO/UFRR).

ESPACIALIZAÇÃO E MORFOMETRIA DAS FEIÇÕES EROSIVAS LINEARES

As voçorocas estudadas encontram-se instaladas na média e baixa vertentes de colinas situadas na porção nordeste da cidade, na margem direita da BR 174 na entrada de Pacaraima. Essas feições lineares, sem exceção, cortam verticalmente o manto de alteração, com entalhes de predominância de formas de canais em formato “U”, fundo chato, retangular e desconectada da rede de drenagem. Os canais das voçorocas variam de 9 a 27 m de extensão, com profundidade variando de 1,50 m a 2,35m e largura de 2 a 4,30m. A intensidade dos processos de erosão e movimentos de massa tende a causar grande acúmulo de sedimentos pouco coeso na parede e vindo a acumular no talvegue do canal da voçoroca.

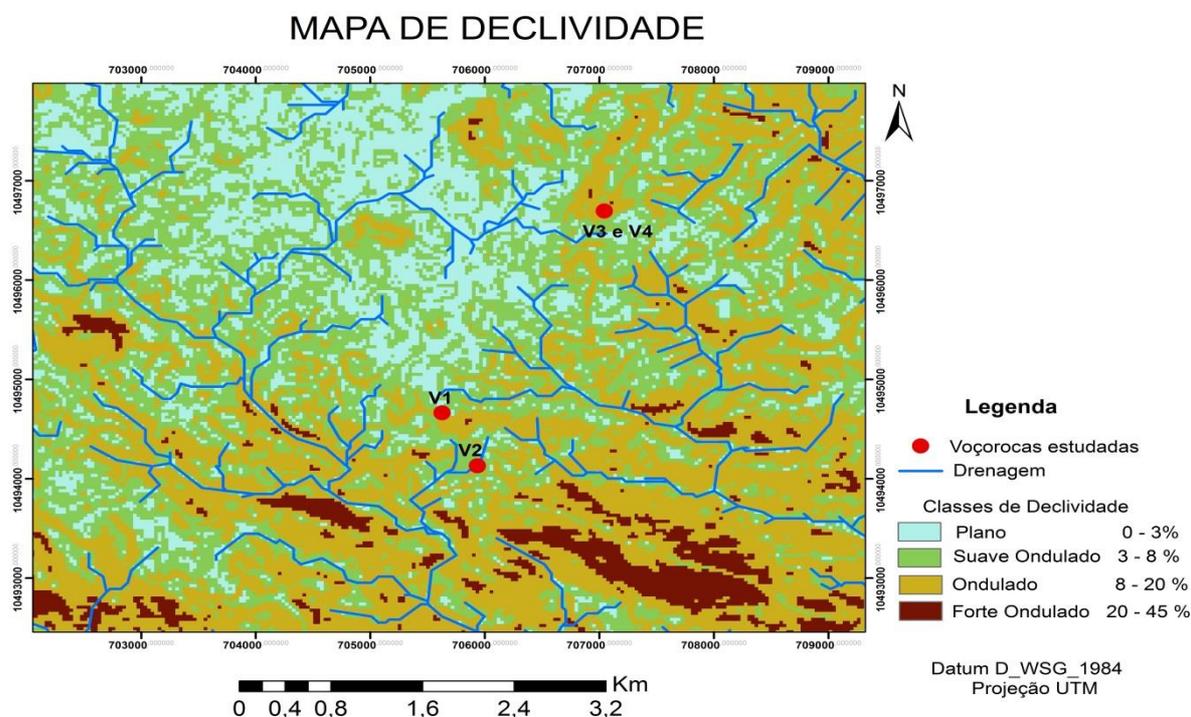
Condicionantes geológicas, geomorfológicas e solos

A presença das voçorocas, na cidade de Pacaraima, está concentrada nas áreas com substrato de rochas vulcânicas predominantemente ácidas a intermediárias representadas por dacitos, traquidacitos, riolitos e andesitos.

As voçorocas apresentam canais lineares com orientação preferencial E-W e secundariamente NW-SE, demonstrando forte controle estrutural na morfologia destes canais.

A declividade das vertentes de morros e colinas da área de estudada predomina o padrão ondulado (8-20%) e secundariamente gradando para suave ondulado (3-8%). Nesse contexto, as voçorocas predominam no relevo de padrão ondulado e em menor expressão ocorre em ambiente suave ondulado (Figura 2).

Figura 2 - Mapa de declividade, mostrando o padrão de ondulação da área de estudo, em destaque a localização das voçorocas. Elaborado a partir dos dados SRTM.



Fonte: MELO (2017).

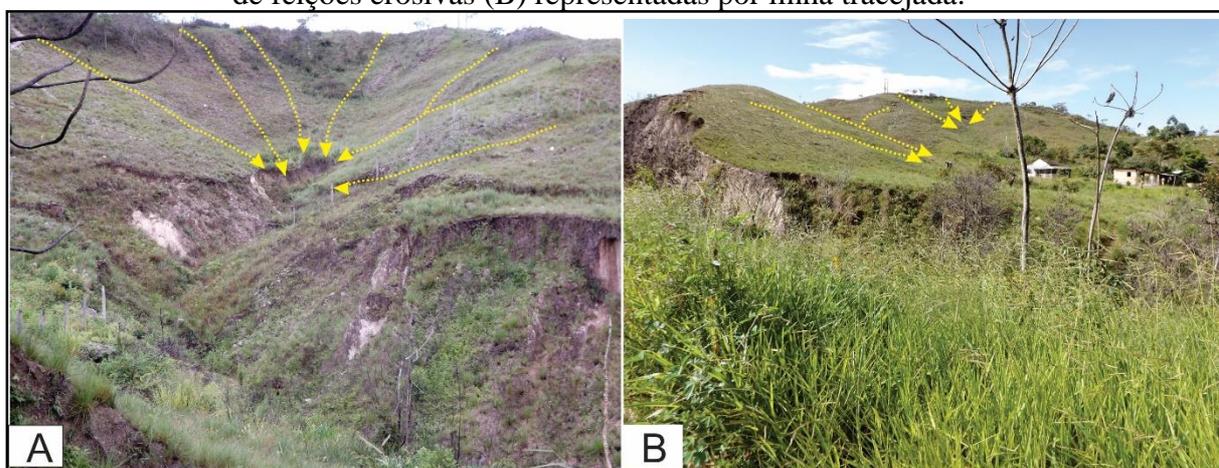
As voçorocas estão instaladas em vertentes de morfologia côncava-convexa, tendo seu vale escavado na seção côncava da vertente, observa-se na parte superior da cabeceira inúmeras marcas de ravinamento (Figura 3), o que sugere forte fluxo superficial favorecendo o trabalho erosivo e conseqüentemente a evolução da feição erosiva.

Na parte sul da área predominam as colinas 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 colinas isoladas de menor altitude, onde também se observa o desenvolvimento de voçorocas, porém em menor número. Na parte central predomina um relevo mais plano, sem ocorrências dessas feições erosivas. 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 (Figura 4), as áreas de 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.

As feições erosivas lineares instalaram-se em uma colina com declividade que chega a 8% considerado pela classificação da EMBRAPA (1979) como relevo suave ondulado, com morfologia côncavo-convexa. 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. Quando o fluxo de água se concentra a montante, ocorre grande arraste do solo, proporcionando escorregamento de lama na cabeceira, difere quando a presença de veios de quartzos presente no saprolito, com isso formam-se terraços com o material mais resistente retardando a evolução da erosão nesta margem.

Figura 3 - Modelado das vertentes: marcas de ravinamento próximo ao canal (A) e entorno de feições erosivas (B) representadas por linha tracejada.

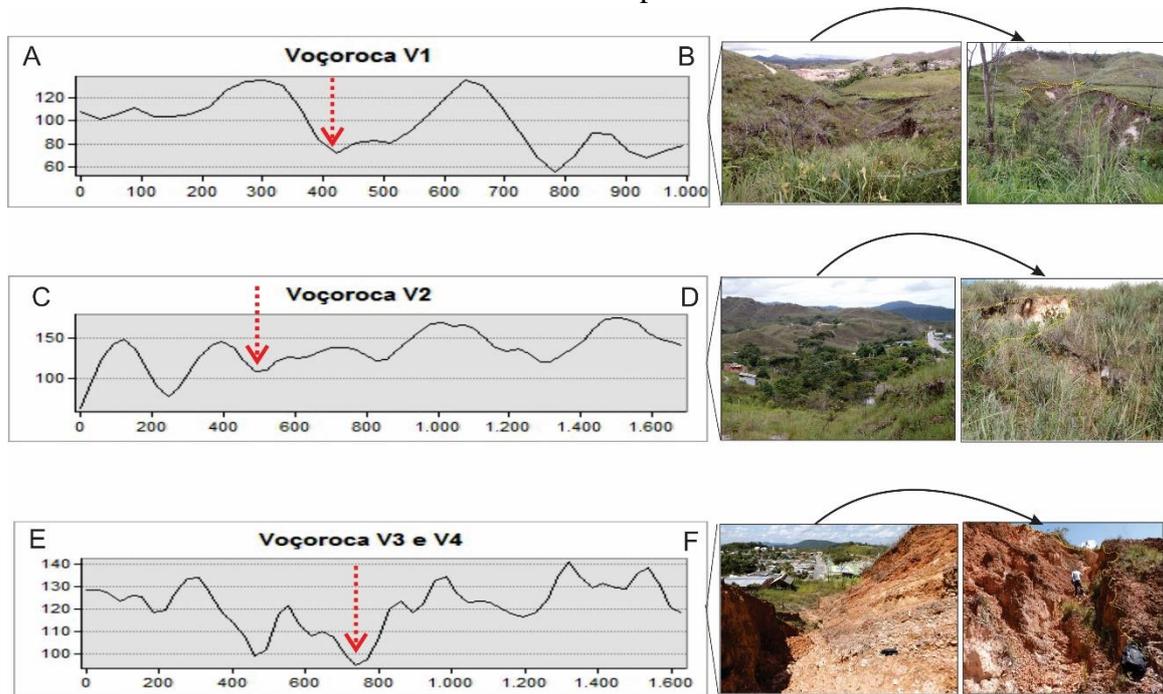


Fonte: MELO (2017).

A caracterização dos solos tomou como referência estudos de Vale Júnior e Schaefer (2010), deste modo foi identificada 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 representada 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 5). As feições erosivas lineares (voçorocas) se instalaram nos Neossolos Litólico distrófico típico, representado por solos rasos assentados diretamente nos saprólitos. Os perfis de solos estudados apresentam no geral dimensões de 2,35 m profundidade do topo para a base, compreende dois horizontes: no topo apresenta textura siltica 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 siltica e cor avermelhada com pequenas manchas de mosqueamento (Figura 6), sugerindo lixiviação parcial do Fe_2O_3 . Foi observado entre os dois horizontes fragmentos dispersos de rocha de composição SiO_2 .

Figura 4 - Perfil Topográfico da área de localização das voçorocas. 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.



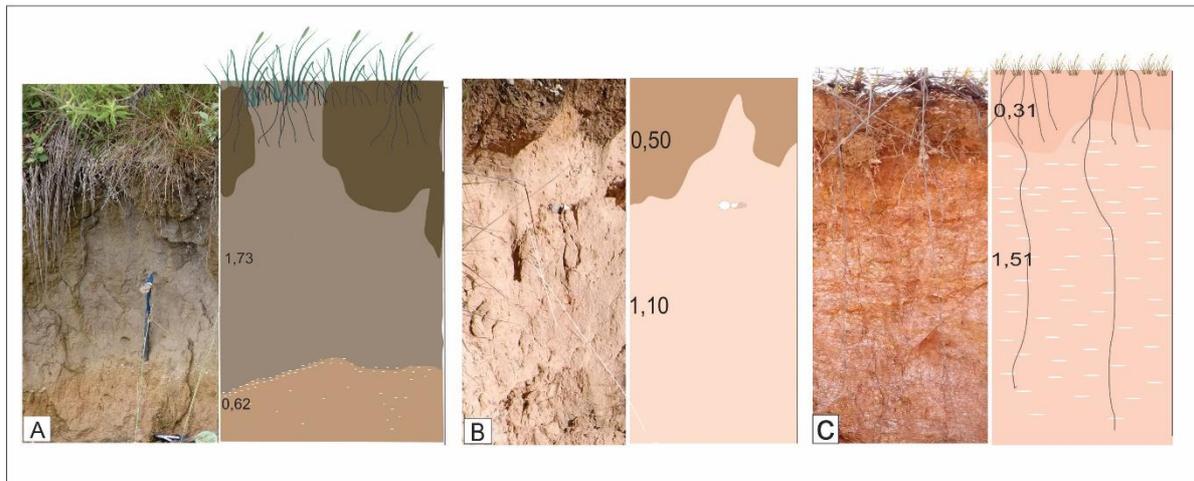
Fonte: MELO (2017).

Figura 5 - Mapa de solos mostrando os três tipos de solos da área de estudo e a disposição das voçorocas no tipo Neossolo Litólico Distrófico.



Fonte: modificado de Vale Junior; Schaefer (2010).

Figura 6 - Perfis dos solos estudados apresentam predominância de textura siltica (horizonte superior) e material saprolítico (horizonte inferior), característico dos Neossolos Litólico Distróficos encontrados no local.



Fonte: MELO (2017).

Vulnerabilidade física e mineralógica dos solos

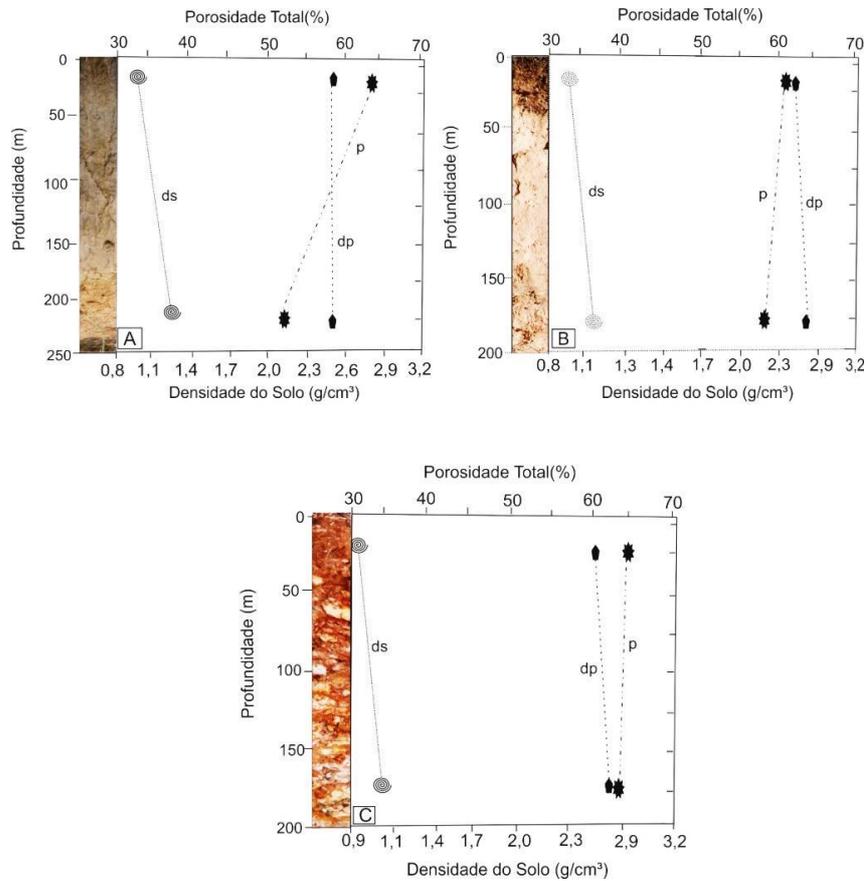
A Densidade do solo nas voçorocas analisadas (Figura 7), tiveram uma variação de 0,90 a 1,18, observa-se que nos horizontes inferiores a densidade do solo é maior que no horizonte superficial. Santana (2009), diz que geralmente a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões 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 encontradas 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 as feições erosivas lineares na serra do Tepequém no norte de Roraima.

Nos 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).

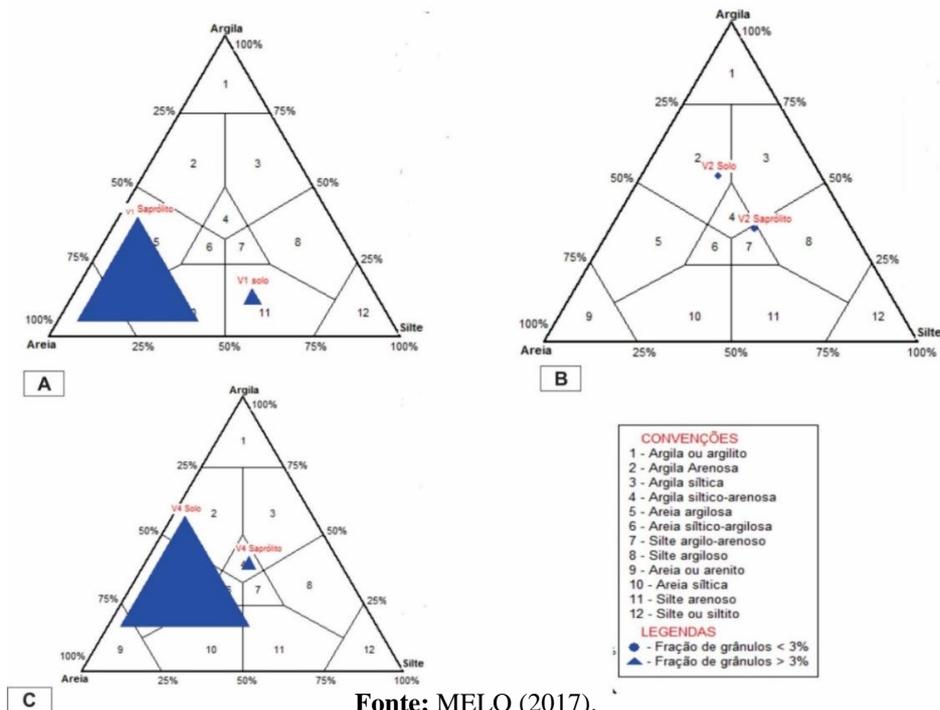
Os solos onde se instalaram as voçorocas são predominantemente silticos (Figura 8), com pequenas variações do topo para a base dos perfis. A textura dos solos no horizonte superficial é representado por areia siltica, gradando para siltico arenoso para o horizonte subsequente, também sendo encontrado presença em horizonte superficial e subsuperficial texturas mais argilosas gradando de arenosa a siltica.

Figura 7 - Densidade do solo (d_s), densidade de partículas (d_p) em g/cm^3 e Porosidade Total em % do topo a base dos perfis de solos.



Fonte: MELO (2017).

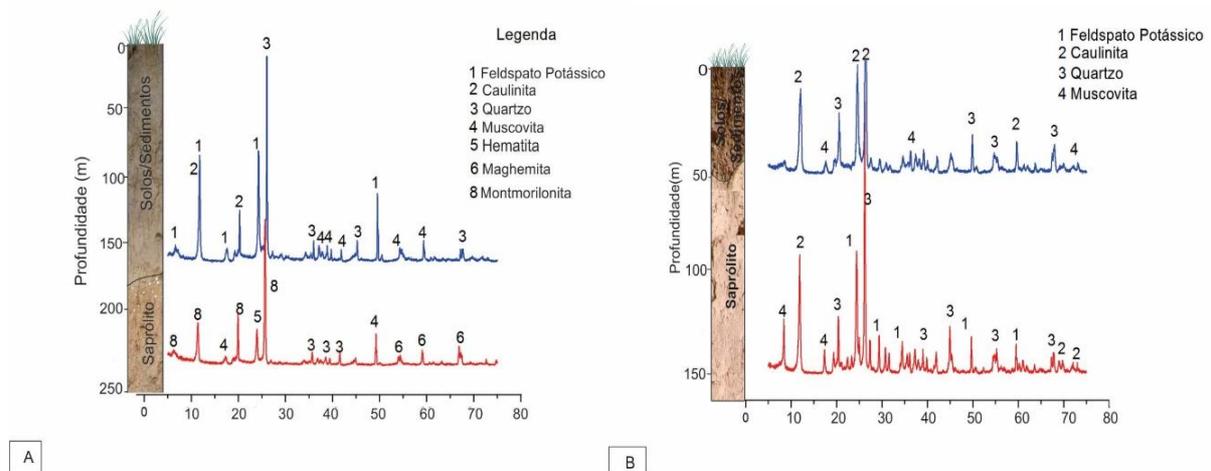
Figura 8 - Distribuição granulométrica dos solos estudados nos diagramas de Shepard.



Fonte: MELO (2017).

Os solos e sedimentos mostram predominância de K_2O e SiO_2 pela abundância de 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. Também foi encontrado no solo (horizonte inferior) hematita, maghemita e a montmorilonita (Figura 9). 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 possuem alto poder pigmentante e influem na coloração dos solos de maneira bem nítida. Benedetti et al. (2011) afirma que a ocorrência de caulinita indica intemperismo avançado, com forte lixiviação de bases, resultando em baixa fertilidade química do solo.

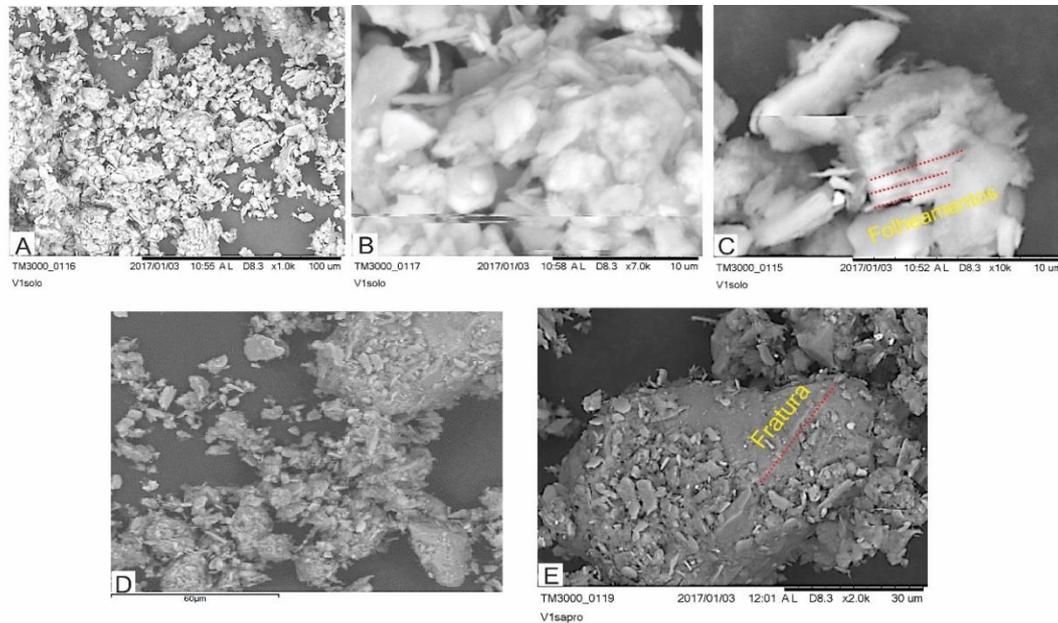
Figura 9 - Composição mineralógica dos solos estudados em Pacaraima-RR.



Fonte: MELO (2017).

Os solos estudados apresentam no horizonte superficial predominância da caulinita, em que se observam plaquetas submilimétricas 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 10). 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. 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 K_2 , Mg e Ti.

Figura 10 - Microfotografia de partículas de solos obtidas pelo MEV: (A e B) Plaquetas submilimétrica da caulinita (C e D) folheamentos da caulinita e (E) fragmentos de quartzo com fratura conchoidal parcialmente recoberto por plaquetas de caulinita.



Fonte: MELO (2017).

CORRELAÇÃO ENTRE OS FATORES CONDICIONANTES E OS PROCESSOS EROSIVOS

Na gênese e evolução dos processos erosivos lineares, vários são os mecanismos que atuam simultaneamente. As voçorocas se desenvolveram em relevo que varia de suave a ondulado, apresentando morfologia côncava-convexa. A concavidade das vertentes direciona o fluxo superficial fazendo com haja um entalhamento e evolução do canal.

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.

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 perfis analisados predomina solos sílticos, com baixo teor na fração areia de granulometria fina, demonstrando pouco transporte sem mudanças significativas em suas características. Ainda nessa fração as análises demonstraram que a maior parte dos grãos de quartzo apresenta morfologia subangulosa seguida pelas angulosas, o que vem confirmar que esse material possui área fonte próximo, sendo transportado em sua maioria por meio aquoso

seguido pelo meio seco. 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 silteico, associados com o baixo teor de matéria orgânica. Esses fatores agindo conjuntamente produzem crostas na superfície do solo e diminuem a porosidade e consequentemente aumentam as taxas do escoamento superficial (*runoff*) e a perda do solo.

Portanto, a partir da análise dos solos pode-se observar que estes são extremamente frágeis contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente de alta vulnerabilidade a ocorrência dos processos erosivos e formação de voçorocas promovendo assim, mudanças significativas do modelado do relevo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As feições erosivas estudadas localizam-se em morros e colinas dispostos pela cidade de Pacaraima, área de fronteira Brasil-Venezuela. Predominam os canais em forma de “U”, demonstrando que essas voçorocas ainda não adquiriram estabilidade. Na seção transversal há predomínio do formato retangular, desconectadas da rede de drenagem.

Os solos do tipo Neossolo Litólicos são rasos assentados sobre saprólitos com textura síltica, 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.

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

ALMEIDA, D. A.; PARENTE JÚNIOR, W. C.; BESERRA NETA, L. C.; COSTA, M. L. Erodibilidade do solo e Erosividade da chuva na serra do Tepequém – Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, n. 6, p. 39-46, jun./dez., 2009.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v3i6.223>

AUGUSTIN, C. R. R.; ARANHA, P. R. A. A ocorrência de voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados. **Geonomos**, Belo Horizonte, v. 14, n. 2, p. 75-86, 2006.

DOI: <https://doi.org/10.18285/geonomos.v14i2.112>

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.

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**, Viçosa, v. 1, n. 35, p. 299-312, 2011.

DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200002>

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.; COSTA, M. L.; BORGES, M. S. Contribuição da atividade garimpeira diamantífera na intensificação das frentes erosivas lineares por voçorocamento na serra Tepequém – Roraima. **Revista Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 1, p. 83-93, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v1i1.132>

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Geomorfologia de Roraima por imagens de sensores remotos. In: SILVA, P. R. de F.; OLVEIRA, R. S. (Org.) **Roraima 20 anos: as geografias de um novo Estado**. Boa Vista: Editora da UFRR, 2008. p. 168-192.

BESERRA NETA, L. C.; TAVARES JÚNIOR, S. S. Fatores condicionantes na formação de voçorocas no topo da serra do Tepequém – Roraima. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 456-463, 2012.

CAMAPUM DE CARVALHO, J.C et al. Processos erosivos. In: **Processos Erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (org) Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

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.

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**, VERAS, A. T. R; SENHORAS, E. M. (Org). Boa Vista: Editora da UFRR, 2012. p. 15-172.

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, 2005.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. 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.

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.

GUERRA, A. J. T. 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.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O.; RANGEL, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; LOUREIRO, H. A. S.; GARRITANO, F. do N. Erosão dos solos, diferentes abordagens e técnicas aplicadas em voçorocas e erosão em trilhas. **William Morris Davis Revista de Geomorfologia**, Sobral, v. 1, n. 1, p.75-17, jul. 2020.

DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.vol1n1.p75-117.2020>

JACINTHO, E.C. et al. Solos Tropicais e o processo erosivo. In: **Processos Erosivos no Centro-Oeste brasileiro**. CARVALHO, J. C. de M. M. S., SOUZA, N. M. de; MELO, M. T. da S. (org) Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006.

LEMONS, A.; SANTOS, P. B. **Manual de descrição e coleta de solos em campo**. Campinas: SBCS/SNLCS, 1996.

MARQUEZ, J. A. C. **Estudo do modelado atual da paisagem da cidade de Pacaraima - RR a partir da análise da ação antrópica e feições erosivas**. 2018. 107p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2018.

MELO, M. C. **Estudo de feições erosivas lineares na sede do Município de Pacaraima – RR**. 2017. 103p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2017.

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.; TAVARES JÚNIOR, S. S.; BESERRA NETA, L. C. Compartimentos Geomorfologicos da região de Pacaraima. In: VERAS, A. T. D. R.; SENHORAS, E. M., (Org) **Pacaraima: Um olhar geográfico**. Boa Vista: Editorial da UFRR, 2012. p. 23-47.

OLIVEIRA, M. A. T. Morphologie des versants et ravinement: héritages et morphogénèses actuelle dans une région de socle tropical. Le cas de Bananal, São Paulo, Brésil. Tese (Doutorado). Universidade de Paris IV – Paris Sorbonne, 1992.

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.

REIS, N. J. et al. Geologia do Estado de Roraima, Brasil. **Géologie de la France**, n. 2-3, p. 71-84, 2003.

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.

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, I. G. S. **Mapeamento Geológico-Geotécnico na cidade de Pacaraima-RR**. 2019. 72p. Monografia (Curso de Geologia) – Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2019.

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. SCHAEFER, C. E. G. R. **Solos sob savanas de Roraima: Gênese, classificação e relações ambientais**. Boa Vista: Gráfica Ioris, 2010.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 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. S. G.; MOLINARI, D. C.; DIRANE, A. C. M. ; DONALD, A. R. Condicionantes morfométricos para o surgimento de caneluras e escamamentos em voçorocas. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 1, n. 2, p. 79-92, jul, 2011.