



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 2 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.816>



GÊNESE DE DEPRESSÕES FECHADAS EM VERTENTES ASSOCIADAS À COURAÇA ALUMINOSA NA PORÇÃO SUL DA SERRA DO CAPARAÓ, MINAS GERAIS/ESPIRITO SANTO

GENESIS OF CLOSED DEPRESSIONS IN SLOPES ASSOCIATED WITH THE ALUMINOUS DURICRUST IN THE SOUTH REGION OF CAPARAÓ RIDGE, MINAS GERAIS/ESPIRITO SANTO

Ana Carolina Campos Mateus

Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Morro do Cruzeiro, s/n, Ouro Preto, Minas Gerais, CEP: 35.400-00, Brasil
Email: anacamposeg@hotmail.com

Fábio Soares de Oliveira

Departamento de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais, CEP: 31.270-901, Brasil
Email: fabiosolos@gmail.com

Angélica Fortes Drummond Chicarino Varajão

Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto
Campus Morro do Cruzeiro, s/n, Ouro Preto, Minas Gerais, CEP: 35.400-000, Brasil
Email: angelicavarajao@gmail.com

Caroline Cibele Vieira Soares

Departamento de Geologia, Universidade Federal do Espírito Santo,
Alto Universitário, s/n, Alegre, Espírito Santo, CEP: 29.000-500, Brasil
Email: carolinecvsoares@gmail.com

Adriano Luis Schünemann

Campus São Gabriel, Universidade Federal do Pampa
Av. Antônio Trilha, 1847, São Gabriel, Rio Grande do Sul, CEP: 97.300-000, Brasil
Email: adrianoschunemann@gmail.com

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
16/08/2015
Aceito (Accepted):
27/02/2016

Palavras-chave:

Depressões fechadas; Radar de Penetração no Solo; Micromorfologia.

Resumo:

A origem das depressões fechadas associadas à cobertura laterítica aluminosa nos topos dos morros e ao longo das vertentes na região de Espera Feliz, MG, divisa com Espírito Santo, foi pesquisada através de um levantamento geofísico da cobertura pedológica associado às análises morfológicas (macro e micro) de perfis de solos. O levantamento geofísico por GPR, realizado em 2 seções ao longo de uma vertente, abrangeu duas depressões consecutivas e foi seguido do levantamento sistemático da cobertura pedológica por meio da abertura de 5 perfis (N1, L1, L2, N2 e L3). Foram coletadas amostras deformadas para análises físicas,

Keywords:

Closed depressions;
Ground Penetration Radar;
Micromorphology.

mineralógicas e químicas e amostras indeformadas para análise micromorfológica. No interior das depressões fechadas foi identificado o Neossolo Litólico húmico típico e entre as depressões ocorre o Latossolo Vermelho Amarelo distrófico húmico. A análise lateral realizada pelo GPR e a interpretação conjunta dos atributos da cobertura revelam um sistema pedológico contínuo do topo a base da

vertente. As diferenças morfológicas que levam a existência de distintas classes de solos traduzem, neste contexto, a evolução pedogeomorfológica da vertente e consequente gênese das depressões, o que teria ocorrido de maneira distinta ao modelo de subsidência por lixiviação geoquímica, mais amplamente conhecido. Dois momentos são reconhecidos: i) a origem de uma cobertura latossólica relacionada ao avanço vertical da degradação da bauxita e à bioturbação sob condições climáticas úmidas e ii) remoção de partes dessa cobertura em condições climáticas (possivelmente áridas) posteriores.

Abstract:

The origin of the closed depressions associated with the aluminous duricrust occurring on the tops of the hills and along the hillslope in the region of Espera Feliz city, Minas Gerais state, bordering the Espírito Santo state, was investigated through a geophysical survey of soil cover associated with the morphological analysis (macro and micro) in soil profiles. Geophysical survey by GPR held in two sections along a slope, covered two consecutive depressions and was followed by systematic survey of soil cover through the opening 5 profiles (N1, L1, L2, N2 and L3), where deformed samples were collected for chemical, physical and mineralogical analysis and undisturbed samples for micromorphological analysis. Humic Neosols were found inside the closed depressions and Humic Ferralsols were found between the closed depressions. The side analysis performed by GPR and the joint interpretation of the soil properties reveals a persistent pedological system from top to bottom of the slope. So the morphological differences that would lead to consider two soil classes are related to the occurrence of mass movements. The origin of the horizon (Bw and A) are related to the vertical advance of bauxite degradation conducted by bioturbation. The aluminous duricrust and its transformation into soil are understood as preceding stages of erosive features formation. Thus, the bauxite in the region would have formed under hot and humid weather conditions and removing parts of the cover in later dry weather conditions.

1. Introdução

No sudeste de Minas Gerais, próximo à divisa com o Espírito Santo, especificamente na região de Espera Feliz, coberturas de bauxita nos topos dos morros e ao longo das vertentes ocorrem associadas a feições de relevo de formato côncavo, não conectadas com a drenagem atual, intituladas de depressões de topo ou depressões fechadas (FILIZOLA & BOULET, 1996). Feições semelhantes, situadas em outras áreas da região sudeste do Brasil, em contextos litológicos diversificados, foram foco de vários estudos, como no município de Caçapava, estado de São Paulo, em domínio de sedimentos quartzo-cauliníticos da Bacia de Taubaté, Formação Pindamonhagaba (FILIZOLA & BOULET, 1996). Ainda em São Paulo, no Platô de Itapetininga, CASTRO (1980) evidenciou a presença de depressões sobre rochas basálticas da Formação Serra Geral, o mesmo feito por ALVES (2014) em afloramentos de

basalto associados ou não à couraças ferruginosas no Compartimento Três Cantos localizado a sudoeste do município de Macaraí/SP. Essa autora observou depressões fechadas na parte cimeira do relevo, concentradas principalmente em área de solos de textura média. FELTRAN FILHO (1997) também identificou tais feições sobre basaltos da Formação Serra Geral, porém em áreas planas nas chapadas de Uberlândia, Minas Gerais. Na Serra da Piedade, região do Quadrilátero Ferrífero (MG), PEREIRA *et al.* (2012) verificou que as depressões fechadas ocorrem em formações ferríferas bandadas. No estado de São Paulo, CASTRO & COELHO NETTO (2002) estudaram depressões fechadas na Bacia do Rio Fortaleza no médio Vale do Rio Paraíba do Sul em gnaiss e xisto da Unidade São João. No médio-baixo vale do Ribeirão Santana UAGODA (2006), UAGODA *et al.* (2006 e 2008) e UAGODA (2009) indicaram a ocorrência de cavernas e feições de abatimento em áreas montanhosas quartzíticas, bem

como dolinas de dissolução (depressões fechadas) e concavidades topográficas associadas a essas dolinas, em áreas de encosta convexo- côncavas em substrato rochoso de biotita-gnaiss da sequência metassedimentar Andrelândia. Na Zona da Mata de Minas Gerais, especificamente na região de Carangola, OLIVEIRA (2007) encontrou uma grande feição doliniforme de sentido leste-oeste localizada quase que no centro de um platô no sítio arqueológico Córrego do Maranhão. Nesse mesmo sítio arqueológico, BARROS *et al.* (2008) realizaram datações por radiocarbono (^{14}C) e estudos palinológicos em materiais provenientes do centro da dolina caracterizando a deposição de sedimentos de idade Holocênica. A presença de depressões fechadas em domínios bauxíticos como os da região sudeste de Minas Gerais não havia sido reportada até o momento.

Independente do contexto litológico, inferências foram feitas sobre o significado dessas feições na evolução da paisagem baseadas no estudo morfológico de perfis verticais, tradagens ou sondagens mecânicas, na análise estrutural da cobertura pedológica e em caracterizações laboratoriais da cobertura pedológica (físicas, químicas, mineralógicas, geofísicas e, em alguns casos, micromorfológicas). Majoritariamente, os autores apontam para sua relação genética com a subsidência do substrato por lixiviação diferencial controlada por estruturas (lineamentos) regionais (FILIZOLA & BOULET, 1996; COELHO NETO, 2003; UAGODA *et al.*, 2006; UAGODA *et al.*, 2011; XAVIER *et al.* 2014). Além disso, os estudos reconhecem que a formação dessas depressões tende a influenciar na evolução da cobertura pedológica, e vice-versa. CASTRO & COELHO NETTO (2002), por exemplo, indicaram que o desenvolvimento das depressões levou à transformação lateral de uma cobertura latossólica para um argissolo hidromórfico. Perfis de sondagem elétrica vertical obtidos no centro da depressão sugerem a ocorrência de uma zona de percolação subvertical que teria favorecido a formação da depressão por subsidência geoquímica, promovendo o rebaixamento do latossolo pré-existente e sua subsequente transformação por lessivagem e hidromorfia. Da mesma maneira, ROSOLEN & HERPIN (2008) verificaram que a montante a partir do centro da depressão ocorria frentes de transformação lateral através da expansão dos horizontes hidromórficos, com exportação de matéria particulada e/ ou dissolvida que modifica a textura, estrutura e as propriedades geoquímicas da matriz, acarretando uma diminuição do volume

do solo e conseqüentemente do relevo.

O presente estudo objetivou compreender a origem das depressões fechadas associadas à cobertura laterítica aluminosa na região de Espera Feliz através de um levantamento geofísico da cobertura pedológica associado às análises macro e micromorfológicas da cobertura pedológica, com perfis verticais estudados dentro e fora das depressões, e suas correlações. Entender como essas feições se relacionam com a evolução da couraça bauxítica pode ser um importante elemento na evolução da paisagem do sudeste brasileiro.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo se localiza na região sudeste do Brasil próximo à divisa entre os estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro, municípios de Espera Feliz-MG e Dores do Rio Preto-ES (Figura 1A). Ao norte da área, aproximadamente a 30 km, está situado o Pico da Bandeira, com altitude de 2891 metros (Figura 1B). O clima da região é do tipo tropical de altitude, com verão ameno e inverno frio com médias máximas de 25,3°C e mínimas de 12,8°C. A precipitação pluviométrica anual é, em média, de 1.595 mm. Geologicamente, a área se insere no domínio de rochas charnockíticas com enclaves máficos do Complexo Juíz de Fora/Suíte do Caparaó (HORN, 2007; SOARES, 2013). De acordo com SOARES (2013), o relevo da região é constituído por um antiforme (Serra do Caparaó) com serras alongadas segundo a foliação principal NNE. Numa dessas serras, na extremidade sul deste antiforme, ocorre um esporão onde se localiza a vertente estudada.

2.2 Levantamento geofísico por GPR

O levantamento geofísico foi realizado ao longo da vertente, em 2 seções A e B de modo a abranger duas depressões consecutivas, perfazendo um total de 92m (Figura 1C). Foi efetuado através do método eletromagnético Ground Penetration Radar (GPR) com o uso do equipamento SIR-4000, (GSSY). Nesse levantamento as seções foram do tipo *commom offset*, com sistema de roda para medir a distância, calibrando-se o odômetro para a aquisição em uma distância de 10 m no local de estudo. A antena utilizada para esse levantamento foi a de frequência central de 400 MHz blindada, que para esse estudo foi considerada de alta frequência permitindo a

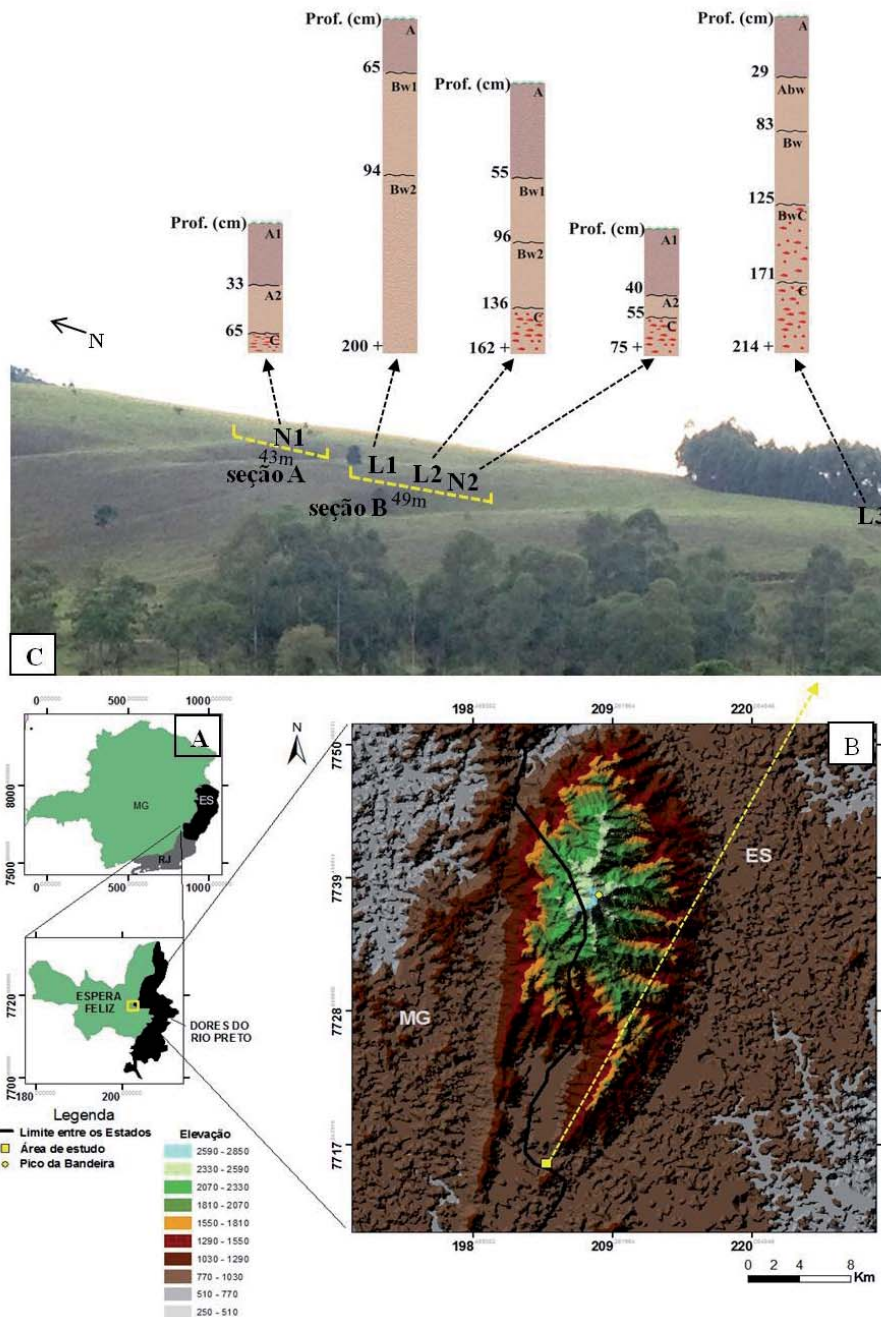


Figura 1 - A) Mapa de localização da área de estudo. B) Mapa de SRTM mostrando a localização da área de estudo em relação ao Pico da Bandeira. C) Vertente com a localização das seções de GPR A e B, e posição dos perfis pedológicos N1, L1, L2, N2 e L3.

investigação em profundidade máxima de penetração até 5 metros com uma resolução adequada para o objetivo do estudo. Para o levantamento foi considerada no pré-processamento a constante dielétrica 3, utilizada para solo argiloso seco; e na unidade de controle foi utilizado uma janela de tempo de aquisição (range) de 74ns. Os pós-processamentos dos perfis gerados pelo GPR foram realizados no software Gradix onde foram feitas *declip*, *dewow*, *set time zero*, *remove background* (remoção dos

ruídos de fundo), *gaussian filter*: $fc = 400\text{MHz}$, *elevation static*, *depth conversion* (*hyperbolic velocity*: $0,85\text{m/ns}$); ganho agc (janela de ganho) de 20ns.

2.3 Descrição macromorfológica dos horizontes pedológicos e coleta de amostras

O levantamento sistemático da cobertura pedológica foi realizado por meio da abertura de 5 perfis com

profundidade de 65, 200, 162, 75 e 214 cm (Figura 1C) distribuídas em uma vertente, de montante para jusante, da seguinte forma: N1 (centro da depressão N1), L1 (topo convexo imediatamente a jusante da depressão N1), L2 (lado de maior declividade imediatamente a jusante de L1), N2 (centro da depressão N2) e L3 (perfil no talude a jusante da vertente). Em cada perfil foram feitas descrições macromorfológicas de acordo com LEMOS *et al.* (2013). As cores das amostras foram obtidas pela Caderneta de Munssell (MUNSELL, 1975). No total, foram coletadas 20 amostras deformadas, 7 amostras indeformadas de solo e 4 amostras de fragmentos de bauxita do horizonte C de N1, N2, L2 e L3.

2.4 Caracterizações física, química, mineralógica e micromorfológica dos horizontes pedológicos

A análise textural foi realizada no Laboratório de Análise de Solo Viçosa Ltda pelo procedimento da EMBRAPA (1999). Após agitação lenta (16 horas), utilizando hidróxido de sódio como dispersante, o silte e a argila foram determinados pelo método da pipeta, ao passo que a areia grossa e fina foram separadas por peneiramento. As proporções de cada fração foram plotadas no diagrama triangular para obtenção da classe textural.

Na análise química de rotina foram considerados elementos indicadores da fertilidade do solo (EMBRAPA, 1999). Foram medidos o pH em H₂O (solo:solução 1:2,5); os teores de P em mg/dm³ (DEFELIPO & RIBEIRO, 1981); os teores de K, Ca, Mg e Al em cmol_c/dm³; e a partir deles calculada a soma de bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_(v)) e a pH7, CTC₍₇₎ em cmol_c/dm³ e os índices de saturação de bases (V) e de alumínio (m) em %. O teor de matéria orgânica (MO) em g/kg foi medido pelo carbono orgânico total, obtido pelo método Walkley-Black, multiplicado por 1,724.

A análise química total dos elementos Na, K, Mn, Mg, Ca, Fe, Al, Ti, P e Si, reportados em óxidos (% em peso), foi realizada por Fluorescência de Raios-X (FRX) utilizando o aparelho Magix PANalytical Philips com amostrador automático PW2540.

A análise mineralógica da fração pó total (areia, silte e argila) foi realizada no Laboratório de Difractometria de Raios-X (DRX) do DEGEO/UFOP. O difratômetro utilizado é da marca Panalytical, modelo Empyrean com radiação CuK α e potência 45KV e

40mA. O intervalo de varredura foi de 2 a 70°, com step de 0,02 °2 θ e contagem de 10³/step. Os difratogramas foram interpretados no software X'Pert HighScore Plus e através de padrões da literatura (BRINDLEY & BROWN, 1980).

Para a análise micromorfológica foram confeccionadas 4 lâminas delgadas de bauxita e 7 de solo no Laboratório de Laminação do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/UFOP). As amostras mais friáveis foram impregnadas a vácuo com resina de poliéster Polilyte (Reforplás T208) pré-acelerada (FILIZOLA & GOMES, 2004). O estudo micromorfológico foi realizado em microscópios da marca Zeiss, modelo Axio Scope. A1, acoplado com câmera Zeiss modelo AxioCam MRc5. Foram utilizadas as terminologias propostas por STOOPS (2003) para a descrição das microestruturas.

3. Resultados

Os radargramas apresentaram duas regiões refletoras bem distintas para a cobertura pedológica (Figura 2): i) região de baixa intensidade, até aproximadamente 50 cm de profundidade, ocorrendo em toda a porção analisada; e ii) região de alta intensidade, ocorrendo a partir de 50 cm no interior das depressões e 200 cm nas demais posições da vertente. Por vezes, a partir de 200 cm ocorrem pequenos “bolsões” de menor intensidade, descontínuos e sem formar uma camada. Os comportamentos evidenciados pelo GPR foram correlacionados com a descrição morfológica dos perfis de solo (Figura 1C e Tabela 1). As menores intensidades de reflexão estão relacionadas com horizontes argilosos (A e B) e as maiores intensidades coincidem com a presença da bauxita fragmentada (horizonte C).

O horizonte A perpassa toda a vertente. As maiores espessuras são encontradas no interior das depressões, motivo pelo qual foram subdivididos em A1 e A2 nessas posições (Figura 3A). De maneira geral, esse horizonte possui coloração marrom escura (7.5YR3/4), consistência seca ligeiramente dura e consistência molhada ligeiramente plástica a ligeiramente pegajosa. A consistência úmida varia de pouco a muito friável. A estrutura inclui desde blocos angulares médios (15mm) e grandes (30mm) a grânulos pequenos (1mm). São identificados, imersos na matriz argilosa, fragmentos de bauxita que variam de 0,2 a 1,6 cm (Figura 3B).

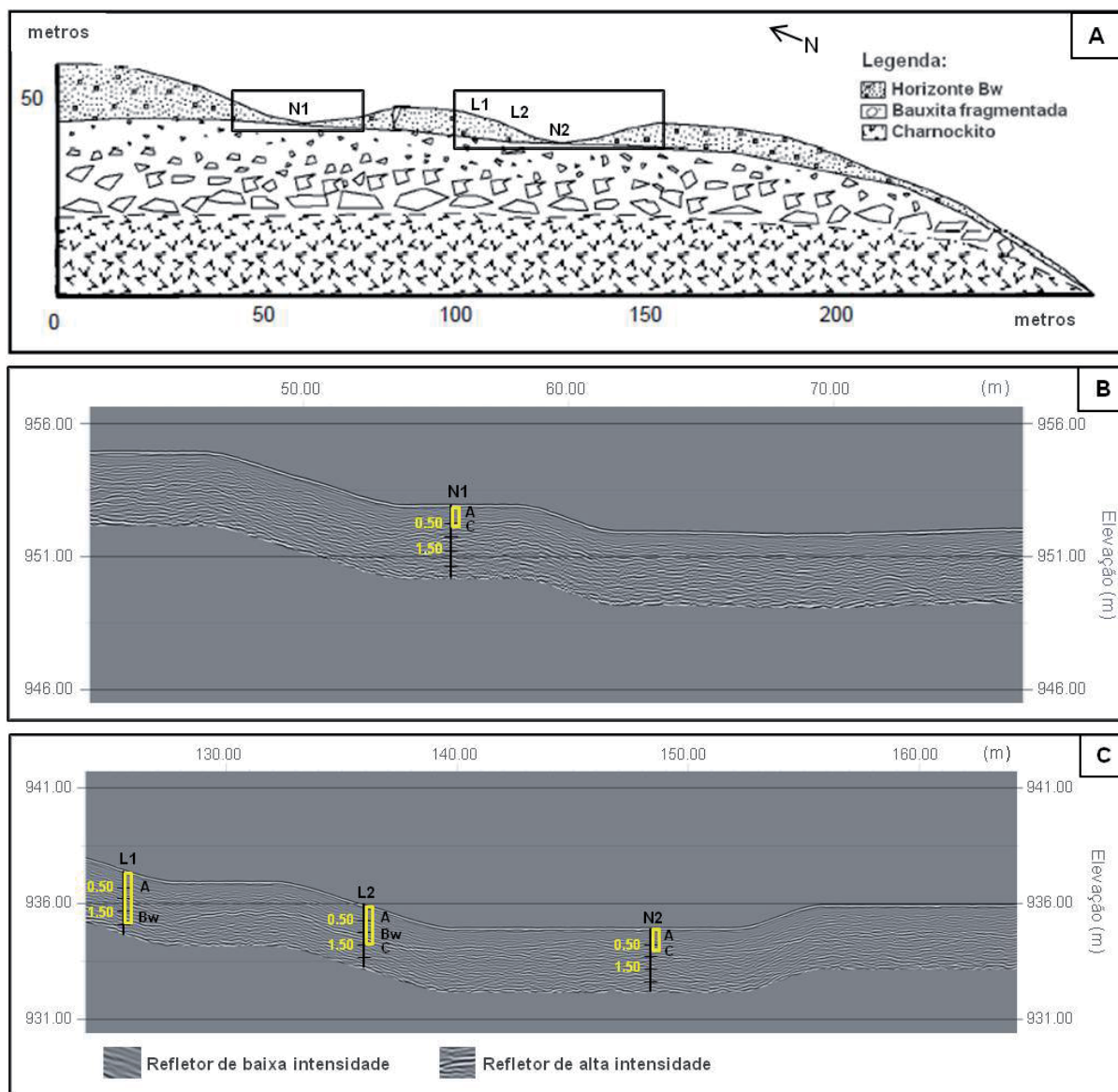


Figura 2 - A: Representação esquemática da vertente em estudo com as posições das seções de GPR; B e C: Radargramas obtidos através do levantamento geofísico com valores aproximados da elevação original.

O horizonte Bw (por vezes subdividido em Bw1 e Bw2) ocorre apenas entre as depressões, sendo inexistente no seu interior (Tabela 1). Possui coloração amarelo-avermelhado (7.5YR 6/8), consistência seca ligeiramente dura, friável quando úmida e plástica a ligeiramente plástica quando molhada. A estrutura é formada por blocos subangulares médios a grandes, que se desfazem em grânulos, com fragmentos de bauxita em seu interior. O tamanho dos fragmentos varia 0,25 a 3,28 cm no comprimento de maior eixo.

O horizonte C se caracteriza pela presença de fragmentos de bauxita entre 1,24 e 7,53 cm (Figura 3B).

Os fragmentos possuem coloração vermelho-amarelada (7.5YR5/8) a amarelo-avermelhada (7.5YR7/6), são mais duros e ocorrem em maior quantidade que nos horizontes superiores (A e/ou B). Entre os fragmentos ocorre uma matriz argilosa de coloração amarelo-avermelhado (7.5YR 6/8), com estrutura em blocos angulares a subangulares de tamanho pequeno 1cm e com grau de desenvolvimento fraco (Figura 3C). Embora ocorra em profundidades diferentes, estando mais próximo da superfície no interior das depressões, esse horizonte bauxítico perpassa toda a vertente.

Em termos granulométricos, todos os horizontes são

Tabela 1: Descrição morfológica e análises de textura e estrutura dos horizontes pedológicos dos perfis N1, L1, L2, N2 e L3

Horiz.	Prof. (cm)	Granulometria						Relação Silte/Argila	Classe Textural	Cor Úmida	Cor Seca	Consistência			Estrutura
		>2mm		<2mm (TFSA)								Seco	Úmido	Molhado	
		Cascalho	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	%								
N1 – NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico															
A1	0-33	5,22	180	160	220	470	0,47	Argila	7.5YR3/4	7.5YR3/4	Ligeiramente Dura	Pouco Friável	Ligeiramente Plástica	Moderada média a grandes blocos angulares	
A2	33-65	4,43	200	50	110	640	0,17	Muito Argilosa	5YR3/2	7.5YR3/4	Ligeiramente Dura	Pouco Friável	Ligeiramente Plástica	Moderada média a grandes blocos angulares	
C	65+	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR5/8	10YR3/4	Extremamente Dura	Muito firme	-	Fragmentos de bauxita grandes ou menos fragmentada	
L1 – LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico															
A	0-32	1,91	330	90	90	490	0,18	Argila	7.5YR3/4	10YR5/6	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica	Fraca média grumos, fraca pequena a média grânulos	
Bw1	32-94	1,57	250	90	70	590	0,12	Argila	7.5YR6/8	10YR4/6	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica	Fraca média a grande blocos angulares	
Bw2	94-200+	6,62	270	50	60	620	0,10	Muito Argilosa	7.5YR6/8	10YR4/6	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica	Fraca média a grande blocos angulares	
L2 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico															
A	0-55	5,03	270	100	100	530	0,19	Argila	7.5YR3/4	10YR4/4	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica	Moderada média a pequena blocos subangulares	
Bw1	55-96	7,19	210	130	110	550	0,20	Argila	7.5YR6/8	10YR4/4	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica	Moderada média a pequena blocos subangulares	
Bw2	96-136	4,08	210	60	100	630	0,16	Muito Argilosa	7.5YR6/8	10YR5/4	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente Plástica	Moderada média a grande blocos subangulares	
C	36-162+	30,36%	230	30	160	580	0,28	Argila (matriz)	7.5YR3/4 (matriz) e 7.5YR4/6 (fragmentos de bauxita)	10YR5/4 (matriz) 5YR5/8 (fragmentos de bauxita)	Extremamente Dura	Muito Firme para fragmentos e Friável para matriz	Ligeiramente Plástica (matriz)	Fragmentos de bauxita grandes envolvidos por matriz argilosa com fraca pequenos blocos subangulares	
N2 - NEOSSOLO LITÓLICO Húmico típico															
A1	0-40	10,4	170	90	130	610	0,21	Muito Argilosa	7.5YR3/4	10YR4/4	Ligeiramente dura	Muito Friável	Ligeiramente Plástica	Fraca pequena grumos a Fraca pequena grânulos	
A2	40-55	9,81	140	180	120	560	0,21	Argila	7.5YR3/4	10YR4/4	Ligeiramente dura	Friável	Ligeiramente Plástica	Fraca pequena a média blocos subangulares	
C	55-75+	60,59	160	120	90	630	0,14	Muito Argilosa (matriz)	7.5YR3/4 (matriz) e 7.5YR5/8 (fragmentos de bauxita)	10YR6/8 (fragmentos de bauxita) 10YR5/4 (matriz)	Extremamente dura	Muito Firme para fragmentos e Friável para Matriz	Ligeiramente Plástica (matriz)	Fragmentos de bauxita médios a grandes envolvidos por matriz argilosa com fraca pequena blocos angulares a subangulares	
L3 - LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico húmico															
A	0-29	4,24	310	50	120	520	0,23	Argila	7.5YR3/4	10YR5/4	Ligeiramente dura	Firme	Ligeiramente Plástica	Forte pequena a média grumos	
AB	29-83	3,74	240	50	80	630	0,13	Muito Argilosa	7.5YR4/6	10YR6/6	Ligeiramente dura	Firme	Ligeiramente Plástica	Moderada média a grande blocos subangulares	
Bw	83-125	6,58	250	40	60	650	0,09	Muito Argilosa	7.5YR6/8	10YR6/6	Ligeiramente dura	Firme	Ligeiramente Plástica	Fraca média a grandes blocos angulares	
BC	125-171	7,34	240	40	80	640	0,13	Muito Argilosa (matriz)	7.5YR6/8	10YR5/6	Ligeiramente dura	Muito Firme para fragmentos e Firme para Matriz	Plástica	Fragmentos de bauxita médios a grandes envolvidos por matriz argilosa com fraca pequena blocos subangulares	
C	171-214	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR5/8	7.5YR7/6	Extremamente dura	Muito Firme	-	Fragmentos de bauxita grandes arredondados envolvidos por matriz	



Figura 3 - A) Perfil N1 com os horizontes pedológicos A1, A2 e C. B) Imagem mostrando a variação de tamanho dos fragmentos de bauxita encontrados em meio ao material argiloso dos horizontes pedológicos A1, A2 e C. C) Matriz argilosa com estrutura em blocos angulares a subangulares em torno de fragmentos de bauxita no horizonte C.

majoritariamente argilosos, por vezes com textura muito argilosa, com mais de 60% de argila (Tabela 1). Quimicamente (Tabela 2), todos os horizontes são ácidos, com pH em H₂O entre 4,3 e 5,0. Os baixos valores da soma de bases trocáveis (SB), CTC efetiva (CTC_(t)) e CTC potencial (CTC_(T)) mostram que são muito lixiviados, sendo classificados em hiperdistróficos em decorrência dos valores extremamente baixos (1 a 4%) da saturação por bases (V). Condições de fertilidade um pouco melhores são observadas no horizonte A em razão do papel exercido pela matéria orgânica. Sobre os seus teores, a matéria orgânica aumenta em direção à superfície (Tabela 2) e apresenta valores altos se comparados àqueles esperados para solos tropicais, inclusive no horizonte Bw. Por tais razões, o horizonte organo-mineral A pode ser classificado como húmico em toda a vertente (EM-

BRAPA, 2013). Acompanhando os altos teores de matéria orgânica, observam-se valores igualmente altos para a saturação por alumínio (m), aonde o Al³⁺ chega a ocupar 90% do complexo sortivo. O P lábil é baixo corroborando com os valores encontrados nos solos oxidicos brasileiros (SCHAEFER *et al.*, 2004).

Na composição química total por FRX (Tabela 2), os teores de Al₂O₃ são altos em todos os horizontes e nos fragmentos de bauxita. Os valores encontrados nos fragmentos do horizonte C são maiores que no material argiloso em Bw e A. Ao contrário, os teores de SiO₂ são maiores na matriz argilosa do solo que nos fragmentos de bauxita. Os teores de Fe₂O₃ apresentam pouca variação e TiO₂ possui o mesmo comportamento do silício. Os demais óxidos (CaO, MgO, Na₂O, K₂O e

Tabela 2: Análise de química (total e parcial) dos horizontes pedológicos dos perfis N1, N2, L1, L2 e L3. SB= soma de bases trocáveis; CTC(t) = capacidade de troca catiônica efetiva; CTC(T) = capacidade de troca catiônica a pH7; V= índice de saturação de bases; m=índice de saturação de alumínio; MO=matéria orgânica; LOI=perda ao fogo.

Perfil	Horizonte	Prof.	H ₂ O	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al ³⁺	SB	CTC(t)	CTC(T)	V	m	MO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	LOI
		cm	ph	mg/dm ³	cmol/dm ³								%	g/kg	%											
N1	A1	0-33	5,0	1,3	0,05	0,1	0,0	1,0	12,87	0,15	1,15	13,02	1	87	52,7	20,7	28,6	21,0	4,19	0,04	0,15	<0,1	0,01	0,04	0,246	24,2
	A2	33-65	4,6	1,1	0,01	0,1	0,0	1,0	10,73	0,11	1,11	10,84	1	90	42,6	17,4	31,8	21,8	4,17	0,03	0,14	<0,1	0,02	0,04	0,263	23,4
	C (fragmentos de bauxita)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,44	41,8	25,2	4,98	0,02	0,19	<0,1	<0,01	0,05	0,436	24,5
N2	A1	0-40	4,8	2,3	0,04	0,4	0,0	1,5	13,04	0,44	1,94	13,48	3	77	52,77	23,6	27,3	19,5	2,41	0,06	0,14	<0,1	0,01	0,02	0,238	25,0
	A2	40-55	4,8	1,8	0,02	0,2	0,0	1,2	10,40	0,22	1,42	10,62	2	85	48,2	23,0	29,2	20,5	2,38	0,04	<0,10	<0,1	0,01	0,02	0,235	23,3
	C (matriz)	55-75+	4,7	1,6	0,02	0,1	0,0	1,1	9,57	0,12	1,22	9,69	1	90	38,6	24,2	30,1	21,9	2,09	0,03	0,13	<0,1	0,02	0,04	0,242	20,9
	C (fragmentos de bauxita)	>75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16,5	36,0	24,4	0,96	0,03	0,11	<0,1	<0,01	0,03	0,129	21,8
L1	A	0-32	4,7	1,3	0,04	0,1	0,0	0,8	8,42	0,14	0,94	8,56	2	85	38,6	18,7	32,3	20,4	4,22	0,03	0,16	<0,1	0,01	0,03	0,185	23,02
	Bw1	32-94	4,4	0,8	0,01	0,1	0,0	0,5	6,27	0,11	0,61	6,38	2	82	25,2	23,2	32,3	19,6	4,01	0,03	<0,10	<0,1	0,01	0,03	0,187	20,09
	Bw2	94-200+	4,7	1,0	0,01	0,1	0,0	0,0	2,64	0,11	0,11	2,75	4	0	15,5	18,0	35,8	20,9	4,16	0,02	0,15	<0,1	0,01	0,03	0,211	20,23
L2	A	0-55	4,5	1,5	0,03	0,1	0,0	1,0	8,42	0,13	1,13	8,55	2	88	39,9	19,9	31,6	21,0	3,29	0,03	0,12	<0,1	0,02	0,03	0,251	23,09
	Bw1	55-96	4,7	1,0	0,02	0,1	0,0	0,5	8,25	0,12	0,62	8,37	1	81	33,5	19,1	32,1	22,2	3,26	0,03	0,13	<0,1	0,01	0,03	0,248	22,45
	Bw2	96-136	4,4	1,3	0,01	0,1	0,0	0,8	8,42	0,11	0,91	8,53	1	88	33,5	19,0	32,2	22,3	3,19	0,03	0,15	<0,1	<0,01	0,03	0,259	21,68
	C (matriz)	36-162+	4,3	1,6	0,01	0,1	0,0	0,9	9,08	0,11	1,01	9,19	1	89	32,2	19,6	32,0	22,3	3,29	0,03	0,14	<0,1	0,01	0,02	0,284	21,25
	C (fragmentos de bauxita)	>162	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,83	44,4	20,4	2,59	0,02	0,16	<0,1	<0,01	0,03	0,383	26,34
L3	A	0-29	4,5	1,3	0,06	0,1	0,1	1,4	10,4	0,26	1,66	10,66	2	84	45,4	21,8	30,4	18,8	3,65	0,03	0,14	<0,1	0,02	0,03	0,21	23,82
	ABw	29-83	4,5	1,0	0,01	0,1	0,0	0,5	6,27	0,11	0,61	6,38	2	82	24,0	21,1	33,5	19,5	3,4	0,03	0,16	<0,1	0,01	0,03	0,216	20,63
	Bw	83-125	4,6	1,3	0,00	0,1	0,0	0,0	2,97	0,10	0,10	3,07	3	0	19,7	19,7	35,7	19,9	3,23	0,02	0,16	<0,1	0,02	0,02	0,239	20,26
	BwC (matriz)	125-171+	4,5	1,1	0,00	0,1	0,0	0,0	2,48	0,10	0,10	2,58	4	0	14,5	19,4	36,1	20,0	3,21	0,03	0,14	<0,1	0,01	0,02	0,226	19,77
	C (fragmentos de bauxita)	>171	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,0	49,6	9,37	1,15	0,03	0,17	<0,1	<0,01	<0,01	0,164	26,29

MnO), apresentaram teores muito baixos ou inferiores ao limite de detecção, mesmo no horizonte C.

Análises de DRX foram realizadas para a caracterização da composição mineralógica dos horizontes, dos fragmentos de bauxita e do material argiloso entre os fragmentos, tanto nos perfis do interior das depressões (Figura 4) quanto entre elas (Figura 5). Em todos os horizontes argilosos e na matriz entre os fragmentos foram identificados os minerais gibbsita, quartzo, goethita, caulinita, hematita e anatásio. Os fragmentos bauxíticos do horizonte C e os pequenos fragmentos de bauxita encontrados dispersos nos horizontes A e Bw apresentam os mesmos minerais dos horizontes superiores, sendo a caulinita e o anatásio ausente em alguns fragmentos.

Micromorfológicamente, ocorrem nos fragmentos

de bauxita do horizonte C porções menos e mais degradadas. As porções menos degradadas são constituídas por uma micromassa gibbsítica com trama cristalítica (Figuras 6A, 6B e 6D) e as porções mais degradadas por uma micromassa gibssito-caulinítica indiferenciada (Figuras 6A, 6B e 6C). Os grãos grossos do fundo matricial são constituídos por quartzo e opacos, perfazendo 30% da lâmina. Os cristais de quartzo são anédricos, angulosos, possuem extinção ondulante e ocorrem na fração areia grossa (0,5-1,0 mm) (Figura 6C). Os cristais de opacos ocorrem na fração areia fina (125- 250µm) (Figura 6C). A distribuição relativa entre grãos grossos e finos é do tipo porfírica. Os vazios apresentam-se majoritariamente na forma de cavidades, que chegam a 3,5mm (comprimento do maior eixo) (Figura 6D). Ocorrem também algumas vesículas (0,25mm) (Figura 6D).

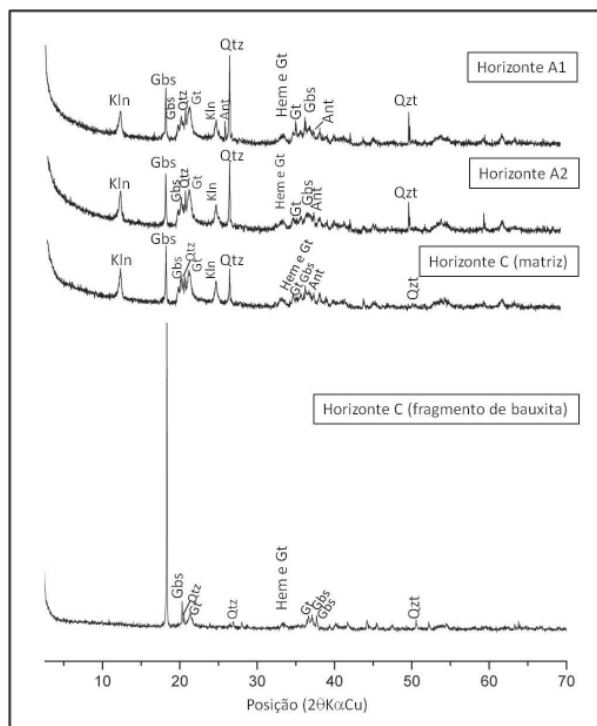


Figura 4 - Difratoformas de Raios- X mostrando a constituição mineralógicas dos horizontes pedológicos A1, A2 e C do Neossolo. É importante notar o surgimento da caulinita na matriz argilosa que ocorre em torno dos fragmentos de bauxita. Kln=caulinita, Gbs= gibbsita, Qtz= quartzo, Gt= goethita, Hem= hematita, Ant= anatásio.

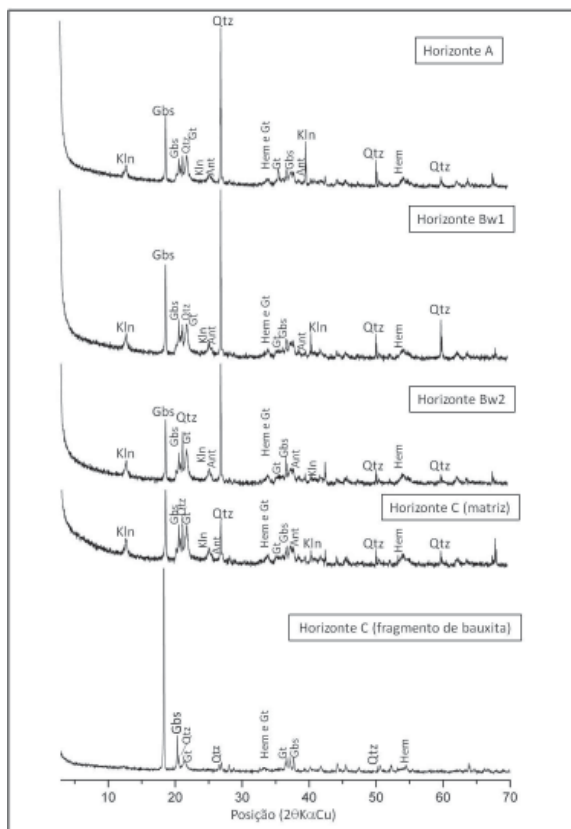


Figura 5 - Difratoformas de Raios- X mostrando a constituição mineralógicas dos horizontes pedológicos A, Bw1, Bw2, e C do Latossolo. Nesta figura também é possível observar o aparecimento da caulinita na matriz argilosa do horizonte C. Kln=caulinita, Gbs= gibbsita, Qtz= quartzo, Gt= goethita, Hem= hematita, Ant= anatásio.

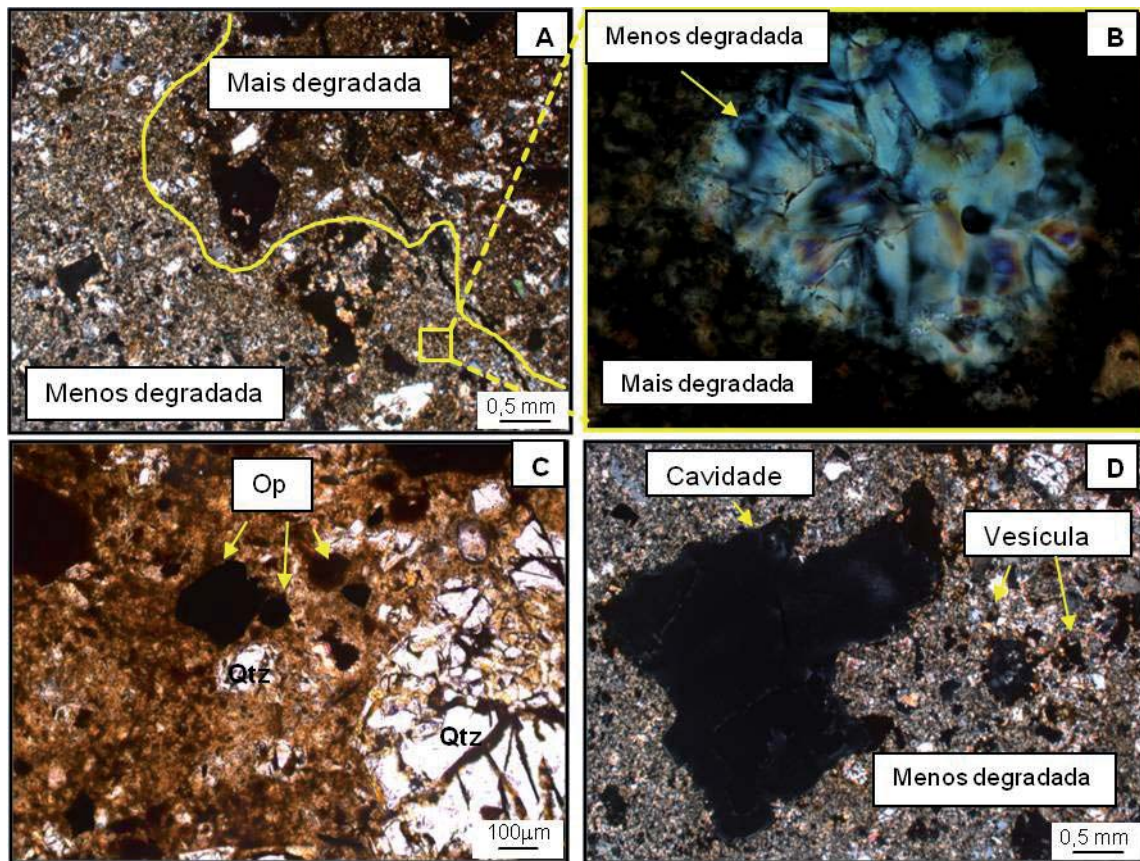


Figura 6 - Fotomicrografia dos fragmentos de bauxita do horizonte C. A) Regiões mais e menos degradadas dos fragmentos de bauxita em LPP. B) Micromassa gibbsítica com trama cristalítica na região menos degradada e micromassa gibbsito-caulinítica indiferenciada na região mais degradada em LPX. C) Fotomicrografia a LPP dos cristais de quartzo na fração areia grossa e cristais de opacos na fração areia fina envolvidos por uma micromassa gibssito-caulinítica. D) Vazio em forma de cavidade e algumas vesículas envolvidos por micromassa gibbsítica, a LPP. LPP= luz polarizada plana, LPX= luz polarizada cruzada, Qtz= quartzo, Op= opacos.

O horizonte A possui microestrutura granular microagregada (Figura 7A), ocorrendo também blocos subangulares fortemente desenvolvidos em algumas porções das lâminas (Figura 7B). Os vazios que predominam são do tipo empilhamento complexo, além de cavidades de até 3,25mm (maior comprimento do eixo) (Figura 7C). No interior dos agregados, o material grosso é composto por grãos de quartzo com extinção ondulante, angulares a subangulares (Figura 7D) e na fração predominante areia muito fina (63- 125 μ m), cristais de opacos na fração predominante areia muito fina e raros cristais de zircão (Figura 7E) que correspondem a 30% do total. Também ocorrem fragmentos de bauxita com 1,5 mm (Figura 7F). A micromassa possui coloração bruno-escura (7,5YR3/4) (Figura 7A e 7B) a amarelo-avermelhada (7,5YR6/8) (Figura 7E) e possui trama birrefringente do tipo pontilhada-mosqueada. Como pedofeições ocorrem nódulos típicos de oxido-hidróxidos de ferro de coloração vermelha escura (Figura 7C) e nódulos orgânicos que correspondem a 0,5% do total. Também estão presentes argilans (Figura 7G) e pedotúbulos (Figura 7H).

O horizonte Bw é constituído por blocos subangulares moderadamente desenvolvidos (Figura 8A e 8B) e microagregados (Figura 8A e 8C). Os vazios predominantes são planares no domínio dos blocos (Figura 8B) e de empilhamento complexo no domínio microagregado (Figura 8C). No fundo matricial, o material grosso é composto por grãos de quartzo na fração areia fina (125-250 μ m), angulares a subangulares (Figura 8D e 8E) e cristais de opacos na fração areia fina (Figura 8C). Tal como no horizonte organo-mineral, alguns cristais de quartzo apresentam fraturas preenchidas por material fino (Figura 8D). A micromassa possui coloração vermelho-amarelada (7,5YR6/8) e trama birrefringente pontilhada-mosqueada. A distribuição relativa no fundo matricial entre o material grosso e a micromassa varia de porfírica (Figura 8E) a enaulica (Figura 8C). É comum a presença de fragmentos de carvão como constituinte orgânico. As feições pedológicas mais comuns são pedotúbulos (Figura 8F) e, secundariamente, nódulos (Figura 8E, 8G e 8H) e argilans típicos. Os nódulos apresentam coloração vermelha escura

e tamanhos de 2,5 mm, perfazendo cerca de 0,5% da composição da lâmina. São classificados como nódulos típicos

de oxido-hidróxidos de ferro (Figura 8G). Há também nódulos orgânicos típicos (Figura 8H).

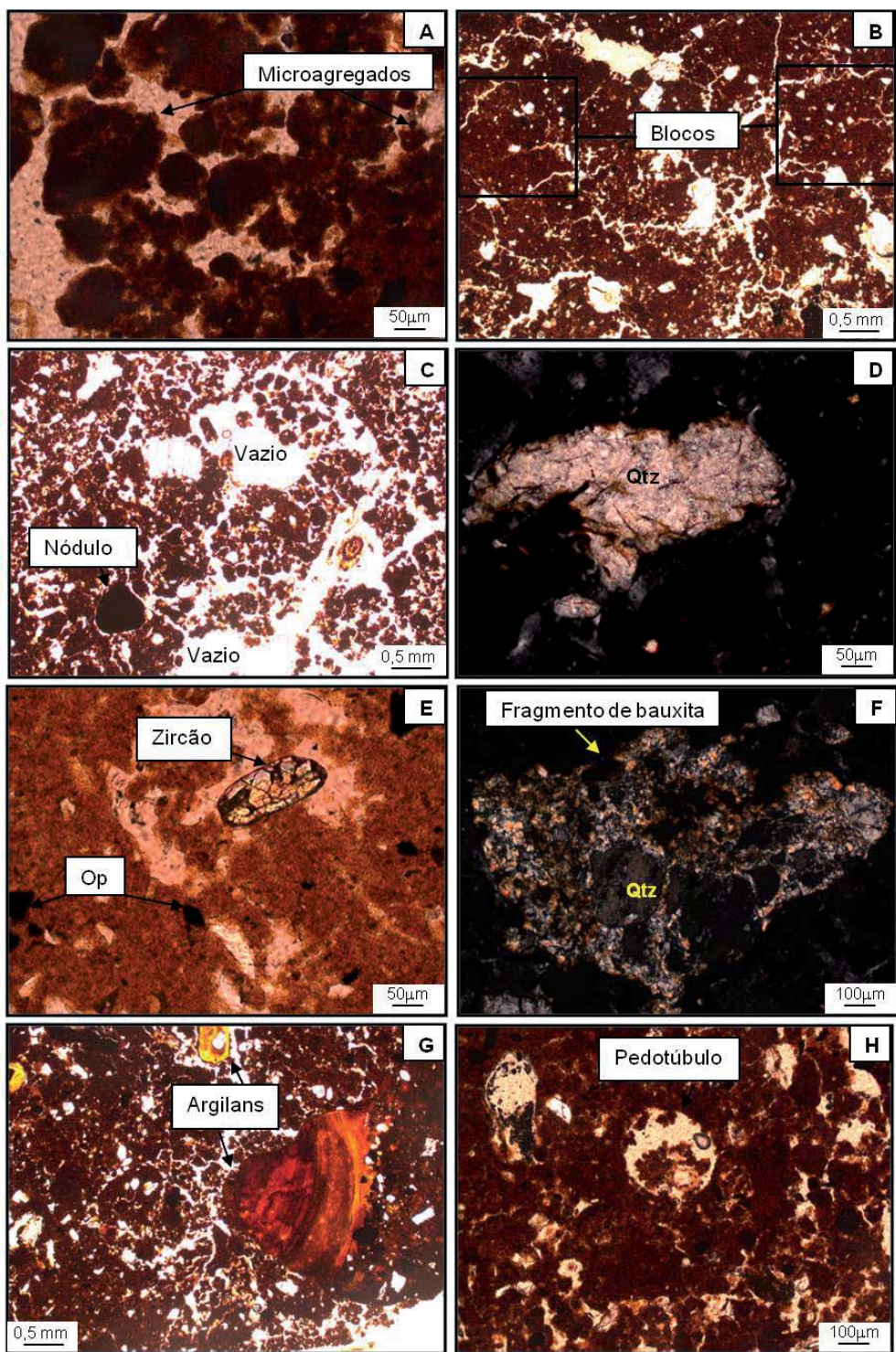


Figura 7 - Fotomicrografias do horizonte A. A) Microestrutura granular microagregada de coloração bruno-escuro a LPP. B) Imagem que ilustra a LPP blocos angulares fortemente desenvolvidos de coloração bruno-escuro. C) Vazio do tipo empilhamento complexo entre os grânulos e alguns vazios em forma de cavidades a LPP. No canto esquerdo inferior ocorre um nódulo típico de óxido-hidróxido de ferro. D) Cristal de quartzo a LPX. E) Cristal de zircão a LPP envolvido em micromassa de coloração amarelo-avermelhada. F) Fragmento de bauxita a LPX com cristais de quartzo em forma de ribbon. G) Imagem a LPP de argilans de coloração amarela e vermelha. H) Pedotúbulo em meio a uma micromassa de coloração bruno-escuro, em LPP. LPP= luz polarizada plana, LPX= luz polarizada cruzada, Qtz= quartzo, Op= opacos.

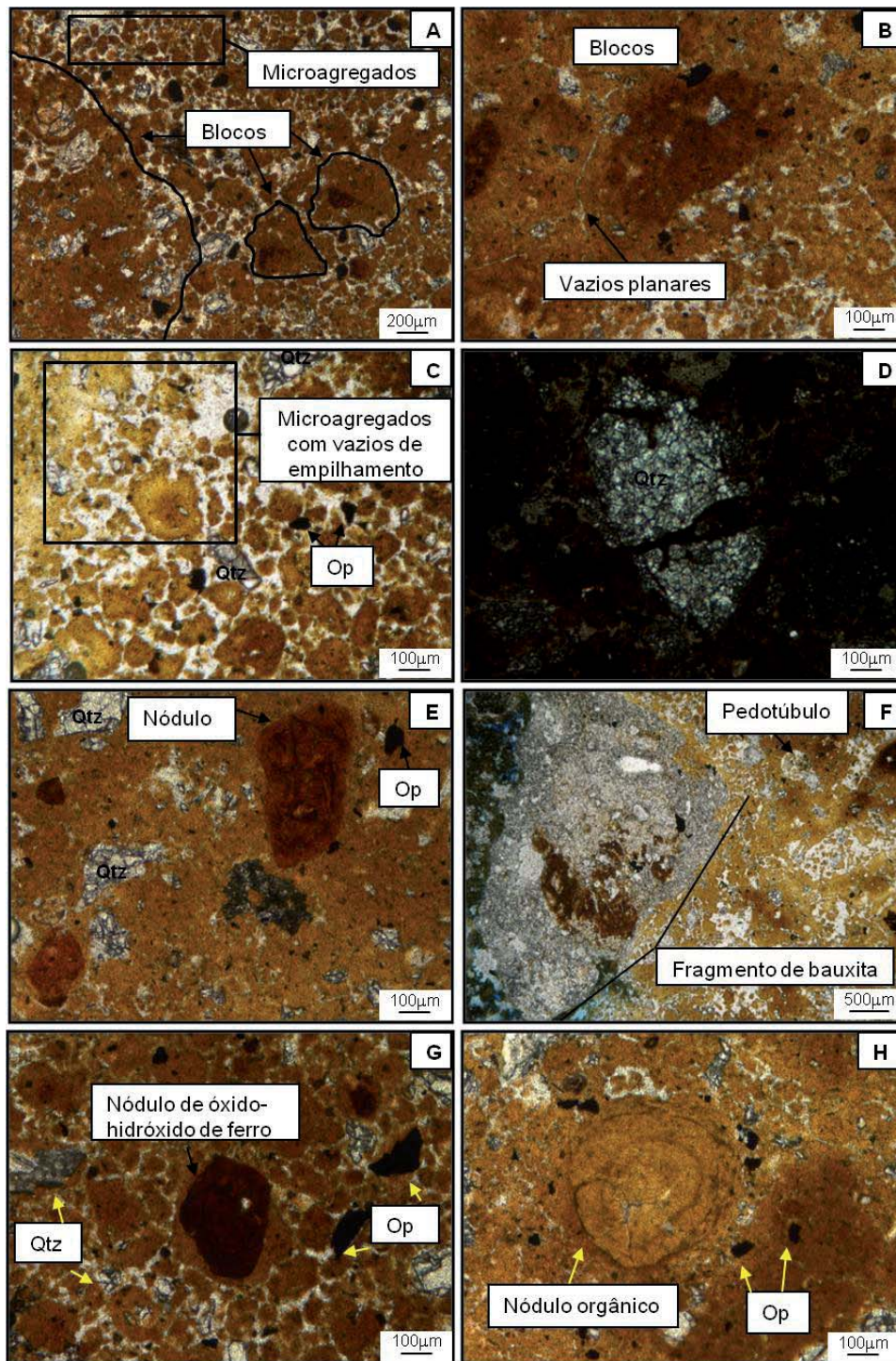


Figura 8 - Fotomicrografias do horizonte Bw. A) Imagem a LPP de blocos subangulares moderadamente desenvolvidos e microagregados de coloração vermelho-amarelada. B) Vazios do tipo planares em torno de blocos subangulares moderadamente desenvolvidos, em LPP. C) Imagem a LPP de microagregados vermelho-amarelados com vazios de empilhamento complexo. Também são observados cristais de opacos. D) Fotomicrografia à LPX de um cristal de quartzo com extinção ondulante e fraturas preenchidas pelo material da matriz. E) Nódulo típico de óxido-hidróxido de ferro em meio a micromassa vermelho-amarelada com cristais de quartzo e opacos, em LPP. F) Presença de um pedotúbulo com microagregados em seu interior a LPP. A direita é possível observar um fragmento de bauxita de 3,5 mm. G) Imagem a LPP de nódulo típico ferruginoso e presença de cristais de quartzo e opacos angulosos. H) Nódulo orgânico envolto por cristais de opacos e quartzo, em LPP. LPP= luz polarizada plana, LPX= luz polarizada cruzada, Qtz= quartzo, Op= opacos.

4. Discussão e Conclusões

A classificação baseada em perfis verticais evidencia a presença de solos diferentes na vertente. No interior das depressões, a organização morfológica dos horizontes (A/C) leva à classificação de um Neossolo Litólico húmico, ao passo que entre elas o horizonte Bw caracteriza a presença do Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico húmico. Contudo, a análise lateral subsidiada pelo uso do GPR e a interpretação conjunta dos atributos físicos, químicos, mineralógicos e morfológicos revelam um sistema pedológico contínuo do topo a base da vertente (BOULET *et al.*, 1982). As diferenças morfológicas que levariam a considerar duas classes de solos são, neste sentido, reflexo da própria evolução pedogeomorfológica da vertente. Essa evolução se dá em dois momentos: i) formação de uma cobertura latossólica pela degradação da bauxita e ii) transformação, parcial, da cobertura latossólica em neossólica por mecanismos morfogenéticos, originando, concomitantemente, as depressões fechadas. Alguns argumentos que sustentam esses dois momentos são destacados a seguir.

A presença de um horizonte de bauxita fragmentada ao longo de toda a vertente, cuja proximidade da superfície ocorre apenas no interior das depressões, foi revelada pelas análises geofísicas e confirmadas pela descrição morfológica. Nos radargramas, o aumento dos refletores bem definidos em direção ao horizonte C está relacionado com uma mudança textural entre os horizontes Bw e C, sustentada pelas análises granulométricas. Os fragmentos de bauxita de tamanhos maiores no horizonte C caracteriza a presença de refletores bem definidos. Da mesma maneira, sua ausência nos horizontes superiores (A e B) ocorre devida, principalmente, ao maior conteúdo de argila.

DOOLITTLE & COLLINS (1994) afirmam que a presença de argilas é um dos principais fatores que influenciam na condutividade do solo, junto com a porosidade e grau de saturação de água, quantidade e tipos de sais em solução e o espalhamento do sinal do radar. A capacidade de adsorção de água pela argila promove uma atenuação do sinal do Georradar devido à grande condutividade elétrica, causando a formação de refletores pouco definidos. Assim, a condutividade elevada do material argiloso prejudica a penetração

das ondas eletromagnéticas levando a reflexões fracas (DOOLITTLE, 1987; DAVIS & ANNAN, 1989). Até mesmo em algumas porções do horizonte C as reflexões mostraram-se fracas, sugerindo a existência de bolsões argilosos que indicam que a degradação da bauxita é descontínua, uma expressão macroscópica do que foi visualizado nas lâminas delgadas.

Acima da bauxita fragmentada ocorre um espesso pacote de argilas gibbsito-cauliníticas. A origem desses horizontes (Bw e A) vincula-se tanto ao avanço vertical da degradação da bauxita quanto à bioturbação promovida pelos organismos. Conforme proposto em diversos estudos, o transporte de partículas finas por térmitas e saúvas é um importante mecanismo de geração dos horizontes latossólicos, tendo a formação da estrutura microagregada como sua maior expressão (BENAYAS & PINTO RICARDO, 1973; VERHEYE & STOOPS, 1975; GARNIER-SILLAN *et al.*, 1985; ESCHENBRENNER, 1986; TRAPNELL & WEBSTER, 1986; KOOYMAN & ONK, 1987; STOOPS, 1991; JUNGRIUS *et al.*, 1999; NUNES *et al.*, 2000; SCHAEFER, 2001; SCHAEFER *et al.*, 2004; REATTO *et al.*, 2009). Assim, a organização estrutural em nível macro e microscópica sugere não só a degradação geoquímica da bauxita, mas também a ocorrência de processos pedogenéticos posteriores responsáveis pela formação de uma cobertura latossólica.

Atributos analíticos corroboram com a gênese da cobertura latossólica a partir da degradação da bauxita. Destacam-se: - a presença de uma cobertura muito argilosa com fragmentos de bauxita no seu interior, ficando menores e em menor quantidade nos horizontes superiores; - os elevados teores de matéria orgânica contrastando com solos profundamente lixiviados e pobres em bases trocáveis; - a saturação por alumínio correlacionada ao aumento do conteúdo de matéria orgânica, sugerindo sua complexação; - a presença marcante da caulinita nos horizontes argilosos superiores em detrimento dos horizontes bauxíticos na base dos perfis; - a presença de microestruturas associadas à degradação dos fragmentos de bauxita e posterior formação de microestruturas pedoplasmadas, com destruição de estruturas alteromórficas.

A degradação geoquímica da bauxita tem sido apresentada por diversos autores como resultado de mudanças das condições ambientais, como o estabele-

cimento de condições mais ácidas e úmidas no *topsoil* pela oscilação climática, do nível freático e por uma colonização vegetal de maior porte. Essa degradação significa, em termos gerais, a desestabilização da gibbsita e a neoformação de caulinita por causa da reincorporação de sílica. Esse processo é conhecido como resilição (LACROIX, 1913; 1934; HARRISON, 1933; VAN DER MAREL, 1960; KELLER & CLARKE, 1984) ou caulinitização (DANGIC, 1985) e tem sido considerado fundamental para explicar a gênese de espessos pacotes argilosos em depósitos bauxíticos (WEBER, 1959; BOULANGÉ & CARVALHO, 1989; LUCAS, 1988; VARAJÃO, 1988A; SIGOLO, 1988).

A transformação da cobertura pedológica está vinculada à gênese das depressões fechadas e representa um importante indicador dessa. Diversos estudos sinalizam a origem dessas feições como produto da lixiviação preferencial (FILIZOLA & BOULET, 1995; COELHO NETO, 2003; UAGODA *et al.*, 2006; ALVES, 2014). Nesse caso, são encontradas no seu interior coberturas pedológicas mais desenvolvidas que o entorno (com saprolitos mais profundos e *solum* com maior diversificação de horizontes). Ao contrário, na vertente em estudo, o interior das depressões apresenta o adelgaçamento da cobertura, com um horizonte organo-mineral de aproximadamente 40 cm de espessura, sotoposto pelos fragmentos de bauxita. Os atributos apresentados pelos perfis neossólicos confirmam sua associação com porções residuais de antigos Latossolos, hoje erodidos.

A composição química e mineralógica da cobertura no interior das depressões, onde é mais delgada, não permite uma relação direta com as rochas charnockíticas da região. Caso a origem do solo estivesse associada ao intemperismo dessas rochas, eram esperados maiores valores para todos os indicadores de fertilidade, bem como a presença de minerais primários litorrelíquias como plagioclásios e micas. Ao invés, o horizonte A, mesmo possuindo valores elevados de matéria orgânica, é extremamente pobre, tendo sido classificado como hiperdistrófico. Microagregados são igualmente observados, além de feições pedológicas que indicam bioturbação acentuada, como pedotúbulos. Em termos taxonômicos, o acúmulo de matéria orgânica e as cores brunadas levaram à classificação dos horizontes como do tipo A húmico, ao passo que

as propriedades investigadas reforçam sua relação com o material latossólico gerado a partir da bauxita (horizonte Bw). É provável que o escurecimento da micromassa (brunificação) seja uma consequência direta da própria formação da depressão, que passa a reter mais água e torna o ambiente acumulador de matéria orgânica.

Considerando que as depressões fechadas parecem demonstrar mais a atuação da remoção da cobertura pedológica que do aprofundamento (subsidência) diferencial do manto de alteração por lixiviação diferencial, tanto a formação da bauxita quanto sua transformação em solo devem ser compreendidas como etapas precedentes. Sendo assim, situando a formação da bauxita no Mioceno (Figura 9A), conforme apontam os estudos de LOPES (1987) e SOARES *et al.* (2014), é provável que sua degradação tenha ocorrido no Mioceno Superior (Figura 9B), concomitante ao estabelecimento de condições climáticas mais úmidas e da expansão da floresta semidecidual na região. No Plioceno, onde o clima torna-se árido a semi-árido, supõe-se que a cobertura pedológica teria sido parcialmente removida (Figura 9C) por mecanismos cuja natureza necessita de pesquisas mais específicas para ser discriminada. O clima árido combina-se com uma importante reativação tectônica no período. Conforme SOARES (2013) são reconhecidos na região diversos elementos na paisagem que corroboram com a ocorrência de movimentos neotectônicos, como meandros abandonados suspensos e corredeiras nos canais fluviais. Além disso, conforme BRICALLI & MELLO (2013), a presença constante de lineamentos E-W e NW-SE em grande parte das áreas de depósitos cenozoicos no estado do Espírito Santo pode estar relacionada a estruturas geradas em eventos de transcorrência dextral E-W durante o Pleistoceno-Holoceno, relacionando e reativando falhas dextrais e normais de períodos tectônicos anteriores. Assim, a combinação entre processos de movimentação da cobertura pedológica em períodos áridos com reativação tectônica sugere ser o caminho mais coerente para explicar a gênese das depressões na região estudada. Mesmo que morfologicamente semelhantes às depressões fechadas conhecidas na literatura, as feições aqui estudadas não puderam ser entendidas como tendo sua gênese relacionada a processos geoquímicos superficiais.

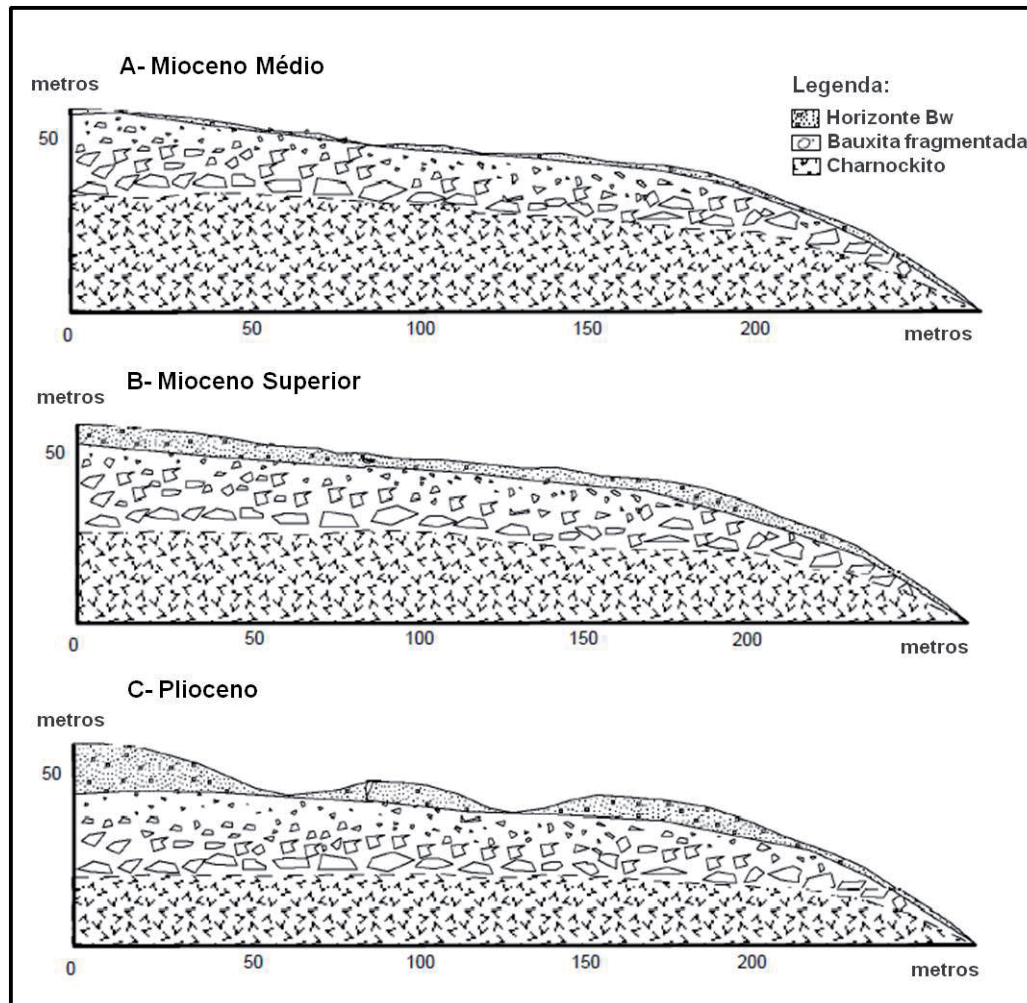


Figura 9 - Evolução da vertente do Mioceno ao Plioceno. A) Provável morfologia da vertente no médio Mioceno onde teria ocorrido a formação da couraça bauxítica. B) No Mioceno Superior as condições climáticas úmida e quente ainda possibilitavam o contínuo rebaixamento do charnockito dando espaço a geração da couraça bauxítica e concomitante degradação dessa couraça formando o horizonte pedológico Bw. C) Remoção da cobertura pedológica formando as feições côncavas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES). Nossos agradecimentos ao Laboratório de Difração de Raios-X (DEGEO/UFOP) pelas análises realizadas, ao Laboratório de Geofísica (IGC/UFMG) pelo tratamento dos dados de GPR e à empresa EDEM pelo apoio logístico.

Referências Bibliográficas

- ALVES, G. B. O estudo da cobertura pedológica e sua relação com a formação e evolução de depressões no sudoeste de Maracá (SP). Tese de Doutorado. PPGGF, DGFFLCH-USP, São Paulo, 2014, 109p.
- BARROS JUNIOR, V. L. M. Utilização de radar de penetração em dois solos do norte fluminense. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacases, 2011, 63p.
- BENAYAS, J.; PINTO RICARDO, R. Aspectos micromorfológicos de solos de uma topossequência ocorrendo em zona tropical húmida (Superfície da Quibala - Angola). *Anais do Instituto Superior de Agronomia*, v. 34, p. 181–203, 1973.
- BOULANGÉ, B. & CARVALHO, A. The genesis and the evolution of the Porto Trombetas bauxite deposits in the Amazon Basin, Brazil. *Anais do International Congress of ICSOBA*, 6, Poços de Caldas, v. 19, p.71-79, 1989.

- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; HUMBEL, F.X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. ORSTOM: Sér. Pédol. v. 19, n.4, p. 309-321, p.323-339, p.341-351, 1982.
- BRICALLI, L. L. & MELLO, C. L. Padrões de lineamentos relacionados a litoestrutura e fraturamento neotectônico (Estado do Espírito Santo, SE do Brasil). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 3, 2013.
- BRINDLEY, G. W. & BROWN, G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identificatino**. London: Mineralogical Society, 1980. 495p.
- CASTRO, S.S. **O platô de Itapetininga e as formações superficiais, material de origem do Latossolo vermelho escuro orto**. Dissertação de Mestrado. USP, FFLCH, Dep. Geogr., 1980.
- CASTRO, S.S. & COELHO NETTO, A. L. Evolução pedogenética em depressão de topo, na bacia do alto rio Fortaleza, região de Bananal (SP/RJ): resultados preliminares. In: **Enc. Eng. Geotécnica e Hidrologia no Sistema Encosta-Planície Costeira/PRONEX-Projeto no 14/97**, 4, 2002. Anais ...p. 181-192, 2002.
- COELHO NETTO, A. L. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 69-100, 2003.
- DANGIC, A. Kaolinization of bauxite: a study in the Vlasenica Bauxite area, Yugoslavia. I. Alteration of matrix. **Clays and Clay Minerals**, v. 33, p. 517-524, 1985.
- DAVIS, J. L. & ANNAN, A. P. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. **Geophysical Prospecting**, v.37, p.531–551, 1989.
- DOOLITTLE, J. A. Using ground-penetrating radar to increase the quality and efficiency of soil surveys. In: Soil Survey Techniques. **Soil Science Society American Special Publication**, v.20, p.11-32, 1987.
- DOOLITTLE, J.A. & COLLINS, M.E. Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. **J.Appl. Geophys.**,v. 33, p. 101-108, 1995.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2013. 353p.
- EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- ESCHENBRENNER, V. Contribution des termites à la microagrégation des sols tropicaux. **Cahiers ORSTOM, Série Pédologie**, v. 22, p. 397–408, 1986.
- FELTRAN FILHO, A. **A estruturação das paisagens nas chapadas do oeste mineiro**. Tese de Doutorado. USP, FFLCH, Pos-Graduacao em Geografia, Sao Paulo, 1997.
- FILIZOLA, H.F. & BOULET, R. Une évaluation de la vitesse de l'érosion géochimique à partir de l'étude de dépressions fermées sur roches sédimentaires quartzo-kaoliniques du Brésil. **C.R. Acad. Sci. Paris**, v.316, n. 2, p. 693-700, 1993.
- FILIZOLA, H.F. & BOULET, R. Evolution an opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. **Geomorphology**, v. 417, p. 1-10, 1995.
- FILIZOLA, H.F. & BOULET, R. Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. **Geomorphology**, v. 16, p. 77-86, 1996.
- FILIZOLA, H. F. & GOMES, M. A. **Comunicado Técnico 20: Coleta e Impregnação de Solos para Análise Micromorfológica**. Jaguariúna: EMBRAPA, 2004. 4p.
- GARNIER-SILLAN, E., VILLEMIN, G., TOUTAIN, F., RENOUX, J. Formation de micro-agrégats oragno-minéraux dans les feces de termites. **Comptes Rendus de l'Académie des Science**, v. 301, p. 213–218, 1985.
- HARRISON, J. B. **The katamorphism of igneous rocks under humid tropical conditions**. Harpenden: Imp. Bur. Soil Sci., Harpenden, 1933.79p.
- HORN, A.H. **Geologia da Folha Espera Feliz SF.24-V-A-IV**. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos Escala 1:100.000. Brasília: CPRM/UFMG , 2007.63p.
- JARENTCHUK, J.O. **Aplicação do georradar (GPR) na prospecção eletromagnética de solos: potencialidades e limitações**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curitiba, 2013, 142p.
- JUNGERIUS, A.; VAN DEN ANCKER, J.A.M.; MUCHER, H.J. The contribution of termites to the microgranular structure of soils on the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Catena**, v.34, p. 349-363, 1999.
- KELLER, W.D. & CLARKE, O.M. JR. Resilication of bauxite at the Alabama Street Mine, Saline County, Arkansas, illustrated by scanning electron micrographis. **Clays and Clay Minerals**,

v. 32, p.139-146, 1984.

KOOYMAN, C.; ONK, R. F. M. Distribution of termite (Isoptera) species in southwestern Kenya in relation to land use and themorphology of their galleries. **Biology and Fertility of Soils**, v. 3, p. 69–73, 1987.

LACROIX, A. Les laterites de le Guinée et lês produits de altération qui leur sont associes. **Nouv. Arch. Mus. Hist., Paris**, v.5, n. 2, 1913.

LACROIX, A. Les phénomènes d’alteration superficielle dès roches silicates alumineuses des pays tropicaux consequence au point de vue minier. In: Introduction aux etudes minières colonials. **Pub. Bur. Etudes Géol. Min. Col.**, v.2, p.19-47, 1934.

LOPES, L. M. **A evolução mineralógica, micromorfológica e geoquímica da bauxita e materiais correlatos da região de Miraf.** Dissertação de Mestrado. Universidade São Paulo, São Paulo, 1987,120p.

LUCAS, Y. **Systèmes pédologique em Amazonie Brasiense. Equilibres, desequilibres et transformations.** Tese de Doutorado. Universidade Poitier, França, 1988, 157p.

MATEUS A. C. C.; VARAJÃO A. F. D. C; OLIVEIRA F. S. Genesis of soils from aluminous duricrust in southeastern Brazil: resilification as a soil forming process. **Geoderma**, 2015-Submetido.

Munsell Soil Color Charts. Baltimore: Macbeth Division of Kollmorgen Corporation, 1975.

NUNES, W. A. G. A.; SCHAEFER, C.E.G.R; FERNANDES FILHO, E.I. Caracterização micropedológica de alguns solos da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciências do Solo** v.24, p.103-115, 2000.

OLIVEIRA, J. C. L. **Ecologia e Arqueologia da Paisagem: um estudo dos Sítios Pré-Coloniais da Zona da Mata Mineira.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007, 148p.

PEREIRA, M. C.; RODET, J. G. M. A.; SALGADO, A. A. R. 2012. Aspectos genéticos e morfológicos das cavidades naturais da Serra da Piedade, Quadrilátero Ferrífero/MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.13, n. 4, p.465-476, 2012.

REATTO, A.; BRUAND, A.; SILVA, E. M.; GUÉGAN, R.; COUSIN, I.; BROSSARD, M.; MARTINS, E. S. Shrinkage of microaggregates in Brazilian Latosols during drying: significance of the clay content, mineralogy and hydric stress history. **European Journal of Soil Science**, v. 60 , n.6, p. 1106– 1116, 2009.

ROSOLEN, V. & HERPIN, U. Expansão dos solos hidromórficos

e mudanças na paisagem: um estudo de caso na regioao Sudeste da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, v.38, n. 3, p. 483-490, 2008.

SCHAEFER, C.E.R. Brazilian latosols and their B horizon microstructure as long-term biotic constructs. **Australian Journal Soil Research**, v. 39, p. 909-929, 2001.

SCHAEFER, C.E.G.R.; GILKES, R.J.; FERNANDES, R.B.A. EDS/SEM study of microaggregate of Brazilian Latosols, in relation to adsorption and clay fraction attributes, **Geoderma**, v.123, p.69-81, 2004.

SIGOLO, J.B. **As formações bauxíticas do Maciço Alcalino de Passa Quatro, MG: sua evolução micromorfológica, geoquímica e as implicações do relevo.** Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo,1988, 186p.

SOARES, C. C. V. **Gênese e Evolução Mineralógica, Micromorfológica e Geoquímica da Bauxita de Espera Feliz, MG.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2013, 82p.

SOARES, C. C. V.; VARAJÃO, C.A.C.; VARAJÃO, A.F.D.C.; BOULANGÉ, B. Mineralogical, micromorphological and geochemical transformations in the initial steps of the weathering process of charnockite from the Caparaó Range, southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.56, p.30-40, 2014.

SOUZA, V. S. & KOTSCHOUBEY, B. Oscilações climáticas Plio-Pleistocênicas e sua influência na prospecção de ouro na área do garimpo do Manelão (PA). **Rem: Ver. Esc. Minas**, v. 54, n. 3, p. 1-7, 2001.

STOOPS, G. The influence of the fauna on soil formation in the tropics. Micropedological aspects. **Bulletin des Séances de l’Académie Royale des Science d’Outre-Mer**, v.36, p.461-469, 1991.

STOOPS, G. **Guidelinesfor Analyses and Description of Soil and Regolith Thin Sections.** Madison: Soil Society of America, Inc., 2003. 381p.

TRAPNELL, C.G. & WEBSTER, R. Microaggregate in red earths and related soils in East and Central Africa, their classification and occurrence. **Journal of Soil Science**, v.37, p.109-123, 1986

UAGODA, R.E.S.; AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, Ana Luiza . Contribution to Carstic Geomorphology in Quartzitic Rocks: Ribeirão Sant’ana Basin Drainage, Rio de Janeiro, Minas Gerais. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6/

- Regional conference on Geomorphology, 2006. **Anais do Simpósio Nacional de Geomorfologia**, 6/Regional conference on Geomorphology, 2006. v. 1.
- UAGODA, R. Reconhecimento geomorfológico de relevo cárstico em rochas quartzíticas: bacia hidrográfica do Ribeirão Santana, médio vale do rio Paraíba do Sul. Dissertação de Mestrado. PPGG-UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.
- UAGODA, R.; AVELAR, A.; COELHO NETTO, A.L. Karstic morphology in quartzose rocks: santana river basin at middle paraíba do sul river valley, minas gerais state/brazil. In: Australian and New Zealand Geomorphology Group Conference, 13, 2008, Queenstown, Western Tasmania. **Anais...** Queenstown: , 2008.
- UAGODA, R.; COELHO NETTO, A. L.; AVELAR, A. S. Morfologia de depressões fechadas em domínio cárstico-quartzítico na bacia do Ribeirão Santana/MG: Datações absolutas iniciais. **Rev. Bras. de Geomorfologia**, v.10, n.2. 2009.
- UAGODA, R.; AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Karstic morphology control in non-carbonate rocks: Santana basin, middle Paraíba do Sul river valley, Brazil. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, v. 55, p. 1-13, 2011.
- VAN DER MAREL, H.W. Quantitative analysis of kaolinite. **Silicates Industriels**, v.25, p.23-31 e p.76-86, 1960
- VARAJÃO, A. F. D. C. **Gênese das jazidas de caulinita e bauxita de Vargem dos Óculos, Quadrilátero Ferrífero, MG**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988a, 168p.
- VERHEYE, W. & STOOPS, G. Nature and evolution of soils developed on the granite complex in the subhumid tropics (Ivory Coast).II. Micromorphology and mineralogy. **Pedologie**, v.25, p.40-55, 1975.
- XAVIER, R. A & COELHO NETTO, A. L. Caracterização geomorfológica da bacia do Rio Turvo-RJ: médio vale do rio Paraíba do Sul (MVRPS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.15, n.1, p.35-45, 2014.
- WEBER, B. N. Bauxitização do Distrito de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. **Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia**, v.8, p. 17-30, 1959.