

## ASSOCIAÇÃO ENTRE OBSERVAÇÕES MACROSCÓPICAS E ANÁLISES LABORATORIAIS NO ESTUDO GENÉTICO DE SOLOS DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG

**Mariana de Resende Machado**  
Mestranda em Geografia – UFMG  
[mmachadogeo@gmail.com](mailto:mmachadogeo@gmail.com)

**Amanda Ribeiro de Oliveira**  
Mestranda em Geografia - UFMG  
[amanda.geo@hotmail.com](mailto:amanda.geo@hotmail.com)

**Fábio Soares Oliveira**  
Prof. Dr. da UFMG  
[fabiosolos@gmail.com](mailto:fabiosolos@gmail.com)

**Adriana Monteiro da Costa**  
Prof.<sup>a</sup> Dra. da UFMG  
[drimonteiroc@yahoo.com.br](mailto:drimonteiroc@yahoo.com.br)

### RESUMO

A evolução pedológica ocorre pela contínua, dinâmica e complexa sucessão e interação entre os mais diversos fatores ambientais, sendo que tal história evolutiva é passível de ser resgatada por meio da interpretação dos atributos dos solos. Áreas com grande diversidade ambiental, como o Quadrilátero Ferrífero, conduzem a um complexo e rico mosaico pedológico, que necessita de abordagem mais abrangente e aprofundada das interações dos elementos da paisagem. Nessa perspectiva, este estudo objetivou investigar a cobertura pedológica de uma vertente cuja justaposição regular de horizontes sugere a existência de um sistema pedológico em equilíbrio, mas com organização vertical de horizontes que suscitam questionamentos quanto à proveniência dos materiais (se eluviais e coluviais), incluindo a possibilidade da existência de horizontes orgânicos enterrados. Dessa forma foram utilizados indicadores pedológicos aplicados à análise pedogeomorfológica, tais como descrição macromorfológica, análises granulométricas, composição química, mineralógica e teores de carbono orgânico total. Os resultados indicam que, embora macromorfológicamente, a cobertura na vertente sugerisse a presença de distintos materiais de origem, essa cobertura revelou, na verdade, um sistema pedológico em equilíbrio, onde a alteração vertical da rocha foi o principal caminho genético.

**Palavras-chave:** Pedogênese; Morfogênese; Análise pedogeomorfológica.

### ASSOCIATION BETWEEN MACROSCOPE OBSERVATION AND LABORATORIAL ANALYSIS IN THE GENETICAL STUDY OF SOILS IN QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MG

### ABSTRACT

The pedological evolution occurs through the succession and continuous, dynamics and complex interaction between the most diverse factors and processes of formation, and it's possible to rescue this evolutionary history through the soil attributes. Areas with great environmental diversity, such as Quadrilátero Ferrífero, result in a complex and rich pedological mosaic, which requires a broad and thorough approach of the interaction of landscape elements. From this perspective, this study aimed to investigate the pedological cover of a slope whose regular juxtaposition of horizons suggests the existence of a pedological system in equilibrium, however, with vertical arrangement of horizons which raise questions regarding the origin of the

---

Recebido em 03/07/2014  
Aprovado para publicação em 29/04/2015

materials (if eluvial or colluvial with pedogenesis linked to morphogenetic events). Thus, were used pedological indicators applied to pedogeomorphological analysis, such as morphological description, granulometric and mineralogical analyzes, chemical composition and levels of total organic carbon. The results indicate that, although morphologically the cover in slope suggest the presence of distinct materials, especially considering the possible presence of a buried paleosol, this coverage revealed a pedological system in equilibrium, where the vertical rock alteration was the main genetic route.

**Keywords:** Pedogenesis; Morphogenesis; Pedogeomorphological analysis.

---

## INTRODUÇÃO

A gênese e evolução do solo englobam diversos processos químicos, biológicos e físicos que durante a escala temporal atuam sobre o material de origem – que pode ser uma rocha, um depósito sedimentar, materiais orgânicos ou mesmo outro solo. Tais processos são influenciados e estão intrinsecamente associados aos demais aspectos da paisagem na qual o solo se insere, com ênfase especial às formas de relevo e às condições climáticas. A evolução de um solo, dessa forma, perfaz um contínuo, dinâmico e complexo processo de sucessão e interação entre os mais diversos fatores e processos de formação. Nessas condições, é razoável supor que o solo preserve informações referentes a estes processos e fatores, imprimindo ao longo do tempo características que estão presentes através de seus aspectos morfológicos, físicos, químicos, mineralógicos e biológicos.

Os aspectos macromorfológicos descritos em campo, em especial, são aqueles mais utilizados para o estudo dos solos porque permitem inferências reveladoras sobre sua evolução e comportamento. Isto é, a caracterização dos horizontes pedológicos, sua justaposição lateral e vertical, e de seus atributos. Tais aspectos são reflexos na paisagem dos processos pedogenéticos, sendo, justamente por isso, ponto de partida para diversos estudos pedológicos, tal como a classificação de solos. Ainda assim, tais estudos não devem se restringir aos procedimentos de campo, uma vez que a complexidade dos processos de formação em determinadas áreas condiciona o desenvolvimento de solos muito variados, difíceis de serem compreendidos apenas a partir dos aspectos macroscópicos e, por isso, passíveis de conduzirem a interpretações preliminares insuficientes, ou mesmo equivocadas.

Nesse contexto se insere o Quadrilátero Ferrífero (QF), uma importante província geográfica localizada na região central do estado de Minas Gerais, cuja diversidade geológica, geomorfológica, climática e vegetacional conduzem a um complexo e rico mosaico pedológico. A multiplicidade do quadro litoestrutural do QF está atrelada a sua evolução geológica e é responsável pelo condicionamento de muitas paisagens da região, que são formadas incluindo pacotes rochosos de idades diversas aflorando lado a lado (UHLEIN e NOCE, 2012). Por tais motivos, os perfis de solos frequentemente expostos em cortes de estradas, obras de engenharia e estudos de solos chamam atenção pela diversidade de cores e feições, revelando uma organização de horizontes que, numa perspectiva visual, sugerem perfis muito complexos e que demandam a necessidade de investigações da relação solo-paisagem mais aprofundadas.

Nessa perspectiva, considerando o interesse em contribuir com os estudos sobre as paisagens do QF, e privilegiando uma abordagem pedogeomorfológica, este estudo objetivou investigar a cobertura pedológica de uma vertente cuja justaposição regular de horizontes (da alta à baixa vertente) sugere a existência de um sistema pedológico em equilíbrio. Contudo, quando considerada a organização vertical de tais horizontes no perfil, a presença de seções de cores brunadas em profundidade suscita a presença de um paleossolo soterrado no pacote pedoestratigráfico (ou, pelo menos, de um horizonte orgânico enterrado); colocando em questionamento se a cobertura pedológica realmente seria um sistema em equilíbrio com predomínio da alteração vertical da rocha ou se seria uma cobertura formada por materiais eluviais e coluviais, com pedogênese associada a eventos morfogenéticos. Como a evolução da paisagem no QF (VARAJÃO et al., 2009) destaca um importante papel dos processos erosivos, a presença de um paleossolo soterrado por sedimentos posteriormente submetidos à pedogênese não causaria estranhamento. Entretanto, como tais observações foram reveladas

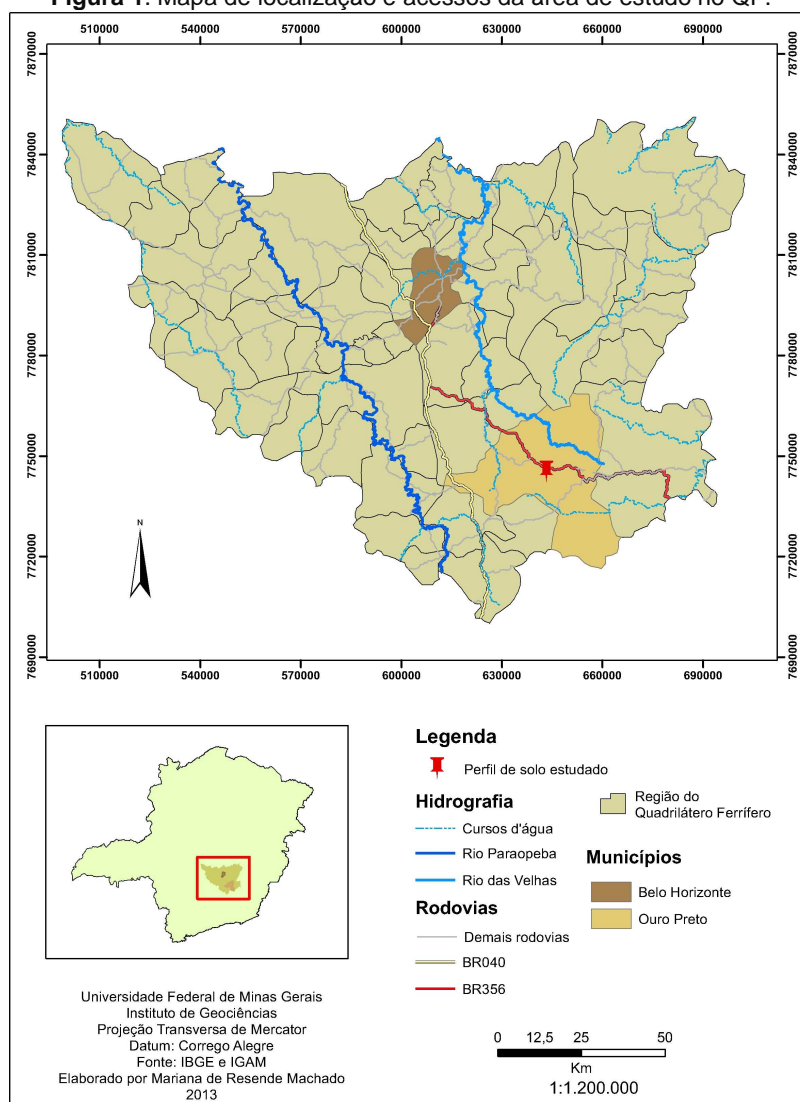
até o momento apenas por observações de campo, justifica-se a necessidade de um estudo que envolva análises laboratoriais e a busca de contextualizar a vertente e sua cobertura no contexto geomorfológico regional no qual ela se insere.

## ÁREA DE ESTUDO

A vertente, objeto de estudo deste trabalho, está inserida no QF, distrito de Rodrigo Silva, município de Ouro Preto (Figura 1). As principais vias de acesso à área, a partir de Belo Horizonte, são a BR040 e a BR356. Acessa-se por uma estrada pavimentada logo após a Ponte do Funil, saída de Cachoeira do Campo em direção ao distrito sede de Ouro Preto.

O QF apresenta posicionamento geotectônico peculiar por estar entre duas faixas móveis paralelas e parcialmente superpostas, desenvolvidas durante os eventos Transamazônico e Brasileiro (NOCE, 1995). Tal cenário é responsável pela complexidade estrutural e litológica da área, incluindo pacotes rochosos de idades diversas (UHLEIN e NOCE, 2012).

Figura 1. Mapa de localização e acessos da área de estudo no QF.



A vertente tem cavidade aberta, configurando-se como um anfiteatro. Possui como vegetação nativa o Campo Cerrado, e nas zonas com mais acúmulo de umidade, em especial junto aos cursos d'água, observa-se a presença de Matas Ciliares. Litologicamente está associada à Formação Cercadinho, do Grupo Piracicaba, que é constituída por quartzitos ferruginosos, quartzito, filito ferruginoso, filito prateado, e filito, com lentes de dolomito (DORR, 1969). No

caso específico predominam os filitos prateados. Estruturalmente, encontra-se sob domínio do Anticlinal Mariana, localizada na região Sudeste do QF, que juntamente com o domínio Sinclinal Dom Bosco, caracterizam-se como uma estruturação complexa vinculada ao Sistema de Cisalhamento Fundão-Cambotas (ENDO, 1997).

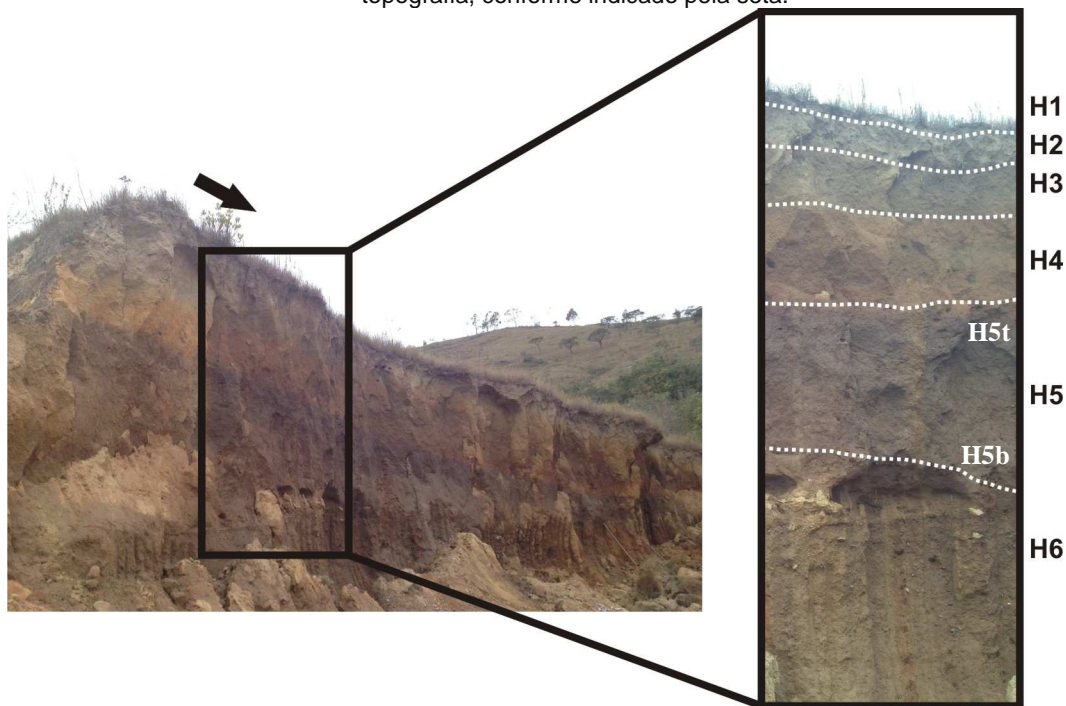
## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização deste trabalho foram utilizados indicadores pedológicos aplicados à análise pedogeomorfológica. Para tanto, priorizou-se, em um primeiro momento, a escala local (a vertente), a fim de obter dados que auxiliassem na interpretação e caracterização da cobertura pedológica. Feito isso, os resultados obtidos foram discutidos em escala regional, relacionando a evolução do contexto no qual a vertente se insere no QF, com destaque para a supracitada Anticlinal de Mariana. No primeiro caso, fez-se uma pesquisa qualitativa e quantitativa baseada na obtenção de atributos por análises laboratoriais e de campo. No segundo caso, dados e informações na literatura subsidiaram as discussões.

Foi selecionada uma única seção vertical na média-baixa vertente, aproveitando-se corte de estrada, representativa da organização da cobertura pedológica (Figura 2), já que lateralmente não foram identificadas variações nos materiais nas tradagens exploratórias. Para evitar a condução das interpretações errôneas, os volumes pedológicos foram identificados apenas pelo símbolo H, referindo-se a horizonte, e um número correspondente à ordem em que ocorrem do topo para a base no perfil. Essas medidas foram tomadas para evitar que a nomeação dos horizontes conforme o SiBCS (EMBRAPA, 2013) induzisse, de imediato, ao enquadramento do perfil baseado somente na descrição morfológica. O horizonte brunado em profundidade foi subdividido em topo e base (H5t e H5b) por ser muito espesso e por ser o horizonte de maior interesse neste estudo.

A partir de tais volumes pedológicos foi realizada sua descrição macromorfológica considerando critérios paleontológicos e pedológicos. Os critérios paleontológicos estão em conformidade com o que foi proposto por Andreis (1981) e são utilizados como diagnósticos para o reconhecimento de paleossolos, com destaque para as feições associadas às raízes. Os critérios pedológicos estão relacionados aos atributos morfológicos do solo e refletem sua gênese e evolução, tendo como referência os parâmetros expressos em Santos et al. (2013).

**Figura 2.** Aspecto geral do perfil de solo estudado. Nota-se o horizonte escurecido concordando com a topografia, conforme indicado pela seta.





Após descrição dos horizontes, foi realizada a coleta de amostras para análises da granulometria (textura), composição química, mineralogia e teores de carbono orgânico total. Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2mm, a fim de se obter a terra fina seca ao ar (TFSA). A granulometria foi obtida por peneiramento e dispersão química através do método da pipeta, conforme recomendação da Embrapa (1997), sendo os resultados, posteriormente, plotados no diagrama textural. A análise foi realizada no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais.

O Carbono orgânico total do solo foi determinado utilizando-se da oxidação via úmida, em que o C do solo é oxidado por uma solução oxidante – dicromato de potássio em meio sulfúrico, sendo o método sugerido pela Embrapa (1997). A partir dos dados de carbono orgânico é possível determinar os teores de matéria orgânica para um solo. As análises foram realizadas no Laboratório de Matéria Orgânica do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

As análises mineralógica e geoquímica foram realizadas na Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), respectivamente, por Difractometria de Raios-X (DRX) e Espectrometria de Fluorescência de Raios-X (FRX). No primeiro caso, as amostras desorientadas foram acondicionadas em um porta amostras e levadas ao Difractômetro Shimadzu modelo XRD-7000 com radiação de  $\text{CuK}\alpha$ , no intervalo de 2 a  $70^\circ 2\theta$ . Os difratogramas foram interpretados no Software X'Pert HighScore Plus e através de padrões da literatura (BRINDLEY e BROWN, 1980). No segundo caso, relacionado à análise por FRX, foi utilizado o espectrômetro da marca Shimadzu modelo EDX-720 com tubo de ródio (Rh). Tal aparelho fornece um espectro de fluorescência com os picos de energia liberada por cada elemento, que são posteriormente identificados e quantificados. Foram analisados os elementos Si, Al, Fe, K, Ti, Mn, S, Ba, Tl e Zr; todos reportados em óxidos. Tanto a mineralogia quanto a geoquímica foram realizadas no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

## RESULTADOS

### *ASPECTOS MACROMORFOLÓGICOS E TEXTURAI*

Os resultados da descrição macromorfológica e das análises granulométricas são apresentados no Quadro 1. Foram identificados seis volumes pedológicos (H1 a H6) no perfil, que juntos constituem espessura superior a cinco metros. A transição entre os horizontes ocorre, geralmente, de forma clara e plana, destacando-se as transições do H2 para o H3 e do H3 para o H4 que foram descontínuas e difusas. Vale salientar também a transição abrupta do H4 para o H5.

Entre os aspectos macromorfológicos, a variação da cor é o atributo que mais se destaca, sendo ela norteadora de questões aventadas neste estudo. A cor do H5 (bruno acinzentado escuro) depõe favoravelmente a sua caracterização como um horizonte orgânico, sobretudo se comparado aos horizontes subjacentes (Quadro 1), majoritariamente mais claros. Demais atributos, como estrutura e consistência, mantiveram-se semelhantes em todos os horizontes, inclusive no H5(t e b), predominando estrutura em blocos subangulares e consistência plástica e pegajosa.

É importante destacar a presença de pontuações escurecidas (de cor preta com porções avermelhadas) a partir do H3 (Figura 3), com notável nível de acumulação no H5. Trata-se de feições com tamanho variando de pequeno a médio e formato arredondado. A princípio, em nível macroscópico, essas pontuações sugerem a presença de carvão em grandes profundidades no perfil, já que se desfazem com certa facilidade, são leves e apresentam traço preto.

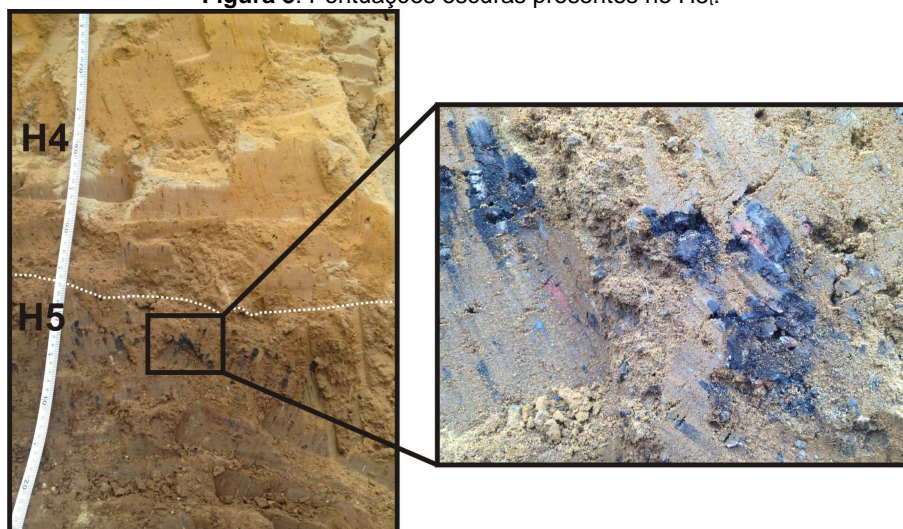
Com relação à granulometria, todos os horizontes apresentaram mais de 55% de areia, e nesta, a areia fina correspondeu à fração de maior abundância (Quadro 1). Não houve mudanças texturais significativas entre os horizontes, resultando na mesma classificação textural para todo o perfil, qual seja, textura franco arenosa. Quando a textura é caracterizada como franco, as partículas não estão em proporções iguais, mas exibem propriedades das três frações (RESENDE et al., 2007).

**Quadro 1.** Aspectos macromorfológicos e físicos (texturais) dos horizontes descritos e amostrados.

H*	Profundidade (cm)	Granulometria (mm)					Relação Silte/Argila	Classe Textural	Cor (Munsell)		Consistência			Estrutura
		< 2mm (TFSA)							Seca	Úmida	Seco	Úmido	Molhado	
		>0,5	0,5-0,25	< 2,5	0,05-0,002	<0,002								
		Areia Grossa	Areia Média	Areia Fina	Silte	Argila			dag/kg					
Perfil de solo														
H1	0-50	3,6	5,8	56,2	26,4	8,0	3,30	Franco Arenosa	10YR 6/2	7,5YR 4/2	Ligeiramente Dura	Friável	Ligeiramente plástica e pegajosa	Moderada pequena a grande grumos
H2	50-80	1,9	3,9	54,8	30,4	8,9	3,42	Franco Arenosa	2,5YR 7/3	10YR 4/3	Dura	Firme	Ligeiramente plástica e pegajosa	Moderada grande a muito grande laminar e blocos subangulares
H3	80-98	3,9	4,9	57,5	20,7	12,9	1,61	Franco Arenosa	10YR 5/6	10YR 4/6	Muito Dura	Firme	Plástica e pegajosa	Moderada grande a muito grande laminar e blocos subangulares
H4	98-140	4,0	4,2	56,0	20,2	15,0	1,35	Franco Arenosa	7,5YR 6/8	10YR 5/8	Muito Dura	Firme	Plástica e pegajosa	Moderada grandes blocos subangulares
H5 <sup>t</sup> *	140-250	6,6	3,8	51,5	21,0	17,1	1,23	Franco Arenosa	7,5YR 3/4	10YR 3/2	Ligeiramente Dura	Firme	Plástica e pegajosa	Fraca média a grandes blocos subangulares
H5 <sup>b</sup> *	250-350	7,1	4,5	54,7	26,1	12,7	2,06	Franco Arenosa	7,5YR 3/4	10YR 3/2	Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Fraca média a muito grandes blocos subangulares
H6	350-500*	1,6	2,8	51,9	31,4	12,3	2,55	Franco Arenosa	10YR 6/6	10YR 3/4	Ligeiramente Dura	Friável	Plástica e pegajosa	Fraca muito pequena a pequena blocos subangulares

H\*: Horizonte; H5<sup>t</sup>\*: topo; H5<sup>b</sup>\*: base.

**Figura 3.** Pontuações escuras presentes no H5.



Utilizada como um dos índices do grau de intemperismo do solo (EMBRAPA, 2013), a relação silte/argila apresentou para os dois horizontes superiores (H1 e H2) valores maiores que 3,3 e para os demais horizontes valores entre 1,2 e 2,5. A primeira vista, tais dados refletem o baixo intemperismo do material, sendo consensual a expectativa que solos mais jovens apresentem elevada proporção de silte em relação à argila. Faz-se, contudo, a ressalva de que o comportamento ao longo do perfil foi diferente do esperado, com valores menores em profundidade. Essa anomalia não pode ser considerada isoladamente e sugere alguma heterogeneidade no perfil, seja de materiais ou de comportamento dos processos de alteração. Assim, para se compreender com certa propriedade tal inferência é necessário se complementar o resultado da granulometria com a composição mineralógica das partículas (FERREIRA, 2010), o que será feito posteriormente.

Como apontado pela literatura (ANDREIS, 1981), a presença de raízes fossilizadas ou mesmo de canais biológicos (pedotúbulos) em profundidade é um dos critérios mais utilizados para se identificar um paleossolo. No contexto do perfil estudado, observou-se a presença de raízes até o H5t, sendo estas comuns no H1 e H2, tornando-se poucas e finas com o aumento da profundidade. As raízes encontradas no H5 são, porém, continuidade do sistema radicular dos horizontes superiores, não constituindo rizofeições fossilizadas no perfil.

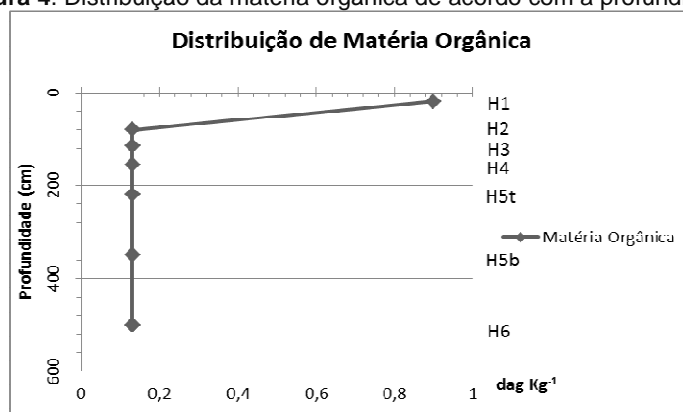
#### **MATÉRIA ORGÂNICA**

A mensuração dos teores de matéria orgânica do solo (MOS) é realizada de forma indireta pela quantificação do carbono orgânico total (COT), já que esse elemento perfaz cerca de 58% de sua composição. O teor de matéria orgânica é calculado pela expressão  $COT \times 1,724$  em  $dag \text{ Kg}^{-1}$ . Sabe-se, porém, que o teor de carbono na matéria orgânica varia de um solo para outro e dentro de mesmo perfil, geralmente decrescendo com a profundidade (RESENDE et al., 2007). Os resultados da quantificação da matéria orgânica no perfil estão apresentados na Figura 4.

O maior teor de matéria orgânica no perfil ocorre no horizonte superficial H1 ( $0,9 \text{ dag.Kg}^{-1}$ ). Contudo tal valor reflete a condição de baixa concentração para horizontes superficiais. A despeito de o solo localizar-se em região de temperaturas amenas (clima altimontano, de altitude), limitando a ação dos micro-organismos na decomposição do material orgânico e favorecendo seu acúmulo, o solo encontra-se sob domínio dos campos cerrado, com produção vegetativa relativamente baixa. Em adição, o relevo declivoso favorece o escoamento superficial da água e, conseqüentemente, o carreamento de partículas orgânicas coloidais.

Com exceção do H1, todos os horizontes apresentaram exatamente a mesma quantidade de matéria orgânica, referente a  $0,13 \text{ dag.Kg}^{-1}$  (Figura 4). As análises foram, por suspeita de erros nos resultados, repetidas duas vezes, prevalecendo o mesmo valor. Tais resultados vão de encontro com as observações em nível macroscópico, desfavorecendo a indicação de um horizonte orgânico em profundidade.

Figura 4. Distribuição da matéria orgânica de acordo com a profundidade.



### COMPOSIÇÃO QUÍMICA E MINERALOGIA

Em se tratando de QF, mais especificamente sob filitos prateados ricos em hematita da Formação Cercadinho (DORR, 1969), as altas porcentagens de ferro ao longo de todo o perfil são comuns (Tabela 1). Destaca-se que a concentração vai aumentando em profundidade, tendo maior participação na composição nos horizontes H5<sub>i</sub> e H5<sub>b</sub>, todos com cerca de 70%. O segundo elemento com maior concentração é a sílica, presente na composição de inúmeros minerais no solo. Atinge maior valor no horizonte superficial H1, com 16%, sendo o H5 com o menor conteúdo, 11,83%. Alumínio e potássio são os outros elementos que se destacam. No primeiro com teores muito próximos e variando de 8% no H1 para 6% no H4, e no segundo de 8% no H1 para 5% no H5.

Tabela 1. Composição química (% em peso) obtida por FRX dos horizontes descritos.

Horizontes	H1	H2	H3	H4	H5t	H5b	H6	Concreções - H5t
	%							
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,93	66,67	67,76	70,41	70,66	70,05	67,74	59,94
SiO <sub>2</sub>	16,08	13,96	13,59	12,92	11,83	13,52	14,20	11,69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,01	8,08	7,72	6,63	7,53	7,16	7,48	5,76
K <sub>2</sub> O	8,18	7,50	7,05	6,06	5,22	5,32	6,57	5,07
TiO <sub>2</sub>	1,95	2,28	2,39	2,46	2,17	1,77	1,57	1,23
MnO	0,73	0,64	0,48	0,25	2,00	1,55	0,95	15,01
SO <sub>2</sub>	0,61	0,40	0,58	0,53	0,44	0,51	0,52	0,46
Ba <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,88	-	-	-	-	-	0,73	0,78
Tl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33	-	-	0,33	-	-	-	-
Zr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,21	0,22	0,21	0,24	-	-	0,17	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,06	0,08	0,06

Legenda: - elementos não identificados

Analisando especificamente as pontuações de cor preta observadas no perfil e concentradas no H5<sub>i</sub>, obteve-se um elevado teor de ferro (59,94%) e de manganês, responsável por 15% da composição química total. Os resultados demonstram que não se tratam de fragmentos de carvão, mas de concreções ferromangânicas.

Tal constatação é relevante quando se observa os valores de concentração de manganês ao longo do perfil (Tabela 1 e Figura 5). Nota-se que do H1 ao H4 os teores de manganês vão decaindo, passando de 0,73% para 0,25%. No entanto, o horizonte de maior concentração das concreções perfaz também o horizonte de maior concentração de manganês, com 2% na parte

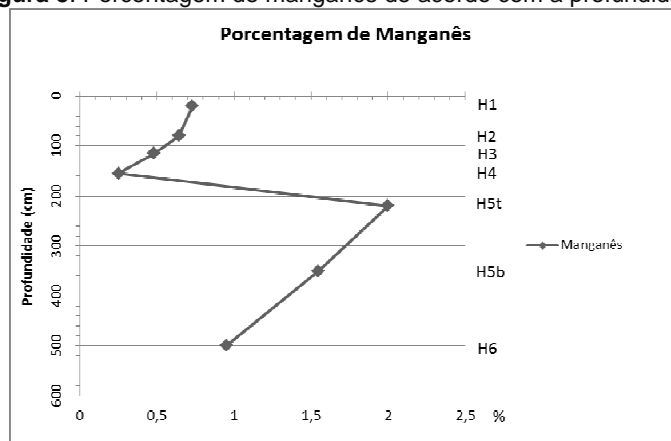


superior (H5<sub>i</sub>) e 1,5 na inferior (H5<sub>b</sub>). O horizonte subposto, H6, também se caracteriza em sequência por um conteúdo relativamente alto de manganês (0,95%).

Considerando tais resultados, realizou-se um teste puramente qualitativo para reforçar os dados revelados através da fluorescência de raios-X. Separou-se cada amostra dos horizontes (H1-H6) e uma concreção do H5, e através de um conta-gotas adicionou-se algumas gotas de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) em concentração de 20 volumes (SANTOS et al., 2013). O peróxido de hidrogênio tem um alto poder oxidativo, reagindo com efervescência em processo exotérmico à presença de manganês. Tal efervescência pode ser: (a) ligeira: efervescência fraca, somente ouvida; (b) forte: a efervescência já é mais forte e visível, entretanto sem a ruptura dos agregados; e por fim (c) muito forte: efervescência muito forte, chegando a ruptura dos agregados (SANTOS et al., 2013).

Notou-se que para o H1 a efervescência foi forte, enquanto em H2 e H3 a efervescência foi ligeira. No H4 a efervescência foi muito sutil, quase imperceptível. No H5 em compensação, a efervescência foi muito forte, assim como para H6, perceptível até pelo superaquecimento do recipiente. Nas concreções ferromanganosas, a efervescência foi extremamente forte. Notou-se para as amostras H5<sub>t</sub>, H5<sub>b</sub> e H6 a ruptura total dos agregados e concreções em decorrência do teste.

**Figura 5.** Porcentagem de manganês de acordo com a profundidade.



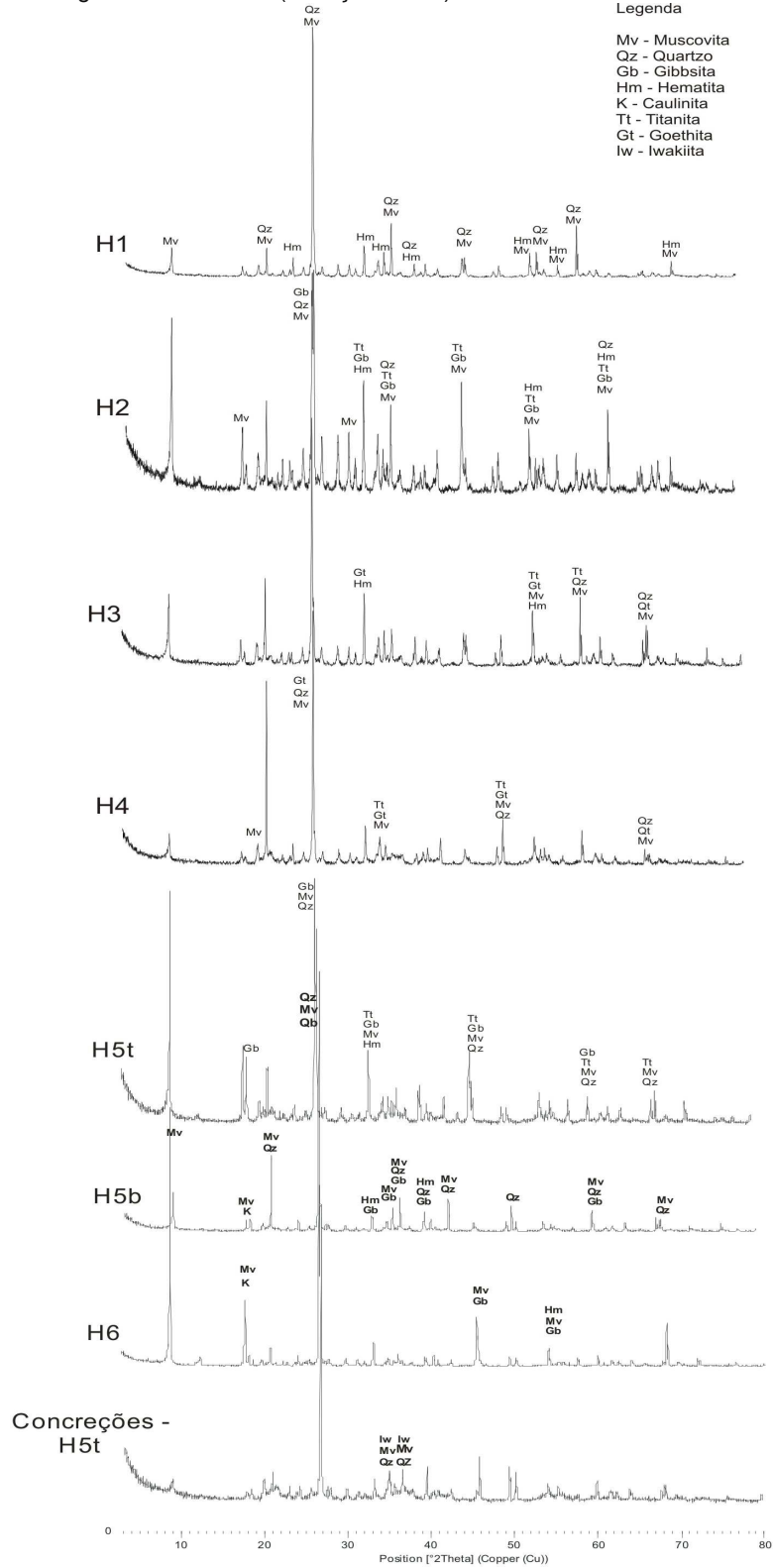
Com relação à interpretação dos difratogramas (Figura 6), foram identificados oito minerais distintos, quais sejam: quartzo; muscovita; hematita; caulinita; gibbsita; goethita; titanita e iwakiita. Dentre eles, a Iwakiita foi o único óxido de manganês identificado e apenas nas concreções do H5.

O quartzo é um dos minerais mais abundantes da crosta terrestre e ocorre como constituinte essencial de várias rochas sejam elas ígneas, metamórficas ou sedimentares. É um mineral extremamente resistente à ação do intemperismo, o que lhe garante a característica de ser um dos principais componentes dos solos, principalmente na composição das frações mais grosseiras. A estrutura dos cristais de quartzo contribui para maior contagem de reflexões, aumentando, assim, a intensidade dos seus picos de difração em relação às demais fases cristalinas presentes. Isso pode fazer com que os argilominerais sejam menos perceptíveis em análises de TFSA, mesmo que ocorram em quantidade significativa na amostra. Esse parece ter sido o caso dos resultados aqui apresentados.

A muscovita é um mineral pertencente à família das micas, ocorrendo em grande variedade de condições geológicas. Sua forma micácea de finíssimas escamas associada a sua composição química a tornam muito estável, quase tanto quanto o quartzo (BIGARELLA et al., 2007). Apesar das rochas ígneas serem a principal fonte de micas na superfície, durante o metamorfismo e a diagênese as micas podem ser transformadas ou formar-se por regeneração de filossilicatos degradados, assim como por crescimento autigênico. Nessa perspectiva existe correlação positiva entre o teor de mica dos solos e o seu material de origem, em que solos originados de filitos, por exemplo, como é o caso da cobertura em estudo, podem conter minerais micáceos em quantidades significativas (KÄMPF et al., 2009). Segundo os mesmos autores, as micas são os minerais com maior capacidade de oferecer potássio quando do seu

intemperismo, o que justifica a porcentagem desse elemento na análise química (Tabela 1). A presença desses teores de potássio é também um indicativo de um menor grau de alteração, já que com o avanço do intemperismo ele tende a ser lixiviado. É provável que a caulinita identificada nos horizontes esteja associada à alteração das muscovitas.

**Figura 6.** Difratogramas de raios-X (radiação CuK $\alpha$ ) referentes aos horizontes e concreções.



Associada a coloração avermelhada ou amarelada dos horizontes de solo, a presença dos óxidos de ferro nos difratogramas já era esperada, também justificada pelos altos teores de ferro ao longo do perfil. A oxidação/redução corresponde a uma das principais reações provenientes do intemperismo químico, pois através da penetração da água no material, com oxigênio dissolvido, a oxidação processa-se principalmente nos primeiros metros superficiais (RESENDE et al., 2007). O oxigênio reage com os minerais contendo ferro, manganês e enxofre na estrutura. No caso dos óxidos de Ferro, o  $Fe^{2+}$  presente na estrutura de minerais primários, oxida para  $Fe^{3+}$  precipitando como óxidos e oxihidróxidos, representados principalmente por goethita e hematita que frequentemente ocorrem associadas (KÄMPF et al., 2009). Destaca-se a influência da goethita na coloração dos horizontes H3 e H4. Ademais, é importante citar a presença de gibbsita em algumas amostras, como H2, H5t, H5b e H6, sendo um indicativo de que, embora ainda incipiente esse solo possa estar, em algumas porções, evoluindo mineralogicamente; já que se trata de um mineral ausente na rocha de origem e cuja gênese está associada ao intemperismo direto da muscovita (não parece ser o caso) ou à perda de sílica por parte da caulinita.

## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelas caracterizações física (textural), química e mineralógica revelaram aspectos importantes a serem considerados em associação com as especulações conjecturadas em nível macroscópico. A partir disso, algumas discussões podem ser feitas.

Em primeiro lugar, a textura de um solo depende do material de origem e do grau de intemperismo deste. Caso a cobertura em questão fosse constituída por materiais autóctones e alóctones, esperava-se que os resultados texturais sugerissem diferentes classes no contato entre as diferentes cores. O que se observou, no entanto, foi a similaridade entre as quantidades das frações granulométricas ao longo do perfil. A relação silte/argila, embora tenha apontado para o baixo grau de intemperismo de todo o perfil, apresentou anomalia (menores valores em maiores profundidades) que permite supor a existência de materiais diferentes. Contudo, ao invés da presença de um paleossolo na base e colúvios pedogeneizados na porção superior, os menores valores em subsuperfície sugerem que a alteração da rocha foi mais intensa em profundidade, sobretudo em níveis que podem representar variações faciológicas ou composicionais da rocha.

As análises mineralógicas e geoquímicas tornaram possível compreender com maior propriedade o material constituinte do solo. Esperava-se que a correlação dos tipos minerais presentes nos horizontes e sua distribuição ao longo do perfil apontassem para a evolução dos diferentes horizontes a partir de alteração de material alóctone e autóctone. Os resultados, contudo, refletem uma condição oposta. Tanto a distribuição dos elementos químicos, quanto os tipos mineralógicos sugeriam que a evolução do perfil se deu a partir de mesmo material de origem, contendo, porém, variações composicionais. Essas variações explicam, tanto mineralogicamente, quanto geoquimicamente, as diferenças de cores.

Os dados de matéria orgânica sustentaram tais constatações. Em geral, as cores dos horizontes em paleossolos dependem de suas condições originais de drenagem e consequentemente da oxidação dos materiais constituintes e da matéria orgânica. Entretanto, em sua maioria, estão associados às cores marrom e cinza escuro a marrom avermelhado (ANDREIS, 1981). Esperava-se que os dados de matéria orgânica refletissem o aumento dos teores em profundidade, ou no mínimo uma anomalia nos valores entre os horizontes. No entanto, à exceção do H1, todos os outros horizontes tiveram a mesma quantidade de matéria orgânica, incluindo o H5.

Conforme Resende et al. (2007), apesar da matéria orgânica ter forte relação com cores escuras, é frequente tal afirmativa se comprovar errônea. E foi exatamente o que os resultados comprovaram. A composição química total revelou que as pontuações escuras concentradas no H5 correspondiam a concreções ferromangânicas. Ademais, é no H5 que o teor de manganês quadruplica em relação ao H4 (passando de 0,25% para 2%). Óxidos de manganês possuem significativa influência nas propriedades físicas e químicas de um solo, e assim como o ferro, tem grande poder de pigmentação, aderindo uma cor mais brunada ou acinzentada ao mesmo.

Geralmente de origem autigênica, os óxidos de manganês são formados pela precipitação química ou bioquímica através da cristalização de colóides desorganizados, podendo ocorrer nos solos como partículas dispersas, ou formando concreções ou nódulos. Apesar de ocorrerem geralmente em pequena proporção, no contexto do QF, a influência do material de origem na formação dos solos garante elevados teores de óxidos de manganês aos mesmos (CARVALHO FILHO et al., 2011). Vale acrescentar que a cobertura pedológica encontra-se sob domínio de filitos prateados da Formação Cercadinho. Sua constituição rica em micas e em hematita, orientados paralelamente à foliação, explica a presença de muscovita e os óxidos de ferro na constituição mineralógica do perfil de solo. A ocorrência de vários minerais epigenéticos está relacionada também à composição destes filitos, estando entre eles os óxidos de manganês (DORR, 1969).

Como destacaram Carvalho Filho et al. (2011), a mineralogia variada e complexa associada à baixa cristalinidade desses minerais de manganês dificultam a sua caracterização. Nessa perspectiva, a baixa detecção de tais óxidos ao longo do perfil através da difratometria da TFSA está associada à baixa cristalinidade do mineral e ao provável maior destaque do quartzo e da muscovita na difração. Para maior valorização da presença destes óxidos seria necessário fazer a difratometria na fração argila e tratamentos geoquímicos específicos.

O fato é que a evolução do perfil estudado parece estar relacionada à alteração deste filito prateado, que contém, naturalmente, variações composicionais, incluindo níveis ferromanganosos. O avanço do *front* de alteração por sobre esse nível resulta na geração de uma fácies de alteração (horizonte no sentido pedológico) que possui cor brunada semelhante a um horizonte orgânico. Essa alteração tem ocasionado também o concrecionamento a partir de processos oxidativos, revelando a tendência natural de tais óxidos de serem susceptíveis às acumulações em nódulos e concreções (CARVALHO FILHO et al., 2011). A formação de concreções representa uma etapa posterior ao processo de alteração isovolumétrica da rocha, confirmando que nestes níveis ferromanganosos da rocha o avanço da alteração parece ter sido maior.

Em termos taxonômicos, infere-se que tal perfil pode ser classificado como Neossolo Regolítico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013). O H1 se caracteriza como o horizonte A do perfil e os demais como horizontes C. H2 e H3 demonstraram-se muito semelhantes em todos os atributos e parecem corresponder a um mesmo horizonte saprolítico. Os horizontes H4, H5 e H6 deixam ainda mais claras as marcas da xistosidade e variações composicionais da rocha.

Considerando a inserção deste perfil na paisagem na qual ele ocorre, chama atenção a disposição dos horizontes em relação à vertente. Todos os horizontes concordam com a topografia. Além do forte controle sobre os atributos da cobertura em questão, a litologia parece influenciar na configuração da vertente. Com forte orientação estrutural, a inclinação da vertente concorda com o mergulho NS típico das rochas dobradas da Anticlinal de Mariana.

Nesses termos, a cobertura pedológica em questão representaria o aprofundamento do manto de alteração controlado por esse mergulho e influenciado pela variação faciológica e composicional da rocha. Esse aprofundamento da alteração, por sua vez, estaria associado a uma possível mudança no nível de base local, uma vez que próximo à vertente em estudo localiza-se a garganta epigênica do Fecho do Funil (PENTEADO, 1983). Esse *gap* tem sua gênese ligada à abertura do vale anticlinal do Rio das Velhas. O reentalhe erosivo desenvolveu uma rede de vales paralelos às dobras, esvaziando determinadas porções da Anticlinal e expondo rochas mais profundas. Além de expor os filitos, a abertura desses vales parece ter modificado as condições da dinâmica hidrológica e impulsionado o fluxo vertical possivelmente orientado pela xistosidade da rocha, gerando a cobertura observada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados levam a considerar que, embora macromorfológicamente, a cobertura na vertente analisada sugerisse a presença de distintos materiais de origem, sobretudo considerando fontes autóctones e alóctones evidenciadas pela presença de um possível paleossolo ou horizonte orgânico enterrado, essa cobertura revelou, na verdade, um sistema pedológico em equilíbrio, onde a alteração vertical da rocha foi o principal caminho genético.

Nesse sentido, as diferenciações verticais observadas, destacadas pelas cores, são, na verdade, a demonstração da influência litológica e, conseqüentemente, de suas variações composicionais, reiterando o importante papel que a geologia possui na evolução da paisagem no QF.

A relação da evolução da cobertura pedológica com a própria vertente é interessante no que concerne a concepção ultrapassada de antagonismo entre a atuação da pedogênese na formação do solo e da morfogênese no modelamento do relevo. Pensando no solo como resultado da alteração do arcabouço litológico, tendo a pedogênese e a morfogênese atuando simultaneamente, foi possível compreender a relação entre tais fatores.

Por fim, vale destacar a importância que os dados laboratoriais tiveram em associação com as observações de campo. A cobertura pedológica pode conter por meio de seus atributos físicos, químicos, mineralógicos e morfológicos (tanto macro quanto micro), importantes registros da evolução da paisagem e, por isso, deve ser objeto de investigação integrada ao relevo, à cobertura vegetal, às características e condicionantes climáticos e, da mesma maneira, ao contexto geológico da área de estudo. Sendo assim, áreas muito complexas de serem estudadas, como o QF, podem ter suas paisagens destrinchadas, compreendidas, protegidas e sustentavelmente ocupadas.

## REFERÊNCIAS

- ANDREIS, R.R. **Identificación e importancia geológica de los Paleosuelos**. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 67p, 1981.
- BIGARELA, J.J.; BECKER, R.D.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais** – Intemperismo biológico, pedogênese, laterização, bauxitização e concreções de bens minerais. Vol. 3, 2 ed., Florianópolis: Ed da UFSC, 2007.
- BRINDLEY, G.W.; BROWN, G. **Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification** (Monograph 5). Min. Soc., London, 495 p. 1980.
- CARVALHO FILHO, A.; CURI, N.; MARQUES, J.J.G.S.M.; SHINZATO, E.; FREITAS, D.A.F.; ALVARENGA DE JESUS, E.; MASSAHUD, R.T.R. Óxidos de Manganês em solos do Quadrilátero Ferrífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35: 793-804, 2011.
- DORR II, J.V.N. **Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil**. Washington, U.S. Geological Survey (Professional Paper 641A), 110 p., 1969.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 212p. 1997.
- \_\_\_\_\_. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. rev. ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 353p. 2013.
- ENDO, I. **Regimes tectônicos do arqueano e proterozóico no interior da placa sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 243p.1997.
- FERREIRA, M.M. Caracterização Física do Solo. In: JONG VAN LIER. Q. (ed.) **Física do solo**. – Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-27. 2010.
- KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, R.F. (ed.) **Química e Mineralogia do solo I**. Viçosa: SBCS, p.334:379, 2009.
- NOCE, C.M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do QF, Minas Gerais**. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 128p.1995.
- PENTEADO, M.M. **Fundamentos de Geomorfologia**, 3ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 186p. 1983.
- RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5. ed. rev., Lavras: Editora UFLA, 322p. 2007.



SANTOS, R. D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. Ed. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/ SNLCS, 91p. 2013.

UHLEIN, A.; NOCE, C.M. Quadrilátero Ferrífero. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A., (org.) **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca, p.228-235, 2012.

VARAJÃO, C.A.C., SALGADO, A.A.R., VARAJÃO, A.F.D.C., BRAUCHER, R., COLIN, F., NALINI JR., H.A. Estudo da evolução da paisagem do Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10Be) e da pedogênese. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33, Pp. 1409-1425. 2009.