



XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo

“EDUCAR para PRESERVAR el suelo y conservar la vida en La Tierra”

Cusco – Perú, del 9 al 15 de Noviembre del 2014
Centro de Convenciones de la Municipalidad del Cusco

SOLOS FERRUGINOSOS EM ÁREAS DE CANGA, SINCLINAL DO GANDARELA, QUADRILÁTERO FERRÍFERO (MG)

Reis, J. S.^{1*}; Lopes, I. R.¹; Schaefer, C. E. G. R.¹; Ker, J. C.¹; Carvalho Filho, A.²; Senra, E. O.¹

¹ – Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa;

² – Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Embrapa Solos;

RESUMO

O presente trabalho visa contribuir na caracterização de solos relacionados a áreas de canga (*ferricrete*, *ironstone*) no Quadrilátero Ferrífero (Minas Gerais, Brasil), para melhor entendimento sobre seus processos de gênese e da dinâmica ambiental desses ecossistemas. A Sinclinal do Gandarela abriga as maiores extensões de canga e ecossistemas relacionados preservados em Minas Gerais, e constitui importante local de recarga dos mananciais que abastecem a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Foram descritos, coletados e analisados 6 perfis de solo, sob diferentes fitofisionomias, ocorrendo numa sequência de topos da serra do Gandarela, sobre a mesma litologia (itabiritos da Fm. Cauê – Gr. Itabira). Em laboratório foi separada a fração terra fina (< 2 mm) e quantificados a composição granulométrica, pH em água, complexo sortivo, carbono orgânico, e óxidos de ferro, alumínio e silício pelo ataque sulfúrico. Todos os solos estudados são argilosos, de cores vermelhas, com teores muito elevados de óxidos de ferro indicados pelo ataque sulfúrico, distróficos ou álicos, com altos teores de carbono orgânico, e ocorrência expressiva de concreções ferruginosas na fração grosseira, em geral em proporção superior a 50% em volume. A matéria orgânica constitui elemento chave na manutenção e ciclagem de nutrientes nos ecossistemas relacionados aos solos estudados. Todos os solos estudados são classificados como Oxisols pela Soil Taxonomy, mas de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, alguns enquadram-se como Latossolos e outros como Plintossolos. O enquadramento taxonômico segundo critérios atuais do SiBCS restringe sua utilização como estratificador ambiental na realidade estudada.

PALAVRAS-CHAVE: canga laterítica; solos concrecionários; óxidos de ferro

INTRODUÇÃO

A canga (*laterita*, *ferricrete*, *ironstone*, entre outros) constitui substrato com características particulares em relação à formação de solos e desenvolvimento de plantas. São formações originadas devido à concentração de compostos ferruginosos soldando materiais diversos, como resultado da atuação intensa de fatores climáticos sobre o material geológico, que guardam

*Autor de contato. E-mail: joaosantiagor@gmail.com. Av. P.H. Rolfs, s/n, Viçosa-MG, Brasil. CEP: 36570-000. Tel.: +553171229954

evidências de oscilações climáticas pretéritas. Consideradas por alguns como paleossolos, em função de sua origem poligenética, em geral ocorrem em paisagens de caráter residual. Tais formações são comumente encontradas capeando substratos geológicos ricos em ferro (formações de ferro bandeadas), que no Brasil ocorrem principalmente nas regiões do Quadrilátero Ferrífero (MG), Carajás (PA) e Urucum (MS).

O Quadrilátero Ferrífero constitui uma província geológica reconhecida internacionalmente por sua riqueza mineral, assim como pela abundância de minério de ferro. A Formação Cauê, constituinte do Grupo Itabira, é a principal fonte de ferro regional e molda o relevo com suas serras dispostas em um polígono de formato aproximadamente quadrangular, que dá nome à região. Uma dessas serras é a Sinclinal do Gandarela, alçada ao topo da paisagem devido à maior resistência de suas litologias em relação às rochas adjacentes, ao longo de intensa fase erosiva cenozóica, num ilustrativo processo de inversão de relevo. Os solos formados sobre esses substratos são considerados poligenéticos, pois são resultado da atuação de diferentes períodos climáticos ao longo do tempo geológico, que contam com fases em que prevalece a morfogênese (períodos secos) e outras em que prevalece a pedogênese (períodos úmidos). Pela sua pequena extensão de ocorrência no território brasileiro e inviabilidade de aproveitamento agrícola, são solos ainda pouco estudados e alguns dos processos específicos relacionados à sua gênese ainda pouco conhecidos. O objetivo deste trabalho é a caracterização de solos relacionados a áreas com extenso recobrimento de canga no Quadrilátero Ferrífero, visando melhor compreensão sobre sua formação e classificação, assim como sua interação com o ecossistema no qual está inserido.

MATERIAL E MÉTODOS

A Sinclinal do Gandarela, também conhecida como Serra do Gandarela, constitui o divisor de águas de duas importantes bacias hidrográficas brasileiras: a vertente ocidental drena águas para o rio São Francisco, enquanto a vertente oriental alimenta a bacia do rio Doce. Situa-se em zona de transição entre os biomas do Cerrado e da Mata Atlântica, sob clima do tipo Cwa (Köppen), e precipitação média anual entre 1300 mm e 1400 mm. Com altitudes de até 1800 m, o topo da serra do Gandarela se caracteriza por sua conformação abaulada, constituído em grande parte por uma camada de canga exposta, soldando material itabirítico da formação Cauê, com recobrimento de vegetação arbustiva esparsa característica, à qual se entremeiam áreas sob densas formações vegetais (de porte arbustivo a florestal), em contraste bem marcado.

Para se avaliar as diferentes condições pedológicas desse ambiente e possível relação dos solos com a carapaça de canga, foram descritos e coletados 6 perfis de solo (P1 a P6), sob diferentes fitofisionomias, numa sequência de topos, na aba ocidental da Sinclinal do Gandarela. A designação de horizontes seguiu os critérios definidos em Embrapa (1988) e a classificação dos solos foi realizada de acordo como o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS; EMBRAPA, 2013), e pela Soil Taxonomy (USDA, 2014). Todos os perfis ocorrem em áreas com presença de vegetação densa (arbustiva ou florestal), entremeadas à carapaça de canga exposta que recobre as partes altas da serra, resultado da alteração de itabiritos da Formação Cauê (Grupo Itabira, Supergrupo Minas). Em posição de topo foram coletados os perfis P3 (arbustal – 1613 m), em declive suave, e P5 (capão florestal baixo – 1588 m), este em área plana na borda do platô. Já os perfis P1 (1523 m), P2 (1548 m), P4 (1554 m) e P6 (1539 m) encontram-se em áreas deprimidas entre os topos locais, que sustentam vegetações florestais mais altas e densas.

As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, para obtenção de terra fina seca ao ar (TFSA), submetidas a análises físicas e químicas conforme Embrapa (2011). Foram quantificados: pH em água e em KCl 1 mol.L⁻¹; Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis; teores de P, K⁺, e Na⁺, carbono orgânico total (COT) através de oxidação da matéria orgânica por via úmida;

acidez potencial (H + Al) pelo método do acetato de cálcio a pH 7; composição granulométrica; densidade de partículas; e teores de ferro (Fe), alumínio (Al) e silício (Si) pelo ataque sulfúrico. Desses resultados, foram calculados a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC - T), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), e óxidos de Fe, Al e Si, e respectivas relações moleculares: índices Ki ($1,7 \times \text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) e Kr ($(\text{SiO}_2/0,6)/[(\text{Al}_2\text{O}_3/1,02) + (\text{Fe}_2\text{O}_3/1,6)]$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os solos estudados apresentam cores vermelho-escuras em toda a extensão dos perfis, nos matizes 10R e 2.5YR, com valor pouco variável em profundidade, entre 2.5 e 4, e croma entre 2 e 6 (Tabela 1). A terra fina (< 2 mm) apresenta estrutura granular fortemente desenvolvida, de tamanho muito pequeno e pequeno, e forte atração ao magneto (imã), em razão da presença de magnetita na fração areia e maghemita na fração argila (CARVALHO FILHO, 2008). Todos os perfis, sem exceção, contam com abundância de material grosseiro (calhaus e cascalhos), referente a concreções ferruginosas (canga) em diferentes estágios de degradação, que correspondem a mais da metade do volume dos horizontes B. Os perfis P5 e P6 apresentam pequena profundidade, com material terroso entremeado a concreções ferruginosas em contato com camada contínua de canga que ocorre a menos de 100 cm de profundidade, enquanto no restante dos solos o horizonte B estende-se a profundidades maiores que 150 cm. Característica notável relacionada à morfologia é a boa condição de drenagem dos perfis amostrados, classificados como acentuadamente drenados.

Tabela 1. Características físicas e morfológicas dos solos estudados.

Hor. ⁽¹⁾	Prof. cm	Casc. %	Areia	Silte g/kg	Argila	Estrutura ⁽²⁾	Cor	Dp g/cm ³
P1 - Latossolo Vermelho Perférico típico / Rhodic Haplustox								
Ac	0 - 8	-	310	180	510	fo. peq. gran	2,5YR (2.5/3)	2,50
Bwc	45 - 150 ⁺	61,1	210	140	650	mod. mpeq. gran.	10R (3/6)	3,04
P2 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox								
Ac	0 - 18	25,0	380	150	470	fo. peq. gran	2,5YR (2.5/3)	2,78
Bwc	35 - 150 ⁺	65,0	440	90	470	fo. mpeq. gran.	10R (3/6)	3,12
P3 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox								
Ac	0 - 5/8	45,0	450	130	420	mod. peq. gran.	2,5 YR (2.5/2)	3,09
Bwc	20 - 150 ⁺	69,0	350	160	490	mod. mpeq. gran.	2,5 YR (3/6)	3,44
P4 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox								
Ac	0 - 10/15	25,0	530	100	370	mod. peq. gran.	2,5YR (2.5/3)	3,13
Bwc	15 - 150 ⁺	64,7	450	100	450	fo. mpeq. gran	10R (4/6)	3,36
P5 – Latossolo Vermelho Perférico típico / Petroferric Haplustox								
Ac	0 - 3	-	410	130	460	mod. peq. gran.	2,5YR (2.5/3)	3,09
Bwc₁	3 - 35	27,9	460	120	420	fo. mpeq. gran	2,5YR (2.5/4)	3,24
Bwc₂	35 - 60	67,9	470	120	410	fo. mpeq. gran	2,5YR (3/6)	4,47
P6 – Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico / Petroferric Acrustox								
O	20 - 0	35,0	450	150	400	mod. peq. gran.	2,5YR (2.5/2)	2,22
Ac	0 - 8	68,2	300	160	540	fo. peq. gran	2,5YR (3/6)	2,71
Bwc	8 - 70/90	72,7	330	150	520	fo. mpeq. gran.	10R (4/6)	2,78

⁽¹⁾ Hor.: horizonte; Prof.: profundidade; Casc.: cascalhos e calhaus (quantificação por volume); Dp: densidade de partículas; ⁽²⁾ Estutura: fo.= forte; mod.= moderada; peq.= pequena; mpeq.= muito pequena; gran.= granular.

A textura varia de argilosa a muito argilosa, em geral com inexpressivo aumento do teor de de argila em profundidade, confirmando o pequeno gradiente textural observado em campo.

Todos os perfis apresentam teor médio de argila acima de 410 g/kg. Os teores de areia também são elevados, com valores médios superiores a 360 g/kg. Os teores de silte são os que menos variam entre os perfis, com médias entre 100 g/kg e 160 g/kg; mas podem estar superestimados em razão da elevada concentração de óxidos de ferro, que dificultam o processo de dispersão do solo. Além disso, a julgar pelos valores elevados de densidade de partículas (D_p), a maior densidade da fração argila em relação a outros solos em geral pode resultar em tempo de sedimentação inferior ao valor médio considerado na determinação pelo método da pipeta (EMBRAPA, 2011).

Os valores de pH em água indicam acidez elevada a média (Tabela 2). Todas as amostras apresentam Δ pH negativo, evidenciando a predominância de cargas eletronegativas. O caráter eletronegativo de solos oxidícos (alto ponto de carga zero) pode ser explicado pelos elevados teores de carbono orgânico total (COT), que variam de 12,0 a 138,6 g/kg. É digno de nota a concentração de matéria orgânica nos horizontes superficiais de alguns solos, que no caso do P6 é suficiente para o reconhecimento de horizonte O, designação indicativa de material de constituição essencialmente orgânica (EMBRAPA, 1988). Também os horizontes B apresentam, relativamente, altos teores de COT e correlação positiva com a CTC (T), fato que reforça a participação da matéria orgânica como principal fonte de cargas negativas nos solos estudados. A elevada acidez ($H^+ + Al^{3+}$) do complexo de troca está igualmente correlacionada aos teores de COT, com saturação por alumínio (m%) superior a 50% (caráter álico) nos horizontes superficiais. Os teores de alumínio trocável tendem a diminuir em profundidade, estando mesmo ausente nos horizontes inferiores de alguns solos (P3 e P6), mas a saturação por bases permanece em níveis muito baixos, inferiores a 10%, evidenciando distrofismo acentuado. A soma de bases (SB) é também muito baixa, assim como o fósforo disponível (P), com valores um pouco maiores nos horizontes superficiais. Esse fato evidencia a contribuição da vegetação, e da matéria orgânica oriunda dela, na ciclagem e manutenção de nutrientes no sistema.

Tabela 2. Características químicas dos solos estudados.

Hor.	pH		SB	Al^{3+}	H + Al	T	P	V	m	COT
	H ₂ O	KCl								
P1 - Latossolo Vermelho Perférico típico / Rhodic Haplustox										
Ac	5,0	4,3	1,04	1,64	21,0	22	6,2	4	61	48,7
Bwc	5,4	4,8	0,54	0,10	7,0	7,54	1,3	7	15	17,2
P2 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox										
Ac	4,4	4,3	0,82	1,06	20,8	21,6	3,6	3	56	88,0
Bwc	5,3	4,9	0,51	0,10	6,8	7,31	1,0	7	16	12,7
P3 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox										
Ac	4,6	4,1	1,11	1,35	19,2	20,3	2,9	5	54	63,6
Bwc	5,4	4,9	0,45	0	6,7	7,15	1,2	6	0	14,9
P4 – Plintossolo Pétrico Concrecionário latossólico / Rhodic Haplustox										
Ac	4,8	4,5	0,51	1,25	18,6	19,1	4,0	2	71	48,7
Bwc	5,3	4,6	0,52	0,58	11,9	12,4	2,1	4	52	31,8
P5 – Latossolo Vermelho Perférico típico / Petroferric Haplustox										
Ac	4,7	4,1	0,55	1,45	18,1	18,7	3,2	2	72	41,1
Bwc₁	5,1	4,4	0,6	0,67	14,2	14,8	2,4	4	52	37,4
Bwc₂	5,5	4,6	0,6	0,39	9,9	10,5	1,3	5	39	22,5
P6 – Plintossolo Pétrico Concrecionário êndico / Petroferric Acrustox										
O	5,2	4,5	1,51	0,87	20,0	21,5	3,5	7	36	138,6
Ac	5,3	4,7	0,67	0,58	11,9	12,6	2,3	5	46	50,5
Bwc	5,4	5,1	0,62	0	5,4	6,02	1,1	10	0	12,0

Os resultados do ataque sulfúrico indicam a constituição predominantemente oxidica, com teores de Fe_2O_3 muito elevados, variando de 413 g/kg a 621 g/kg (Tabela 3), superiores ao limite estabelecido (360 g/kg) para distinção de caráter perférrico pelo SiBCS (EMBRAPA, 2013). Tal condição reflete a composição química do material de origem, relacionado a produto residual de alteração dos itabiritos, que têm altas concentrações de Fe. Os teores de SiO_2 , por outro lado, são muito baixos, o que sugere a evolução sob condições ambientais pouco favoráveis à formação e manutenção de argilominerais silicatados. A maior parte dos teores de Al_2O_3 deve corresponder à presença de gibbsita, mas a correlação significativa ($r = 0,89$) com SiO_2 parece indicar provável presença de caulinita, ainda que em quantidades muito reduzidas. Típicos de solos oxidicos, os índices Ki e Kr são muito baixos, e estão dentro da faixa de valores encontrados para solos ferruginosos do Quadrilátero Ferrífero (COSTA, 2003; CARVALHO FILHO, 2008). Nesse caso, esses índices não devem ser usados como parâmetro para avaliação do grau de desenvolvimento pedogenético dos solos (KER, 1997), pois seus baixos valores são resultado da reduzida concentração de Si e Al em relação ao Fe no próprio material de origem. Desse modo, a riqueza em ferro do material originário por si só condiciona a formação generalizada de óxidos e óxi-hidróxidos de ferro (CORNELL & SCHWERTMANN, 2003).

Tabela 3. Teor de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico em horizontes selecionados.

Hor.	Fe_2O_3	Al_2O_3 g/kg	SiO_2	Ki	Kr
P1 - Bwc	413	282	36	0,22	0,11
P2 - Bwc	511	215	9	0,08	0,03
P3 - Bwc	500	183	2	0,02	0,01
P4 - Bwc	621	152	2	0,03	0,01
P5 - Bwc₁	587	162	7	0,08	0,02

O material grosseiro (calhaus e cascalhos) encontrado nos perfis, constituído predominantemente por nódulos e concreções ferruginosas, sugere relação com a carapaça ferruginosa adjacente, que recobre o topo da serra, como fonte de material de solo. Os solos estudados, à exceção de P3 e P5, situam-se em posições topográficas inferiores, alguns em rampas de colúvio estabilizadas, mais ou menos declivosas. Nessas condições, tendem a receber materiais de áreas mais altas por força da ação erosiva. Para esse processo colabora a atividade de térmitas, agentes de pedobioturbação nas áreas de canga, cujos ninhos, esparsos por toda a superfície, concentram material fino retirado de camadas mais profundas, que é progressivamente remobilizado rampa abaixo, acumulando-se nas partes recobertas pela vegetação.

Se por um lado os teores de ferro indicam estreita relação com as rochas itabiríticas subjacentes, a abundância de concreções na constituição dos solos estudados não permite inferência tão segura quanto à sua origem a partir da alteração e desmantelamento de camada de canga pré-existente. A este respeito, a presença de muitas concreções de constituição maciça, e em alguns casos com formato sugerindo estrutura prismática, ao lado da ocorrência inexpressiva de fragmentos de rocha soldados por matriz ferruginosa, que são amplamente dominantes nas áreas de canga expostas, parece indicar para alguns dos solos estudados uma evolução a partir de antigo material pedogenizado, em ambiente distinto das áreas adjacentes com a carapaça de canga. No entanto, esta é ainda uma questão em aberto, que requer estudos mais aprofundados para sua elucidação.

Do ponto de vista taxonômico, as características dos solos estudados suscitam também algumas questões relevantes. Apesar da constituição esquelética, os horizontes subsuperficiais atendem os requisitos distintivos de horizonte óxico (*oxic horizon*), conforme a Soil Taxonomy

(USDA, 2014), assim como de horizonte B latossólico (EMBRAPA, 2013). No entanto, em que pese as características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas típicas deste horizonte diagnóstico, a presença em alguns solos de quantidades elevadas (superior a 50%) de material grosseiro na forma de concreções, leva ao reconhecimento de horizonte concrecionário, que tem precedência taxonômica sobre o anterior, conforme definido na versão atual do SiBCS (EMBRAPA, 2013). Desse modo, segundo a Soil Taxonomy (USDA, 2014) os solos estudados se enquadram na ordem dos Oxisols, em sua maioria como Rhodic Haplustox, exceto P5 e P6, que devido à presença de camada contínua de canga em profundidade, e ocorrência de caráter ácrico neste último, foram identificados como Petroferric Haplustox e Petroferric Acrustox, respectivamente. De acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013), por outro lado, P1 e P5 foram classificados como Latossolos Vermelhos Perféricos, enquanto o restante se enquadra como Plintossolos Pétricos Concrecionários.

No caso estudado portanto, solos muito semelhantes, tanto por suas características intrínsecas, como pelas próprias condições de evolução pedogenética, foram enquadrados em classes distintas já no primeiro nível categórico do SiBCS, unicamente em função da presença de determinada quantidade de concreções ferruginosas. Devido a isso, o potencial da taxonomia de solos como instrumento de estratificação de ambientes, como sugerido por Resende & Rezende (1983), fica comprometido, na medida em que não permite a distinção de solos com características e ambientes de formação muito diferentes (como é o caso das classes de Latossolos e Plintossolos, exemplificado pelos solos deste estudo). Ao mesmo tempo, ao ser estabelecida a simples presença de concreções ferruginosas como característica suficiente para definição de um tipo de horizonte diagnóstico, o caráter morfogenético adotado como base da taxonomia de solos brasileira é desconsiderado (CARVALHO FILHO, 2008), atribuindo-se maior importância aos processos de formação de solo que vigoraram em épocas pretéritas, cujo entendimento é muitas vezes incerto, em relação aos efeitos da pedogênese de épocas mais recentes.

CONCLUSÕES

1. Os solos estudados são de fertilidade natural muito baixa (distróficos ou álicos), e a disponibilidade de nutrientes no ecossistema está diretamente relacionada à presença da matéria orgânica.
2. Os solos apresentam constituição mineralógica predominantemente oxidada, inferida pelos resultados do ataque sulfúrico, com teores muito altos de óxidos de ferro, em estreita relação com a natureza do substrato geológico.
3. Todos os solos estudados são classificados como Oxisols pela Soil Taxonomy (USDA, 2014), mas de acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013), uma parte deles enquadra-se como Latossolos e outra como Plintossolos.
4. A precedência taxonômica do horizonte concrecionário, conforme definido pelo SiBCS, tem resultado em enquadramento de solos de características e condições ambientais muito semelhantes em classes distintas em mais alto nível categórico, restringindo o potencial de estratificação ambiental desse sistema taxonômico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARVALHO FILHO, A. de. Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. Tese (Doutorado). UFLA, Lavras, MG. 2008. 245p.
- CORNELL, R.M. & SCHWERTMANN, U. The Iron Oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses. Wiley-VCH. 2^a ed. 2003. 642p.

- COSTA, S.A.D. Caracterização química, física, mineralógica e classificação de solos ricos em ferro do Quadrilátero Ferrífero. Dissertação (Mestrado). UFV, Viçosa, MG. 2003. 71p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 2011. 230p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Definição e notação de horizontes e camadas do solo. 2ª ed. revista e atualizada. Rio de Janeiro, 1988. 54p.
- KER, J.C. Latossolos do Brasil: uma revisão. Geonomos, Belo Horizonte. v.5, n.1. 1997. p.17- 40.
- RESENDE, M. & REZENDE, S.B. Levantamento de solo: uma estratificação de ambientes. Informe Agropecuário. v.9. 1983. p.3-25.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff. 12ªed. 2014. 360p.