

MICROESTRUTURAS DE VERTISSOLOS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: CONTRIBUIÇÕES AO ESTUDO DAS ORIGENS E EVOLUÇÃO PEDOLÓGICA

Andressa Carvalho Damasceno ¹; Sheila Aparecida Correia Furquim ²; Caroline Delpupo Souza ³

1 Andressa Carvalho Damasceno, Bolsista FAPEMIG, Licenciatura em Geografia, IFMG *campus* Ouro Preto, Ouro Preto - MG; dessa_mv@hotmail.com

2 Sheila Aparecida Correia Furquim, Pesquisadora da UNIFESP, *campus* Diadema - SP; sacfurquim@gmail.com

3 Caroline Delpupo Souza, Pesquisadora do IFMG, *campus* Ouro Preto - MG; caroline.delpupo@ifmg.edu.br

RESUMO

Os Vertissolos são solos caracterizados por textura argilosa e dominância de minerais esmectífticos, principalmente na fração fina ($< 0,2 \mu\text{m}$), que permitem um alto coeficiente de expansão e contração da massa de solo em condições de molhagem e secagem. Ocupam aproximadamente 3,1 milhões de km^2 no globo, o que representa 2,2% da área recuperada pelos solos e são encontrados em todos os continentes. No Brasil, os Vertissolos estão localizados em uma área de 17.631 km^2 , o que corresponde a 2% do território nacional, ocorrendo principalmente nos estados do Nordeste, Pantanal e Pampas, desempenhando um papel significativo ou representando um potencial de uso para atividades agrícolas e/ou pecuárias nessas regiões. Os Vertissolos do semiárido brasileiro, estudados nesse trabalho, estão dispostos entre os municípios de Iguatu (CE), Madalena (CE), Sousa (PB), Petrolândia (PE), Cachoerinha (PE), Gov. Dix Septo Rosado (RN) e Juazeiro (BA). Foram coletadas amostras de 8 perfis distribuídos nas cidades supracitadas. As laminações das amostras foram realizadas no Laboratório de Micromorfologia de solos da Escola de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ), *campus* da Universidade de São Paulo em Piracicaba - SP. O objetivo principal desta proposta é investigar as propriedades micromorfológicas em Vertissolos desenvolvidos no semiárido brasileiro e comparar com seus diferentes materiais de origem, a fim de compreender melhor o papel da mineralogia argilosa na manifestação das propriedades vérticas e químicas, bem como na formação, grau de desenvolvimento e classificação desses solos. Para isso, seções finas de solos desenvolvidos sob diferentes materiais de origem foram descritas e analisadas sob o ponto de vista de sua micromorfologia e micromorfometria. Apesar do trabalho ainda não ter finalizado e as análises propostas originalmente ainda não terem sido confrontados integralmente, pode-se observar que os solos estudados apresentam feições pedológicas típicas de outros Vertissolos pelo mundo. Apresentam a melanização, rubificação, carbonatação e a sodificação como principais processos pedogenéticos atuantes.

INTRODUÇÃO:

Os Vertissolos são solos caracterizados por textura argilosa e dominância de minerais esmectífticos, principalmente na fração fina ($< 0,2 \mu\text{m}$), que permitem um alto coeficiente de expansão e contração da massa de solo em condições de molhagem e secagem. Ocupam aproximadamente 3,1 milhões de km^2 no globo, o que representa 2,2% da área recuperada pelos solos (USDA, 1994) e são encontrados em todos os continentes, embora estejam mais concentrados em poucos países, principalmente Índia, Austrália, Sudão, EUA e Chad (Virmani et al., 1982; Coulombe et al., 1996). No Brasil, os Vertissolos estão localizados em uma

área de 17.631 km², o que corresponde a 2% do território nacional. No entanto, ocorrem principalmente nos estados do Nordeste, Pantanal e Pampas (Embrapa, 2011), desempenhando um papel significativo ou representando um potencial de uso para atividades agrícolas e/ou pecuárias nessas regiões (Spera et al., 1995; Corrêa et al., 2003).

A distribuição espacial dos Vertissolos é condicionada por condições geológicas, geomorfológicas e climáticas, que permitem a formação e manutenção das esmectitas e sua expansão e contração periódicas. Esses solos podem ser originários de uma grande variedade de rochas, mas o material original já deve estar enriquecido em minerais argilosos 2:1 e/ou fornecer altos teores de bases e Si durante o intemperismo para permitir a neoformação ou transformação de esmectita (Coulombe et al., 1996; Ahmad, 1983). Formas de relevo planas ou levemente onduladas localizadas em posições mais baixas da paisagem circundante devem ocorrer para evitar o excesso de lixiviação, garantindo o acúmulo desses cátions (Ahmad, 1983; Brierley et al., 2011). Por fim, a presença de regimes hídricos contrastantes, associados aos ciclos de molhagem e secagem, é condição climática obrigatória, na medida em que desencadeia o encolhimento e dilatação da massa esmectítica e a consequente formação das propriedades morfológicas e físicas típicas associadas a esta classe de solos (Coulombe et al., 1996).

Todos os sistemas de classificação de solos do mundo reconhecem o Vertisol no alto nível hierárquico e, a maioria deles, incluindo a World Reference Base (WRB) e a classificação brasileira (SiBCS), podem identificar AB, AC, B, BC e/ou C como um horizonte vértice diagnóstico. Este horizonte é geralmente caracterizado por textura argilosa (geralmente $\geq 30\%$ de argila) e características morfológicas associadas aos fenômenos de expansão-contração, como rachaduras sazonais, slickensides e/ou pedais em forma de cunha (Kovda e Wilding, 2004; Oliveira, 2005). ; Grupo de Trabalho USS-WRB, 2014; Embrapa, 2018). As fissuras geralmente se formam na superfície, estendendo-se para baixo e limitando grandes estruturas prismáticas nos horizontes B ou C (Schaetzl & Anderson, 2005). As fissuras abertas, que geralmente têm 0,5 a 2 m de profundidade e até 15 cm de largura (Ahmad, 1983; van Breemen & Buurman, 2003), são comumente preenchidas com materiais superiores e adjacentes, em um processo chamado de autodeglutição (Schaetzl e Anderson, 2005), formando zonas geralmente diferentes do entorno (Brierley et al., 2011). Após umedecimento, essas rachaduras geralmente fecham completamente, mas tendem a reabrir nos mesmos pontos no próximo evento de retração (Schaetzl e Anderson, 2005; Kishné et al., 2009).

A presença de materiais preenchidos em subsuperfície aliada à expansão da argila com reumedecimento provocam aumento do volume do solo (até 60%) e, conseqüentemente, maiores pressões internas no solo. Quando a resistência ao cisalhamento do solo é superada pela tensão vertical e lateral, os movimentos do solo ocorrem em múltiplas direções, desencadeando um processo conhecido como churning (Virmani et al., 1982; Schaetzl e Anderson, 2005). *Slickenside* é uma das feições produzidas por este processo, sendo definido como planos de fraqueza, semelhantes a falhas de empurrão, orientados em ângulos que variam de 20 a 60º da horizontal. São comumente polidos devido à orientação das argilas que são produzidas pelo deslizamento de uma massa de solo contra outra em repetidos ciclos de secagem-umedecimento. Esta característica morfológica ocorre geralmente em subsuperfície, em maior abundância de 25 a 120-125 cm, e

é responsável pela gênese dos agregados em forma de cunha comumente encontrados nos horizontes B, também conhecidos como paralelepípedos, lentilhas ou estruturas cuneadas (Coulombe et al., 1996; Ahmad, 1983; Bhattacharyya et al., 1993).

O microrrelevo de *gilgai* é outra importante característica produzida pela agitação, embora não seja usualmente considerada como propriedade diagnóstica. É definida como uma sequência de microalturas e microbaixas na superfície, com altura de até 200 cm e diâmetro geralmente chegando a 2 metros, gerada pela liberação de pressão para cima durante o inchamento da argila (Brierley et al., 2011; Schaetzel & Anderson, 2005). Em geral, a morfologia do solo reflete esse microrrelevo, o que gera uma variabilidade espacial regular e de curto alcance. Os microbaixos tendem a acumular água, desencadeando ciclos úmidos e secos mais extremos, que permitem maior coeficiente de extensibilidade linear (COLE), maiores quantidades e melhor desenvolvimento de trincas e maiores ângulos de slickensides, que também tendem a atingir zonas mais profundas nos perfis. O horizonte A também é mais espesso nos microbaixos devido ao preenchimento de material de superfície nas fissuras mais desenvolvidas (Nordt et al., 2004, Kishné et al., 2009). Essa microvariabilidade regular da morfologia do solo também pode ocorrer quando o gilgai não está presente, sendo os perfis semelhantes aos microaltos e microbaixos comumente chamados de chaminés e tigelas (Schaetzel e Anderson, 2005).

Assim como a morfologia do solo, as principais características físicas e químicas dos Vertissolos estão intimamente relacionadas à presença de esmectita. A natureza expansiva de cristais individuais e pequenos aglomerados desses minerais permitem uma alta capacidade de retenção de água e um alto índice de plasticidade durante a estação chuvosa, associado a uma consistência dura a muito dura em condições secas (Ahmad, 1983; Graham et al., 2017). Em geral, essas características representam um desafio na utilização dos Vertissolos, exigindo manejo especial. Embora a alta capacidade de retenção de água possa ser benéfica, a maior parte da água geralmente não está disponível para as culturas devido à alta retenção em pequenos poros (Graham et al., 2017). Além disso, a alternância entre consistências excessivamente duras e pegajosas impõe uma faixa estreita de umidade que favorece o preparo do solo e a sementeira (Virmani et al., 1982).

METODOLOGIA:

Foram realizados 3 trabalhos de campo, com descrição e coleta de 8 perfis de solos (P1 a P8), totalizando 32 dias e cerca de 5000 km rodados ao longo de 5 estados nordestinos. A seleção dos locais dos perfis foi realizada a partir de 3 reuniões com a equipe de pesquisa, utilizando mapas geológicos e pedológicos do semiárido da região nordeste e procurando escolher Vertissolos provenientes de diferentes materiais de origem (3 perfis sobre rochas sedimentares clásticas, 3 perfis sobre rochas sedimentares calcárias e 3 perfis sobre rochas cristalinas metamórficas e ígneas) (Tabela 1). Todos os solos estão sob clima semiárido, vegetação originária de caatinga e em relevo com baixas declividades.

A morfologia do solo dos 8 perfis foi descrita de acordo com Santos et al. (2015) e Schoeneberger et al. (2002). As cores do solo seco e úmido foram determinadas no campo usando a Tabela de Cores do Solo Munsell

(Munsell Color, 2010). Todos os perfis foram classificados em campo como Vertissolos, segundo a Base de Referência Mundial (WRB, 2022) e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS - EMBRAPA, 2018).

Seções finas de solos desenvolvidos sob diferentes materiais de origem serão descritas e analisadas sob o ponto de vista de sua micromorfologia e micromorfometria. As laminações das amostras foram realizadas no Laboratório de Micromorfologia de Solos da Escola de Agricultura 'Luiz de Queiroz' (ESALQ), *campus* da Universidade de São Paulo em Piracicaba – SP. As caracterizações micromorfológica e micromorfométrica dos Vertissolos serão realizados em seções finas analisadas em Microscópio Petrográfico Trinocular Opton, disponível no Laboratório de Geografia Física (CODAGEO/IFMG-OP). Os termos utilizados na descrição micromorfológica seguirão os preceitos propostos por Stoops (2003); Stoops et al. (2010); e as mensurações segundo propostas de Castro e Cooper (2019). Tais parâmetros serão conduzidas segundo o princípio básico dos três níveis: (i) descrição e identificação visual do componente; (ii) comparação visual do componente com padrões de referência; (iii) medições diretas do componente: tamanho, abundância, área proporcional, cor, forma, textura da superfície, limites, variabilidade, orientação e padrões de distribuição (Bullock et al., 1985).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Variações de A (A, Ap), Bv (Bv, Bv1, Bv2, Bv3), C (Cr, Cr1, Cr2, Cv, C/Cr, C/Crk, Cr/C, Cr/R, Cr/R1, Cr/R2, Crk/R) e R (R/Cr, R/Crk1, R/Crk2, 2R/Crk) ocorrem nos perfis. Horizontes de transição, como BA e/ou BC (BC, BCvk ou BCv), também foram identificados na maioria dos perfis (P1, P3, P5, P7 e P8). Entretanto, a classificação definitiva de BA em P7 e BC em P5 e P6 depende de dados analíticos, visto que as características morfológicas eram incertas para distingui-los de possíveis horizontes de Bv, gerando discussão entre os pedólogos da área. Em geral, os chamados BA ou BC ainda apresentam características típicas de Vertissolos, mas são menos desenvolvidos do que aqueles que ocorrem no Bv sobrejacente ou subjacente (por exemplo, grau de estrutura, presença ou distinção de *slickensides* e/ou tamanho de rachaduras).

Os perfis descritos apresentam cores diferentes, embora permaneçam semelhantes nos horizontes A, Bv e C de cada perfil. Em relação a esses 3 horizontes e suas transições (BA, BC), P1 (shoshonita) e P5 (anfibolito) são os mais escuros, com cores cinza muito escuro (10YR / 7,5YR) e preto (10YR / 2,5YR), respectivamente. Os baixos valores (1, 2) e cromas (2, 2,5, 3) nos primeiros 30 cm destes perfis conferem-lhes um qualificador pélvico, segundo WRB (2022). P3 (calcário), P6 (complexo granítico gnaisse) e P8 (brecha calcária) apresentam cores acastanhadas, embora as tonalidades sejam 10YR / 2,5YR no primeiro, 10YR / 7,5YR no segundo e 10YR no último. Por fim, P2 (argilito), P4 (siltito) e P7 (folhelho) possuem tonalidade 2,5YR ou 10R, apresentando principalmente coloração marrom avermelhado ou vermelho acinzentado. Destes 3 perfis avermelhados, apenas P7 atinge os critérios crômicos, apresentando horizontes ≥ 30 cm dentro de 25-150 cm com tonalidades mais avermelhadas que 7,5YR e cromas < 4 (WRB, 2022).

Horizontes profundos (variações de Cr, Cr/C, C/Cr, Cr/R, R/Cr) comumente se misturam ou apresentam manchas diferentes, mostrando a complexidade do intemperismo e da formação mineral nos saprólitos dos diferentes materiais de origem. Porém, em todos os perfis, pelo menos algumas das zonas e/ou manchas são amareladas ou esverdeadas (2,5Y ou 5Y), com dominância dessas tonalidades nos saprólitos de P1

(shoshonito), P2 (argila) e P5 (anfíbolito). Isso pode indicar a ocorrência anterior no material de origem ou a formação precoce de filossilicatos enriquecidos com Fe (por exemplo, nontronita, Fe-beidelita, Fe-mica, glauconita). Alguns dos horizontes têm zonas ou manchas comuns a abundantes avermelhadas, esbranquiçadas ou acastanhadas (2,5YR a 10YR), provavelmente representando o material de origem (siltito em P4) ou feições redoximórficas (P3, P6, P8).

Nódulos negros compostos por óxidos de Mn, verificados em campo por reação com H₂O₂, são comuns nos horizontes Ap, Bv e BC de P2. Materiais representativos de carbonatos ocorrem na maioria dos perfis, com exceção de P1. A maioria ou todos os horizontes apresentaram alguma reação em P4, P7 e P8, embora a intensidade tenha aumentado claramente no perfil. A efervescência é comumente leve (1) ou forte (2) em A, Bv1 ou Bv2 e forte (2) a violenta (3) no saprólito (C, C/Cr, Cr/C, Cr/R, R/Cr). Em P2, P3, P5 e P6, apenas os horizontes mais profundos (Cr, C/Cr, Cr/R) reagiram ao ácido, com efervescência leve (1) ou forte (2) no P2 e P6 e forte (2) e/ou violenta (3) em P3 e P5. Na maioria dos horizontes ocorrem carbonatos na matriz do solo, ou seja, não eram visíveis no campo, sendo identificados apenas por reação ácida. Em P2 e P4, os carbonatos podem ocorrer na matriz ou como nódulos esbranquiçados ou lentes horizontais (entre as camadas das rochas sedimentares).

Os horizontes A, AB, Bv, BC e C são argilosos, muito pegajosos e muito plásticos, enquanto os horizontes mais profundos (Cr, Cr/C, C/Cr, Cr/R, R/Cr) são principalmente argilosos franco-arenoso, franco-arenoso) ou argiloso, variando de ligeiramente pegajoso a pegajoso e ligeiramente plástico a plástico. Os horizontes A geralmente apresentam perfis oblíquos subangulares ou angulares, com tamanhos variando de finos (0,5 a 1 cm) a grossos (>5 cm) em todos os perfis. Como esperado para os Vertissolos, os horizontes A, BA e Bv são marcados por prismas que quebram em blocos subangulares ou angulares, ambos com tamanhos médios a muito grosseiros, que representam 4 a 12 cm no primeiro e 1 a > 5 cm na segunda estrutura tipo. As notas de todos os blocos e blocos prismáticos tendem a ser moderadas a fortes em P1 a P4 e P7 e fracas a moderadas em P5, P6 e P8. As trincas que separam os prismas geralmente começam na superfície e continuam até o horizonte Bv ou BC. Tendem a ficar mais largas de A (0,2-2 cm) até o último Bv do perfil (2 a 7 cm), voltando a tamanhos menores no BC (0,1-2 cm).

Outras feições vérticas típicas (Figura 1), formadas como consequência do encolhimento sazonal das argilas, são encontradas nos perfis. A estrutura em cunha foi observada na maioria dos perfis (com exceção de P5 e P7), nos horizontes Bv (maioria em Bv2 e Bv3) ou BC. Essas estruturas têm principalmente tamanho médio (2 a 5 cm) e grau fraco a moderado. *Slickensides* geralmente ocorrem nos horizontes caracterizados por estrutura em cunha e geralmente são comuns ou muitos em P1 a P4 e poucos ou comuns em P5 a P8. A nitidez é distinta ou proeminente em P1 a P4 e P8 e fraca ou distinta em P5 a P7. Observou-se uma camada de estrutura granular na superfície das áreas descritas, identificada como formada por autocobertura. Devido à sua pequena espessura (< 0,5), não atende ao qualificador crômico definido no WRB (2022). A autogranulação é visível em todos os perfis, com exceção do P3, principalmente pela incorporação de fragmentos rochosos superficiais. A microtopografia de *gilgai* não foi observada ao redor dos perfis, apenas em uma área antrópica a cerca de 1 km de distância de P2.

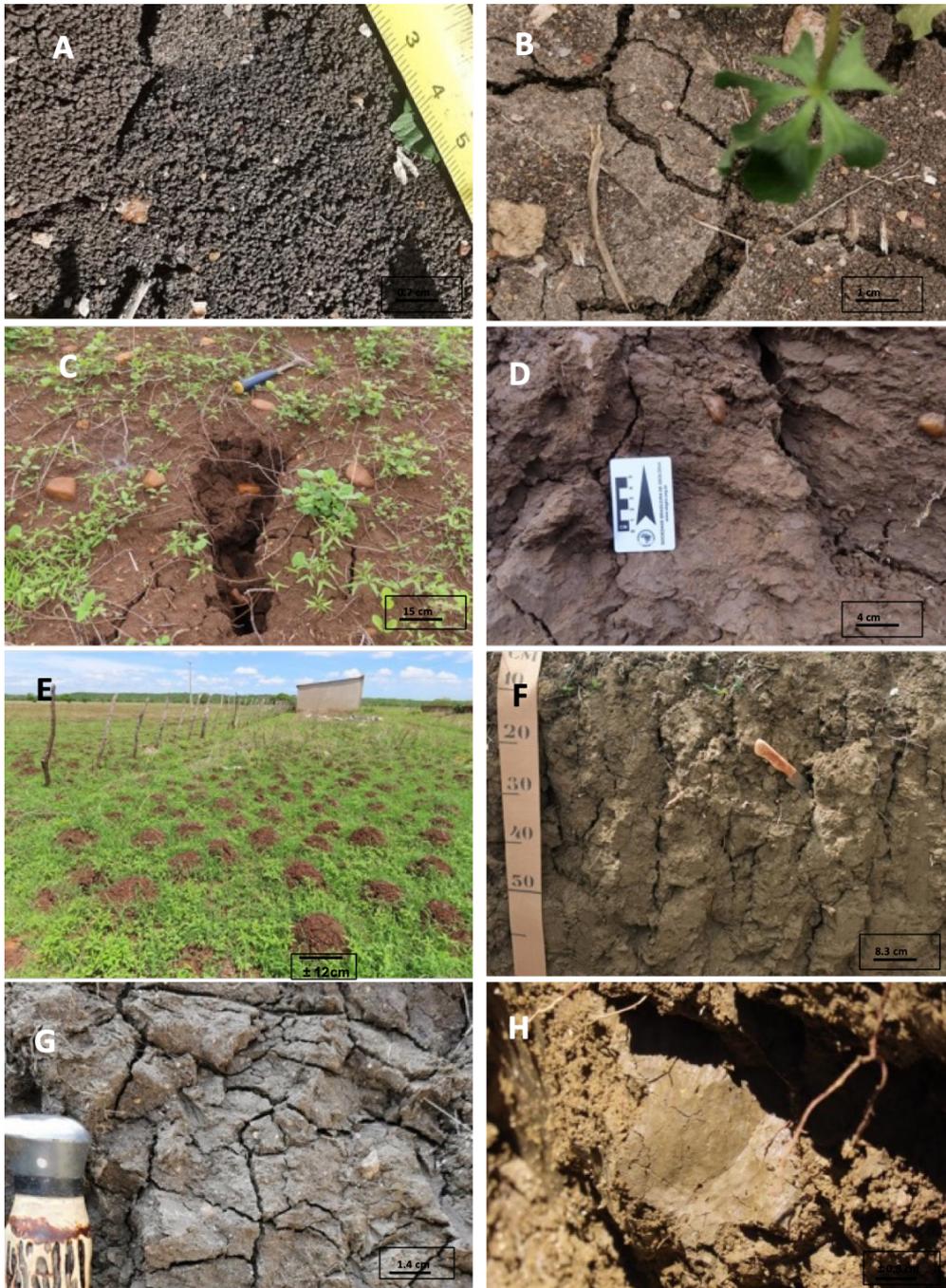


Figura 1: Fotos selecionadas de feições verticais nas áreas estudadas. A) autogranulação em P1; B) Fissuras superficiais com diferentes larguras em P1; C) Fissuras superficiais com engolimento de seixos dentro do solo em P2; D) Presença de seixos misturados à massa de solo em P2; E) Relevo de Gilgai em Sousa (PB), na região do P2; F) Exemplo de estrutura colunar em P3; G) Exemplo de estrutura em cunha em P1; H) Exemplo de slickenside em P7.

CONCLUSÕES:

A despeito do trabalho ainda não ter finalizado e as análises propostas originalmente ainda não terem sido confrontados integralmente, pode-se observar que os solos estudados apresentam feições pedológicas típicas de outros Vertissolos pelo mundo. Apresentam a melanização, rubificação, carbonatação e a sodificação como principais processos pedogenéticos atuantes. As análises micromorfológicas propostas inicialmente, bem como o confronto de seus resultados com as demais análises, estão previstas para tão logo as lâminas delgadas sejam finalizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AHMAD, N. **Vertisols**. In LP Wilding, NE Smeck, GF Hall (eds) **Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders**. Elsevier Science Publ., 1983

BHATTACHARYYA, T; PAL, D.K; DESHPANDE, S.B. **Genesis and transformation of minerals in the formation of red (Alfisols) and black (Inceptisols and Vertisols) soils on Deccan basalt in the Western Ghats, India**. Journal of Soil Science, 44: 159-171; 1993.

BIGHAM, J.M.; FITZPATRICK, R.W.; SCHULZE, D.G. **Iron Oxides**. In Dixon, J.B. and Schulze, D.G. **Soil Mineralogy with Environmental Applications**. Number. 7. Soil Science Society of America Book Series, chapter 10; 2002.

BULLOCK, P. et al., **Handbook for soil thin section description**. Albrington: Waine Research, 1985. 152 p.
BRIELEy, J.A; Stonehouse, H.B; Mermut, A.R. **Vertisolic soils of Canada: genesis, distribution, and classification**. Can. J. Soil Sci., 91: 903-916; 2011.

CASTRO, S.S.; COOPER, M. **Fundamentos de Micromorfologia de Solos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, Minas Gerais, 2019.

CORRÊA, A. C. B.; DE AZEVÊDO CAVALCANTI TAVARES, B.; DE LIRA, D. R.; DA SILVA MUTZENBERG, D.; DE SOUZA CAVALCANTI, L. C. **The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil**. Em: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. **The Physical Geography of Brazil. Geography of the Physical Environment**. Cham: Springer International Publishing, 2019. p. 119–150.

COULOMBE, C.E; DIXON, J.B; WILDING, L.P. **Mineralogy and Chemistry of Vertisols**. In N Ahmad and A Mermut (eds) **Vertisols and technologies for their management**. Elsevier Science BV. p. 115-200; 1996.

EMBRAPA (2011) **Solos Brasileiros**. <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>, acessado em 18/07/2023.

EMBRAPA . **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS**. 5ª edição, rev. e amp., Brasília/DF; 2018.

GRAHAM, R.C; SCHOENEBERGER, P.J; BREINER, J. **Genesis and physical behavior of soils on shale in Southern California**. Soil Science, 182: 1-11; 2017.

IUSS WORKING GROUP WRB: **World Reference Base for Soil Resources**, fourth edition. International Union of Soil Sciences, Vienna; 2022.

KISHNÉ, A.S; MORGAN, C.L.S; MILLER, W.L. **Vertisol Crack Extent associated with gilgai and soil moisture in the Texas Gulf Coast Prairie**. Soil Sci Soc. Am. J.; 73: 1221-1230; 2009.

KOVDA, I.V; WILDING, L.P. **Vertisols: problems of classification, evolution and spatial self-organization**. Eurasian Soil Science, 37:1341-1351; 2004.

MUNSELL COLLOR COMPANY. **Cartas de cores de solo de Munsell**, Macbeth Div.Kollmorgen, Baltimore, Md; 2010.

NORDT, L.C; WILDING, L.P; LYNN, W.C; CRAWFORD, C.C. **Vertisol genesis in a humid climate of the coastal plain of Texas, USA**. Geoderma, 11: 83-102; 2004.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia Aplicada**. FEALQ, Piracicaba, 574 p. 2005.

SANTOS, R.D; SANTOS, H.G; KER, J.C; ANJOS, L.H.C; SHIMIZU, S.H. **Manual de Descrição e Coleta de solos no campo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 7a edição revisada e ampliada, Viçosa; 2015.

SCHAETZL, R.J., ANDERSON, S., 2005. **Soils, Genesis and Geomorphology**. Cambridge University Press, Cambridge (817 pp.).

SCHOENEBERGER, P.J; WYSOCKI, D.A., BENHAM E.C; BRODERSON, W.D. **Field Book for Describing and Sampling Soils**. Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln; 2002.

STOOPS, G. **Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections**. Madison: Soil Science Society of America, 2003. 184 p.

STOOPS, G. et al. **Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regolith**, 2nd edition; 2010.

USDA . **Soil Survey Manual**. Soil Survey Staff, Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC, 437 pp. 1994

USS Working Group WRB. **World Reference Base for Soil Resources 2022. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. World Soil Res., 106, FAO, Rome. 2022.

VAN BREEMEN, N; BUURMAN, P. **Soil Formation**. Kluwer Academic Publ., 404 p. 2003

VIRMANI, S.M; SAHRAWAT, K.L; BURFORD, J.R. **Physical and chemical properties of Vertisols and their management**. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India. Vol: 80-93; 1982.