

## Comportamento espectral da evolução de um antropossolo decapítico em tratamento no Distrito Federal, por meio de espectroscopia de reflectância

Marceli Terra-Oliveira<sup>1</sup>  
Gustavo Macedo de Mello Baptista<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Geociências, Universidade de Brasília – IG/UnB  
marceliterra@gmail.com; gmbaptista@unb.br

**Abstract.** The exposed horizons by mining are known as “Antropossolos Decapíticos” and the environment reconstruction that supports vegetation on these horizons requires organic matter and nutrients incorporation. Distrito Federal has several mined areas, therefore the BR 060 area was chosen, which had sewage sludge treatment in 2002, it follows that it was possible to analyze the mineralogical difference between mined substrate and treated soil after 14 years. Soil samples were collected in 2016 from both areas (mined substrate and treated soil) including three different depths (0-5 cm, 5-15 cm and 15-30 cm), thus it was achievable to evaluate the mineralogical dynamic in diverse points. As a result, it was generated two spectral libraries characterizing both sample sets. After this step the depth feature of each mineral was calculated for a better quantification of its content in the soil. In the end of the analytical process, reflectance spectroscopy technique to mineralogical analyses proved to be efficient to evaluate the studied cambisol dynamics. It was observed higher content of goethite and gibbsite minerals in after treatment area in comparison with exposed substrate. The sewage sludge treatment proved efficient, for the weathering evolution was favored in this area, suggesting pedogenetic evolution, which does not occur with unattended substrate.

**Palavras-chave:** reflectance spectroscopy, mineralogy, mined area, sewage sludge, antropossolos decapíticos.

### 1. Introdução

A mineração deixa à superfície um material exposto, o qual de um modo geral é denominado substrato. Substratos minerados apresentam atributos muito diversos daqueles presentes em solos e são materiais que limitam severamente o crescimento e desenvolvimento vegetal devido a fatores físicos, químicos e biológicos desfavoráveis, como estrutura do solo enfraquecida, baixa capacidade de retenção de água, baixa concentração de matéria orgânica e quantidade de nutrientes disponíveis (Peña *et al.*, 2015).

Horizontes expostos pela mineração são atualmente conhecidos como Antropossolos Decapíticos e a reconstrução de um ambiente edáfico que suporte a vegetação nesses horizontes requer a incorporação de matéria orgânica e de nutrientes, com isso, Corrêa tem utilizado lodos de esgoto domésticos com sucesso na revegetação de substratos minerados no DF desde 1994 (Corrêa *et al.*, 2000; 2005, 2006, 2010, 2012).

Os solos do bioma Cerrado são muito intemperizados e, portanto, a disponibilidade de nutrientes é reduzida. Esses solos possuem ainda alta saturação por alumínio, o qual limita o desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas devido a toxicidade do elemento e/ou deficiência de cálcio nas camadas subsuperficiais do solo (Lopes, 1994). A matéria orgânica é condicionadora química do solo e interfere positivamente na capacidade de troca de cátions (CTC), pH, condutividade elétrica (CE), ciclagem de nutrientes e complexação de elementos tóxicos do solo (Costa *et al.*, 2013). A matéria orgânica, portanto, tem grande influência no abastecimento de nutrientes para os solos do Cerrado, principalmente nos solos que sofrem influência antropogênica. Também reduz efeitos erosivos devido a sua decomposição, a qual aumenta o conteúdo de húmus, melhorando a capacidade de armazenamento e infiltração da água no solo e, portanto, aumentando a resistência dos agregados do solo (Tsutya, 2000).

A espectroscopia é o estudo da luz (radiação eletromagnética) em função do comprimento de onda que é emitida, refletida ou espalhada por um sólido, líquido ou gás (Clark, 1999). Cada alvo da superfície terrestre interage com a radiação emitida e é captada por um sensor com uma assinatura espectral específica. Por meio das curvas espectrais é possível realizar

análises mineralógicas e químicas de solos, em que cada absorção pode representar um composto químico, um mineral primário ou secundário e água.

Há a necessidade de melhor avaliação da qualidade dos solos reconstruídos com a técnica de Corrêa, com respeito ao desenvolvimento pedológico, atributos biogeoquímicos, sustentabilidade ecológica e possíveis riscos ambientais. Uma forma de avaliar o desenvolvimento pedológico é por meio da dinâmica mineralógica desses antropossolos, pela técnica de espectroscopia de reflectância, como forma de caracterizá-los e distingui-los tanto dos substratos das áreas mineradas como dos solos nativos de áreas limítrofes.

## 2. Metodologia de Trabalho

O Distrito Federal (DF) possui diversas áreas mineradas em toda sua extensão, grande parte da enquadra-se na classe II – “jazidas de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil” de acordo com o Decreto 62.934 de 1968, o qual enquadra nessa classe a extração de areia, cascalho, argila, saibro e aterro, tipo este de mineração responsável pelas áreas degradadas pela mineração no DF (Corrêa & Baptista, 2004). Para o presente trabalho foi escolhida a área da BR 060, uma área de cambissolo, a qual recebeu o tratamento com lodo de esgoto no ano de 2002, um a dois anos após a mineração, assim foi possível analisar a diferença do substrato minerado e do solo tratado após 14 anos.

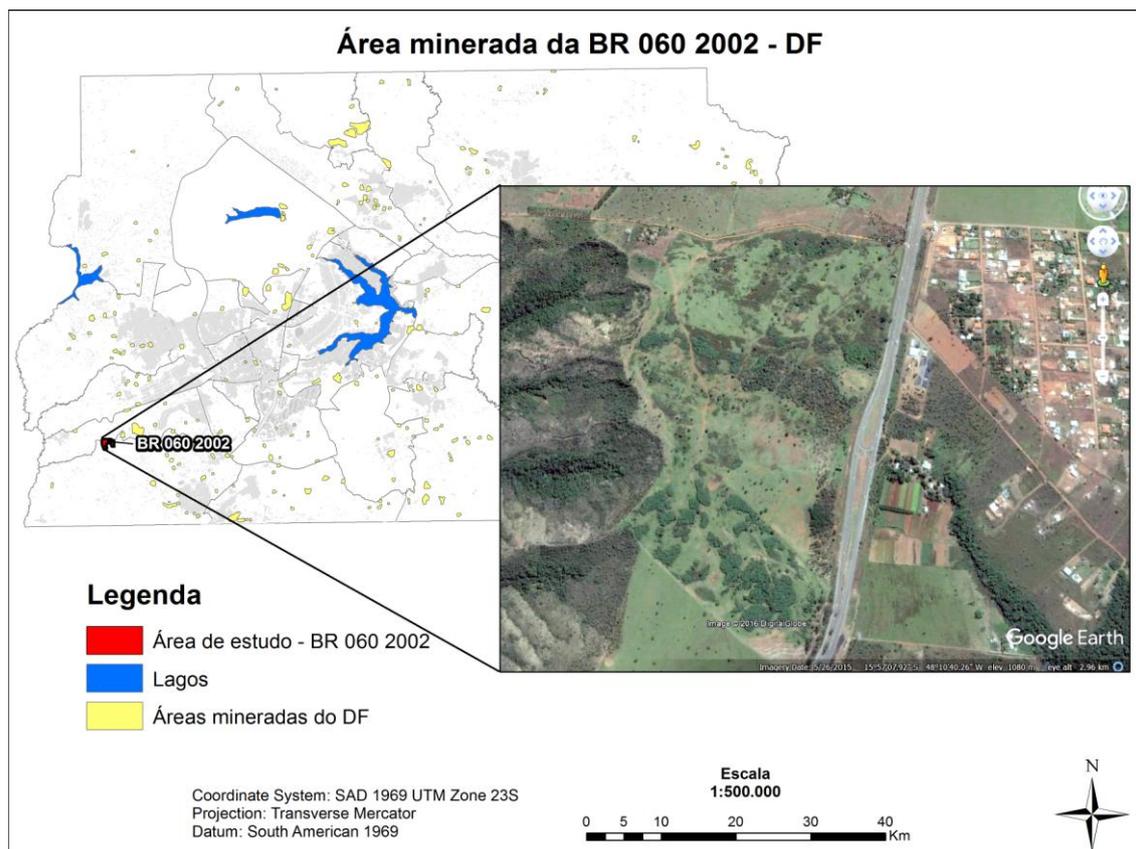


Figura 1. Área de estudo da BR 060, a qual foi minerada e teve tratamento com lodo de esgoto em 2002.

Amostras de solo foram coletadas no ano de 2016 da área em que não houve o acréscimo de lodo, ainda com o substrato minerado à mostra, e da área tratada, ambas em três profundidades (0-5 cm, 5-15 cm e 15-30 cm) para melhor avaliação da dinâmica mineralógica em diferentes pontos. Dentre as amostras foram escolhidos 2 pontos (pré e pós-tratamento), totalizando 6 amostras. O solo foi seco ao ar livre, peneirado em 2 mm e em peneira de 270

*mesh*, com isso foi possível avaliação do conteúdo mineralógico, por meio do espectrorradiômetro FieldSpec® 3. Os espectros foram analisados e as bibliotecas espectrais, bem como os processamentos, foram realizados no *software* ENVI® 5.1.

### 3. Resultados e Discussão

Como resultados foram geradas 2 bibliotecas espectrais representativas dos 2 pontos de amostras de solo, uma do pós-tratamento com o lodo de esgoto e uma da área controle com substrato minerado, com suas respectivas profundidades. A primeira análise foi a identificação dos minerais Goethita, Hematita, Caulinita e Gibbsita nas curvas espectrais de cada amostra de solo e posteriormente o cálculo de profundidade de feição, o qual sugere a quantificação do mineral para a comparação nas demais profundidades.

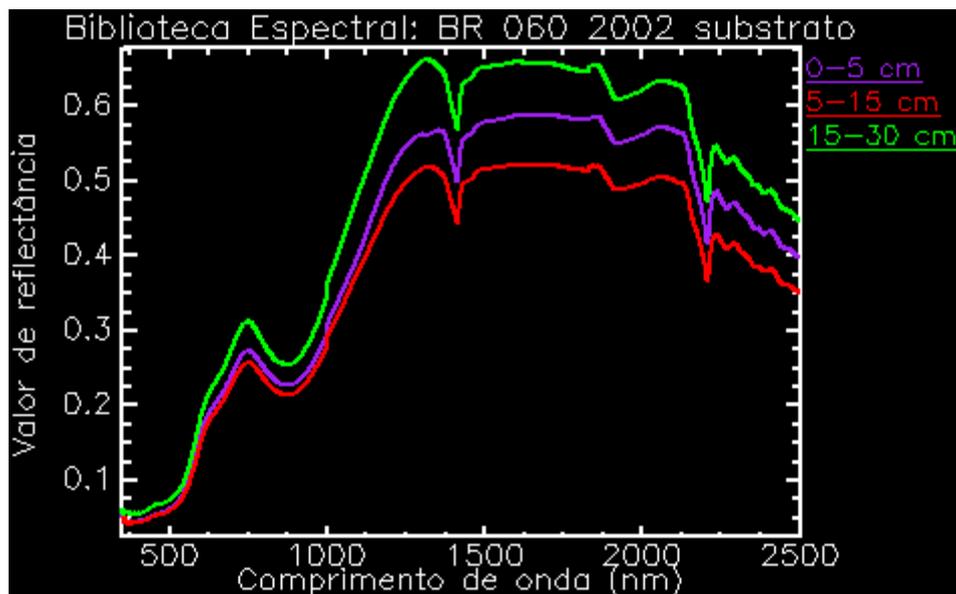


Figura 2. Biblioteca espectral das amostras da área de substrato com suas respectivas profundidades.

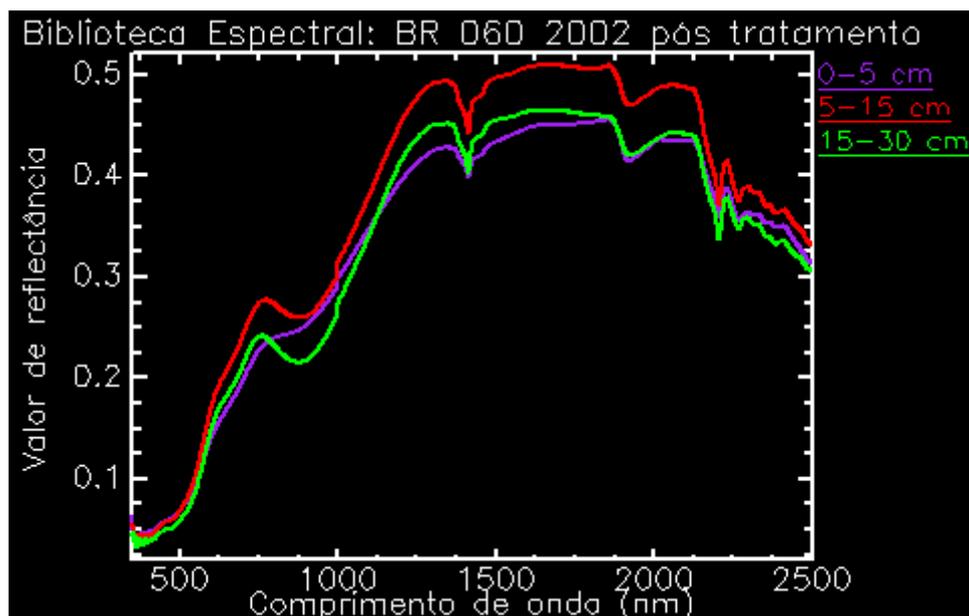


Figura 3. Biblioteca espectral das amostras da área pós-tratada com suas respectivas profundidades.

A goethita ( $\text{FeOOH}$ ) e a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) são óxidos de ferro de cor amarelada e avermelhada e são observados em 480 nanômetros e 530 nanômetros no espectro eletromagnético respectivamente. Esses minerais podem se apresentar com estrutura cristalina definida ou como materiais amorfos e tem influência marcante nas características químicas e físicas do solo (Tremocoldi, 2003). A coloração desses minerais ocorre devido às absorções na região do visível, as quais resultam da consequência do intenso campo ligante de  $\text{Fe}^{3+}$  e do par de transição  $\text{Fe}^{3+} - \text{Fe}^{3+}$  (Sherman & Waite, 1985). Com a ocorrência da intemperização nesses solos, há liberação do ferro para a solução que se oxida e se precipita como ferrihidrita ou goethita dependendo da taxa de liberação ultrapassar ou não o produto de solubilidade deste óxido (Schwertmann & Taylor, 1977; Kämpf, 1988). Para a formação da hematita deve haver menor complexação do ferro, ou seja, baixa atividade de sílica em solução e baixos teores de matéria orgânica, dessa forma a ferrihidrita irá sofrer rearranjo interno e desidratação para a formação da hematita (Ker, 1997).

A caulinita ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5(\text{OH})_4$ ) é um argilomineral composto por alumínio, silício, oxigênio e hidroxila. Possui estrutura simples de camadas do tipo 1:1 em que não ocorrem substituições por outros íons, uma vez que não há deficiência de carga em sua estrutura (Castro *et al.*, 2014). Além disso, possui feição diagnóstica em 2205 nanômetros e sua formação ocorre no solo pelo intemperismo e por alteração hidrotermal de aluminossilicatos nas rochas.

A gibbsita ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) é um óxido de alumínio trihidratado identificado em 2265 nanômetros no espectro eletromagnético, Ker (1997) afirma que dois mecanismos básicos têm sido propostos para explicar a origem de gibbsita nos solos: 1) processo rápido de intemperismo nos estágios iniciais da alteração de aluminossilicatos, sobretudo feldspatos, na qual a gibbsita pode ser um dos primeiros produtos de neoformação; 2) intemperismo intenso e de longa duração, envolvendo, inclusive a decomposição (dessilicificação) da caulinita (Ker, 1997). Assim como a caulinita, as feições espectrais da gibbsita são relacionadas às vibrações moleculares da hidroxila (OH) (Madeira Netto & Baptista, 2000) e esse mineral representa, em vários casos, o mineral mais importante da fração argila em latossolos situados em antigas superfícies de erosão (Baptista *et al.*, 1998).

Visualmente já é possível observar a diferença dos dois pontos de coleta (Figura 2 e 3), no solo tratado o albedo é reduzido e as ombreiras de ferro do início do espectro suavizadas, fato este que ocorre devido à presença de matéria orgânica proveniente do lodo de esgoto.

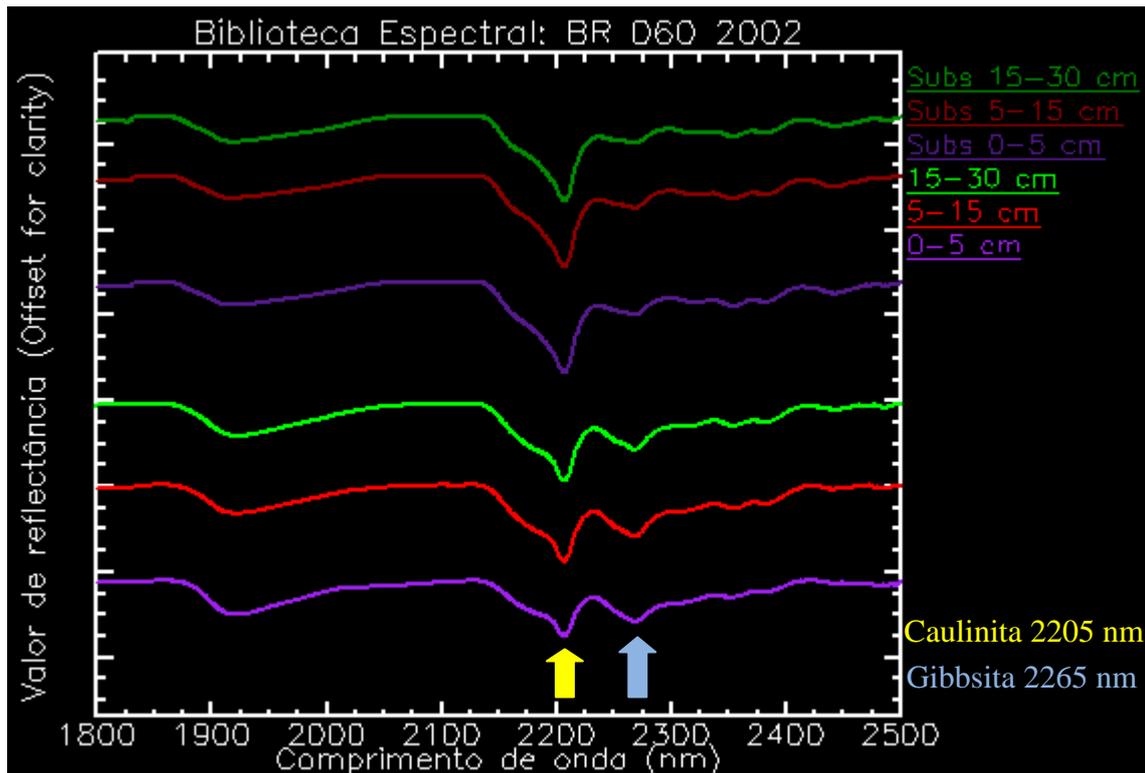


Figura 4. Biblioteca espectral das áreas de substrato e pós-tratada com suas respectivas profundidades com as funções *Continuum Removal* e *Stack Plots* aplicadas.

As feições de absorção dos minerais caulinita e gibbsita da Figura 4 mostram a variação dos dois pontos de coleta, sendo que o substrato não tratado mostra-se mais caulínico, enquanto que o solo pós-tratamento é mais gibbsítico. Para a visualização desse gráfico utilizam-se as ferramentas *Continuum Removal* e *Stack Plots*, a primeira cria uma curva em torno do espectro desconsiderando as absorções e normaliza os dados do eixo Y para valores de zero a um, ou seja, o contínuo tem valor 1 e as absorções variam de zero a um, dessa forma é contornado o efeito de espalhamento da luz na superfície de partículas, a qual dificulta a determinação da abundância dos minerais (Clark & Roush, 1984). A segunda ferramenta é utilizada para que não haja a sobreposição dos dados no gráfico, assim há a melhora da visualização das curvas espectrais.

Uma forma de avaliar essa variação de forma mais precisa e quantitativa é utilizando o cálculo de profundidade de feição, o qual calcula a profundidade das feições mineralógicas pela subtração do valor da feição de absorção com o valor do contínuo e, assim, avalia-se a abundância de determinado mineral.

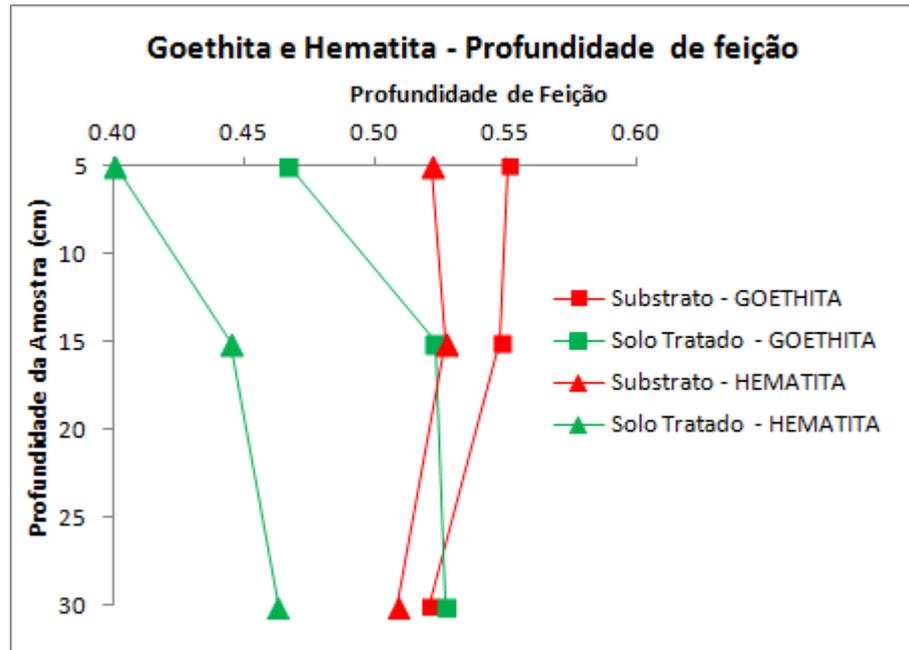


Figura 5. Profundidade de feição dos minerais goethita e hematita em substrato e solo tratado com suas respectivas profundidades.

Observa-se redução do conteúdo dos minerais do substrato para o solo pós-tratamento. A hematita apresenta uma redução proporcionalmente maior em relação à goethita, a qual teve menor redução em quantidade. Na amostra de solo mais profunda (15-30 cm) há aumento da goethita em solo tratado, já a amostra mais superficial (0-5 cm) mostra ainda menor conteúdo de ambos.

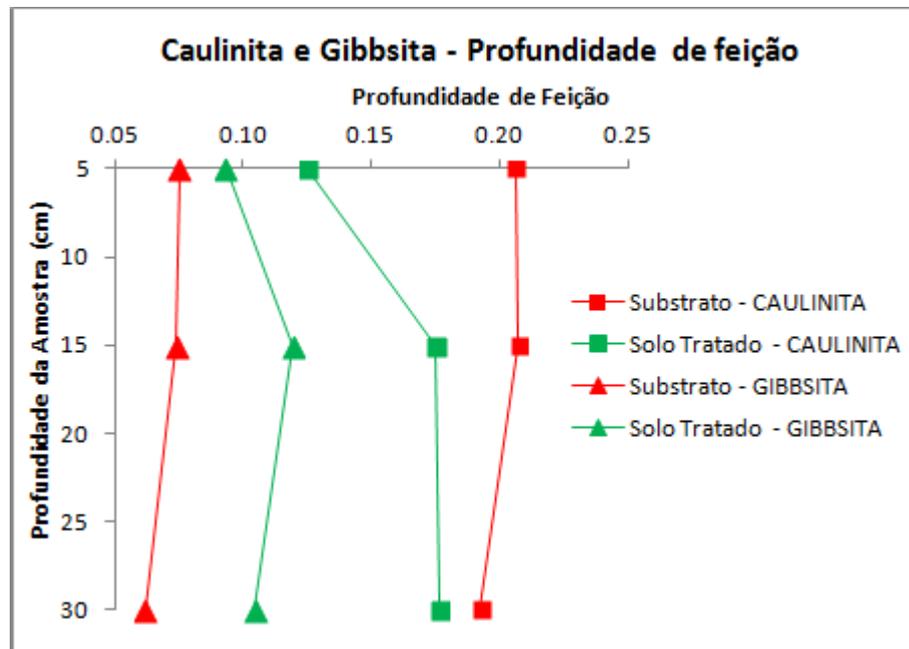


Figura 6. Profundidade de feição dos minerais caulinita e gibbsita em substrato e solo tratado com suas respectivas profundidades.

A dinâmica para a caulinita e gibbsita se difere dos minerais goethita e hematita. No substrato, a caulinita se apresenta em maiores teores, principalmente na amostra mais superficial (0-5 cm), enquanto que no solo tratado há a redução deste mineral não somente na porção superficial, porém em todo o perfil. A gibbsita, porém, tem aumento em sua

concentração no solo pós-tratamento seguindo o padrão da caulinita de maior conteúdo na profundidade média (5-15 cm).

Do ponto de vista da gênese de solos a composição e as transformações mineralógicas dos seus materiais possibilitam melhor entendimento da evolução dos sistemas de intemperismo e pedogênese, uma vez que os minerais são indicadores da dimensão com que os diferentes processos têm atuado nas paisagens atuais. Os óxidos de Fe têm elevada superfície específica, o que resulta em alto poder de adsorção de ânions. São também ricos em micronutrientes e tem ação cimentante, o que confere a esse grupo de minerais, grande importância agrícola (Mota *et al.*, 2007).

A presença da caulinita e da gibbsita nos solos é condicionada, principalmente, pelo conteúdo de sílica, oriunda da evolução pedogenética. Assim, quando a dessilicação é moderada, há formação de caulinita, e quando é total, forma-se a gibbsita (Campos *et al.*, 2008). Os solos caracterizados pela predominância dos minerais de argila do grupo das caulinitas possuem pouca capacidade de reter elementos nutrientes. Como há pouca substituição de átomo central tanto nos tetraedros de caulinita quanto nos octaedros de gibbsita, há pouco desequilíbrio de cargas, gerando poucas cargas negativas, ou seja, pequena capacidade de troca catiônica (CTC). Embora apresentem baixa CTC, tanto a caulinita como a gibbsita, de acordo com Ferreira *et al.* (1999) exercem influência sobre as propriedades físicas do solo, sendo responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura granular e importantes para manter as partículas do solo floculadas, além de dar maior estabilidade aos agregados. Altos teores de gibbsita, por exemplo, favorecem a agregação do solo na forma de estrutura granular fina e muito estável (Campos *et al.*, 2008).

A área tratada com lodo de esgoto tem destaque ao apresentar maiores teores de gibbsita e goethita em relação à área de substrato, principalmente em profundidades de 5-30 cm. A gibbsita apresenta superfície específica e densidade de carga elevadas, o que consequentemente gera grande influência nas propriedades físico-químicas do solo (Campos *et al.*, 2008). Altos teores de goethita são mais comuns em solos de regiões mais frias e úmidas, as quais tem elevado nível de matéria orgânica e, portanto, favorecem na formação da goethita (Almeida *et al.*, 2000). Isso explica o fato de o elevado teor deste mineral no Cerrado estar associado à alta concentração de matéria orgânica advinda do lodo de esgoto.

#### 4. Conclusões

A técnica de espectroscopia de reflectância para análise mineralógica mostrou-se eficiente para avaliação da dinâmica do cambissolo estudado. Observou-se que a área pós-tratamento com o lodo de esgoto apresenta maior teor de goethita e gibbsita ao se comparar com a área de substrato exposto. O tratamento com lodo de esgoto apresentou-se eficiente não somente para a revegetação da área, mas também à evolução do intemperismo nesse solo, o que por sua vez sugere uma evolução pedogenética, a qual não ocorre com o substrato sem tratamento.

#### 5. Referências Bibliográficas

- Almeida, J.; Maçaneiro, K.; Klamt, E. **Mineralogia da fração argila de solos vermelhos com horizontes superficiais brunados do planalto de Lages (SC)**. R. Bras. Ci. Solo, 24:815-828, 2000.
- Baptista, G.M.M.; Martins, E.S.; Madeira Netto, J.S.; Carvalho Junior, O.A.; Meneses, P.R. **Use of AVIRIS data for mineralogical mapping in tropical soils, in the district of Sao Joao D'Alianca, Goias**. In: JPL AIRBORNE EARTH SCIENCE WORKSHOP, 7., 1998, Pasadena. Summaries. Pasadena: NASA, 1998. p.33-42.
- Campos, P.; Lacerda, M.; Papa, R.; Guimaraes, E.; Costa Neto, S. **Difratometria de raios-X aplicada na identificação de gibbsita e caulinita em latossolos do Distrito Federal**. Anais do IX Simpósio Nacional do Cerrado e II Simpósio Internacional de Savanas Tropicais, Brasília – 2008.

- Castro, P. H. M.; Vendrame, P. R. S.; Pinese, J. P. P. **Mineralogia da fração argila de solos localizados em ilhas no alto do Rio Paraná, PR/MS**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 35, n. 2, p. 181-188, jul./dez. 2014.
- Clark, R. N., **Chapter 1: Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy**. In: Manual of Remote Sensing, Volume 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, (A.N. Rencz, ed.) John Wiley and Sons, New York, p 3- 58, 1999.
- Clark, R.N.; Roush, T.L. **Reflectance Spectroscopy: Quantitative Analysis Techniques for Remote Sensing Applications**. JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 89, NO. B7, PAGES 6329-6340, JULY 10, 1984.
- Corrêa, R.S.; Melo Filho, B.; Bernardes, R.S. **Deposição de esgoto doméstico para controle de poluição e revegetação induzida em área degradada**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), Campina Grande/PB, v. 4, n.2, p. 252-256, 2000.
- Corrêa, R.S.; Baptista, G.M.M. **Mineração e áreas degradadas no Cerrado**. Brasília, Ed. Universa, 2004.
- Corrêa, R.S.; Pinheiro, C.; Silva, L. C. R. **Survival and growth of baru (*Dipterix alata* Vog.) treated with sewage sludge, composted garbage or cattle manure on mined spoils in the Brazilian Cerrado**. Sociedade & Natureza (UFU. Impresso), Uberlândia, v. Único, n.S Issue, p. 789-795, 2005.
- Corrêa, R.S.; White, R.E.; Weatherley, A.J. **Effect of compost treatment of sewage sludge on nitrogen behavior in two soils**. Waste Management (Elmsford), Elmsford, v. 26, n.6, p. 614-619, 2006.
- Corrêa, R.S.; Silva, L. C. R.; Baptista, G.M.M.; Santos, P.F. **Fertilidade química de um substrato tratado com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (Impresso), v. 14, p. 538-544, 2010.
- Corrêa, R.S.; White, R.E.; Weatherley, A.J. **Effects of sewage sludge stabilization on organic-N mineralization in two soils**. Soil Use and Management, v. 28, p. 12-18, 2012.
- Costa, E.M.; Silva, H.F.; Ribeiro, P.R.A. **Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, n.17; p. 2013.
- Ferreira, M. M.; Fernandes, B.; Curi, N. **Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos na região sudeste do Brasil**. Revista brasileira de ciência do solo, Campinas, v. 23, p. 507-514, 1999.
- Kämpf, N. **O ferro no solo**. In: Reunião Sobre Ferro Em Solos Inundados, 1, Goiânia, 1988. Goiânia, EMBRAPA - CNPAF, 1988, P.35-71.
- Ker, J.C. **Latossolos do Brasil: uma revisão**. GEONOMOS, v. 5 n.1, 1997, p. 17-40.
- Lopes, A.S. **Solos sob cerrado: manejo da fertilidade para a produção agropecuária**. São Paulo, ANDA, 1994 (2a edição). 62p. (boletim técnico, 5).
- Madeira Netto, J.S.; Baptista, G.M.M. **Reflectância espectral de solos**. Planaltina – EMBRAPA Cerrados, 55p, 2000.
- Mota, J.C.A., Assis Júnior, R.N., Amaro Filho, J., Romero, R.E., Mota, F.O.B., Libardi, P.L. 2007. **Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN**. R. Bras. Ci. Solo, 31:445-454.
- Peña, A.; Mingorance, M.; Rossini-Oliva, S. **Soil quality improvement by the establishment of a vegetative cover in a mine soil added with composted municipal sewage sludge**. Journal of Geochemical Exploration 157 (2015) 178–183.
- Schwertmann, U. & Taylor, R.M. **Iron Oxides**. In: DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, Soil Science Society of America, 1977. p. 145-180.
- Sherman, D.M.; Waite, D.T. **Electronic spectra of Fe<sup>3+</sup> oxides and oxide hydroxides in the near IR to near UV**. American Mineralogist, Volume 70, pages 1262-1269, 1985.
- Tremocoldi, W.A. 2003. **Mineralogia dos silicatos e dos óxidos de ferro da fração argila de solos desenvolvidos de rochas básicas no estado de São Paulo**. Rev. biociênc. Taubaté, v.9, n.1, p.15-22, jan. – mar.
- Tsutya, M. **Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgotos**. In: Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto – Capítulo 4. Editores Wagner Bettiol e Otávio A. Camargo, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000.