



Reconhecimento de solos por meio de gamaespectrometria

Carlos T. C. Nascimento (*), Edi M. Guimarães e Augusto C. B. Pires, Universidade de Brasília, Brazil

Copyright 2005, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Salvador, Brazil, 11-14 September 2005.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 9th International Congress of the Brazilian Geophysical Society. Ideas and concepts of the text are authors' responsibility and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

The purpose of this work is to present a procedure for survey of soils, based on gamma-ray spectrometry. The study area has 5 km² and is located at Jardim Botânico de Brasília, an environmental protection area. Gamma-ray spectrometry survey was carried out in this area, in September 2000. Soil sampling and analysis were also carried out. Results permitted to identify typical patterns of clay rich and sandy soils, in which radioactivity of clay rich is greater than that of sandy soils, although radioactivity originated exclusively from potassium is larger in sandy soils. This fact can be related with the presence of illite in sand soils, diagnosed by X ray diffraction.

Introdução

Os métodos geofísicos têm como uma de suas aplicações, determinar a natureza das estruturas subsuperficiais sem a necessidade de sondagens ou escavações. Cada método geofísico se relaciona com a variação espacial de uma propriedade do subsolo, como por exemplo, densidade, susceptibilidade magnética, condutividade elétrica ou radioatividade.

Estes métodos são largamente utilizados em trabalhos relacionados com mapeamento geológico e prospecção mineral. Desde a década de 1970 eles também vêm sendo utilizados em estudos voltados para prevenção e monitoramento de aspectos relativos à poluição ambiental.

No campo da pedologia, alguns métodos geofísicos têm sido utilizados para medir parâmetros dos solos. Sondas de nêutrons são utilizadas desde a década de 1960 para medição da umidade. Métodos elétricos e eletromagnéticos são utilizados para medição indireta tanto da umidade como da salinidade do solo desde 1940. No entanto, existem poucos trabalhos relatando a utilização de geofísica no estudo e manejo de solos brasileiros, em particular dos latossolos.

O objetivo do trabalho é apresentar um procedimento para reconhecimento de solos, baseado em medições de sua radioatividade natural. A área de estudo foi o Jardim Botânico de Brasília, escolhida devido à existência de um mapa de solos daquele local, bem como ao fato de tratar-se de uma unidade de conservação ambiental, portanto com um mínimo de interferência humana.

Método

Raios gama são uma forma de radiação eletromagnética com comprimento de onda entre 10⁻¹⁴ e 10⁻⁸m. Estes raios são emitidos durante o decaimento radioativo de elementos usualmente presentes em todos os solos e rochas, ainda que em quantidades reduzidas. As principais fontes de radiação são o ⁴⁰K, e as séries do ²³⁸U e do ²³²Th. Na crosta terrestre K, U e Th têm abundâncias respectivas de 3%, 3 ppm e 12 ppm. O ⁴⁰K corresponde a 0,012% do potássio total, o ²³⁸U corresponde a 99,3% do urânio total e o ²³²Th a 100% do tório total (Wilford *et al.* 1997).

A gamaespectrometria mede a abundância relativa de K, U e Th em rochas e solos por meio da detecção e quantificação da radiação gama natural. O ⁴⁰K emite raios gama quando decai para ⁴⁰Ar. A energia da radiação emitida é de 1,46 MeV. As concentrações de U e Th são medidas mais complexas, por que o ²³⁸U e o ²³²Th decaem por meio de uma série de núclídeos filhos até alcançarem isótopos de Pb estáveis. A energia da radiação diagnóstica do ²³⁸U é 1,76 MeV e associa-se ao núclídeo ²¹⁴Pb. A energia da radiação diagnóstica do ²³²Th é de 2,62 MeV e associa-se ao núclídeo ²⁰⁸Tl (Wilford *et al.* 1997).

Gamaespectrômetros são equipamentos que separam a radiação gama em duas ou mais componentes de energia. O detector, normalmente um cristal de iodeto de sódio ativado por tálio (NaI(Tl)), absorve a radiação gama e a transforma em pulsos luminosos ou cintilações. Estas cintilações são convertidas em sinais elétricos (diferença de potencial) proporcionais à intensidade da luz. Em seguida, as medidas em Volts são separadas em classes, dependendo da magnitude, de modo a se obter um espectro de energia dos raios gama incidentes. Um processo de calibração permite que a quantidade da radiação com energias 1,46 MeV, 1,76 MeV e 2,62 MeV, medida em cintilações por segundo (cps), seja expressa em percentagem (caso do K), ou ppm (caso do U e Th) (Hansen, 1975).

O Jardim Botânico de Brasília (JBB) é um órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Distrito Federal. Ele localiza-se na porção central do DF, ocupando cerca de 45 km² (Figura 1) (SEMATEC, 1994).

A porção norte do JBB, atualmente aberta à visitação, foi alvo de um levantamento pedológico com o intuito de melhor planejar as atividades a serem ali desenvolvidas (Cavedon e Sommer, 1990). Este trabalho consistiu na descrição de 19 perfis de solo, com amostragem de cada horizonte identificado para fins de análise, e da coleta de 26 amostras superficiais e subsuperficiais para avaliação da disponibilidade de nutrientes. O principal resultado deste trabalho foi a elaboração de um mapa de solos em escala 1:10.000, no qual é possível visualizar 21

unidades de mapeamento, entre cambissolos, solos litólicos e latossolos (Figura 2).

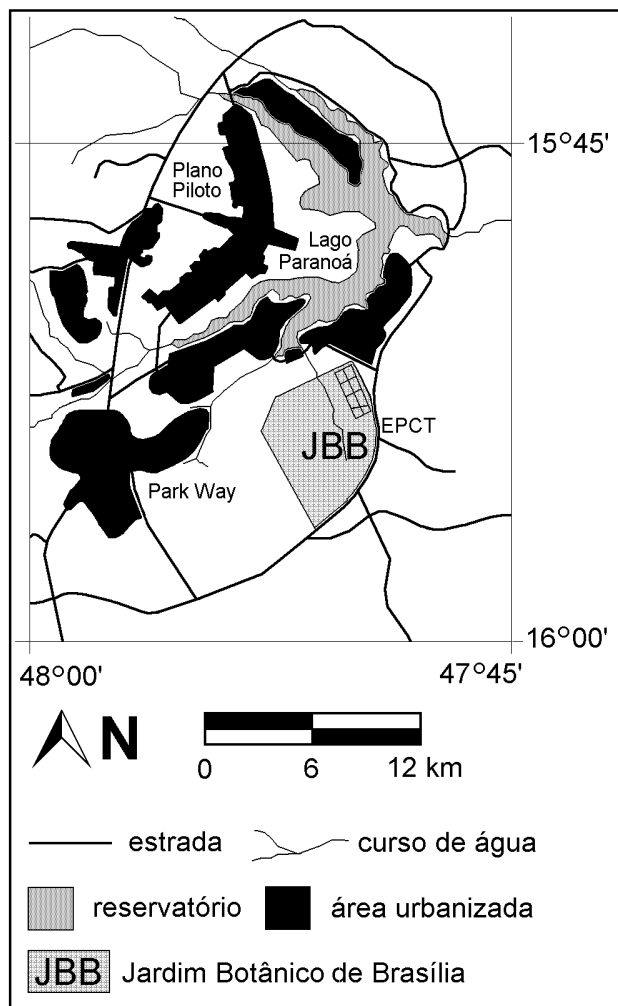


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

No mapa de solos do JBB, C corresponde a cambissolo, com teor de argila entre 15% e 35%, localmente cascalhento (C2). RL corresponde a solo litólico, assentado diretamente sobre quartzito, com teor de argila entre 15 e 35%, com cascalho e afloramentos de rocha. LV corresponde a latossolo vermelho, com teor de argila variando entre 60% (LV1) até 15% (LV3). LVA corresponde a latossolo vermelho amarelo, com teor de argila variando entre 15% (LVA1) até 60% (LVA3).

A existência deste mapa de solos motivou a realização de trabalhos voltados para o uso de métodos geofísicos aplicados ao reconhecimento de solos. Nascimento *et al.* (2003) demonstrou que medidas de resistividade elétrica podem ser usadas para distinguir entre solos arenosos e argilosos, independente do teor de umidade destes solos.

O equipamento utilizado foi obtido por empréstimo junto ao Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná. Trata-se de um gamaespectrômetro portátil, modelo GS-512, fabricado por Geofyzika, República Tcheca, projetado para operar com 512 canais, entre 0,1

e 3 MeV (Figura 3). O equipamento compõe-se de dois módulos, sonda e console, respectivamente. A sonda tem formato cilíndrico, mede 45 cm de comprimento por 12,5 cm de diâmetro e pesa 4,6 kg. Trata-se de um invólucro de alumínio que contém o detector, no caso uma pastilha de iodeto de sódio ativado por tálio (NaI(Tl)), medindo 7,6 x 7,6 cm, o circuito eletrônico de detecção, e uma fonte radioativa de referência (^{137}Cs). O console mede 23,5 x 23 x 9 cm, pesa 2 kg e contém os circuitos para armazenagem e processamento dos sinais medidos.

As medições gamaespectrométricas foram realizadas em setembro de 2000. Durante a obtenção das leituras, a sonda permaneceu apoiada verticalmente no solo por 3 minutos, período durante o qual mediram-se as radiações associadas ao ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th e contagem total. Em cada ponto assinalado na figura 4, posicionou-se a sonda em 3 locais, definindo-se um triângulo com cerca de 3 metros de lado no terreno. Este procedimento possibilitou a aquisição de 3 conjuntos de medidas em cada ponto, totalizando 160 medidas na área de estudo. Posteriormente, calculou-se a média aritmética referente a cada isótopo e à contagem total, bem como as razões K/U e K/Th.

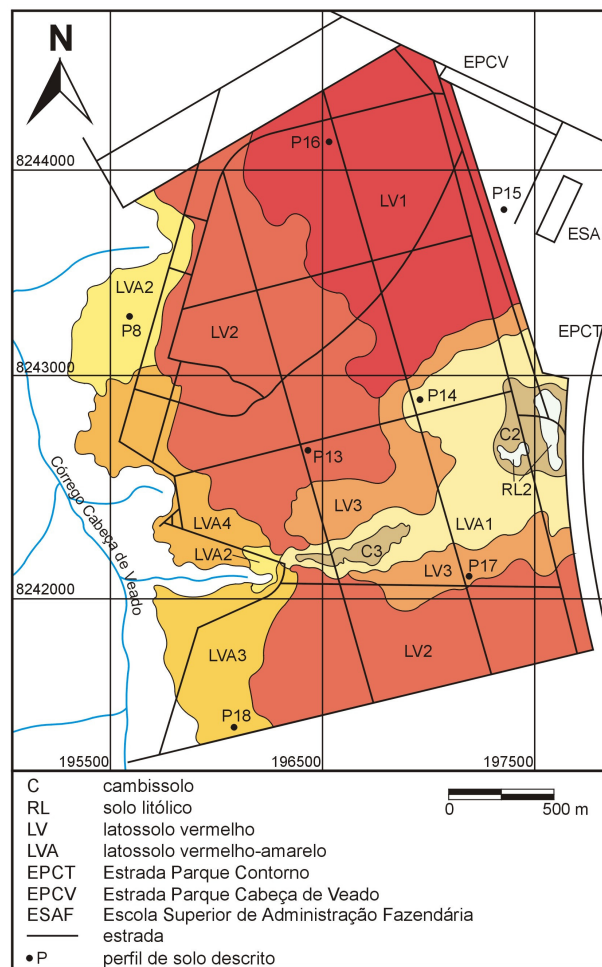


Figura 2 - Mapa de solos do Jardim Botânico de Brasília. Modificado de Cavedon e Sommer (1990).

Parâmetros de correção foram obtidos a partir de medidas realizadas ao início e ao final de cada dia de trabalho. Estas medições foram obtidas sobre o lago Paranoá (Figura 1), utilizando-se para tanto de um cais de madeira, o qual possibilitou levar o equipamento até um local onde a lâmina de água era de 1,5 metros, aproximadamente. A conversão das medidas em cps para unidades de concentração também pode ser feita pelo equipamento, a partir de constantes de conversão previamente armazenadas. Contudo, durante os trabalhos no JBB, esta conversão resultou em percentuais negativos para o potássio, motivo pelo qual optou-se por trabalhar com as concentrações em cps.



Figura 3 - Gamaespectrômetro GS-512, utilizado durante os trabalhos de campo.

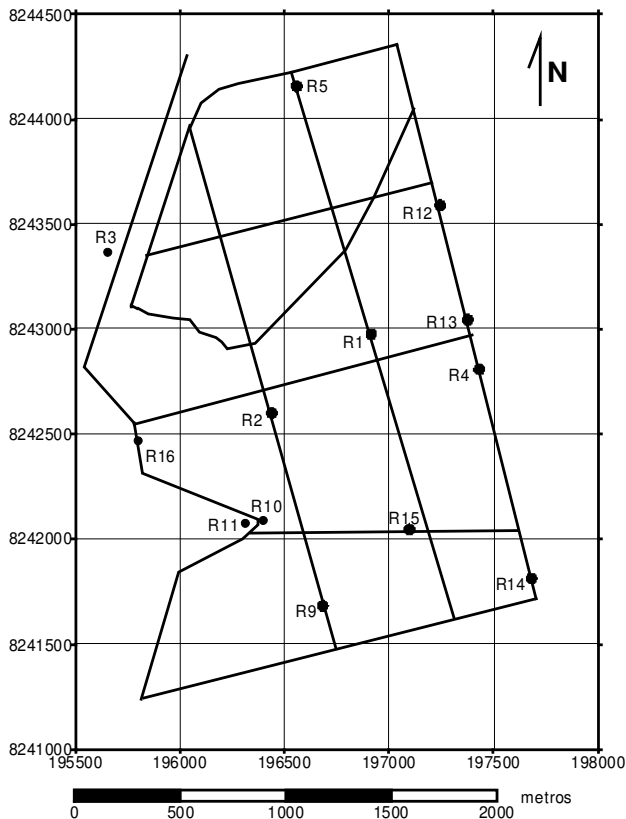


Figura 4 - Localização das medidas de radiação gama realizadas no Jardim Botânico de Brasília.

Os locais, R1, R2, R3, R4 e R5, haviam sido amostrados em fevereiro de 2000. Durante o trabalho de amostragem, utilizou-se um trado manual de 4 polegadas de diâmetro para abrir os furos. O critério para definição da profundidade das amostras foi essencialmente prático e correspondeu ao comprimento da haste do trado, 85 centímetros. Nos pontos R3 e R4 não se conseguiu penetrar abaixo de 50 centímetros devido à ocorrência de quartzito.

A composição mineralógica das amostras foi determinada por meio de difração de raios X em amostras não orientadas e orientadas sobre vidro plano. As amostras não orientadas corresponderam à fração (areia + argila + silte) do solo, ao passo que as orientadas corresponderam à fração argila. As amostras orientadas foram analisadas antes e após solvatação com etilenoglicol e aquecimento a 490°C.

A orientação da amostra põe em evidência e intensifica as reflexões basais dos argilominerais, aumentando a sensibilidade da análise e facilitando a identificação dos minerais. A solvatação é um teste para detecção de argilominerais expansivos, que aumentam a distância interplanar pela absorção de substâncias orgânicas como o etilenoglicol e o glicerol. O aquecimento tem efeito oposto, causando a expulsão de moléculas de água do espaço interfoliar, e provocando uma redução da distância interplanar (Alves, 1987).

Utilizou-se um difratômetro Rigaku, modelo Geigerflex, com tubo de cobre, 40 kV, 20 mA, no Laboratório de Difractometria de Raios X da Universidade de Brasília. Os difratogramas, obtidos para os intervalos de 2 theta entre 2° e 35°, varredura contínua, foram analisados com auxílio do *software* JADE, Materials Data Inc., para identificação da mineralogia a partir de pesquisa automática em banco de dados mineralógicos do International Centre for Diffraction Data.

Resultados

Observou-se um padrão segundo o qual os latossolos vermelhos são mais radioativos que os vermelho amarelos e os cambissolos (Figura 5). Os locais R15, R3 e R16 parecem fugir ao padrão identificado, mas a explicação para este fato parece residir na textura do solo destes locais. As razões K/U e K/Th foram particularmente úteis na distinção entre estes solos. Estas razões parecem indicar que, embora os latossolos vermelhos escuros sejam os mais radioativos, a radiação atribuída exclusivamente ao potássio é maior nos latossolos vermelho amarelos e cambissolos (Figura 6).

A figura 7 mostra os difratogramas obtidos para as 5 amostras. Existem 3 conjuntos de difratogramas; o primeiro deles corresponde ao material com menos de 1 mm de diâmetro e não orientado; o segundo conjunto corresponde exclusivamente à fração argila, orientada sobre vidro plano; o terceiro corresponde exclusivamente à fração argila, orientada sobre vidro plano e aquecida a 490°C. Difratogramas correspondentes à fração argila orientada e solvatada com etilenoglicol também foram obtidos, mostrando-se idênticos aos das amostras aquecidas, motivo pelo qual eles não foram apresentados. A figura 7 mostra que gibbsita, goethita,

hematita, rutilo, anatásio, quartzo, vermiculita, caulinita e illita são os constituintes minerais dos solos analisados.

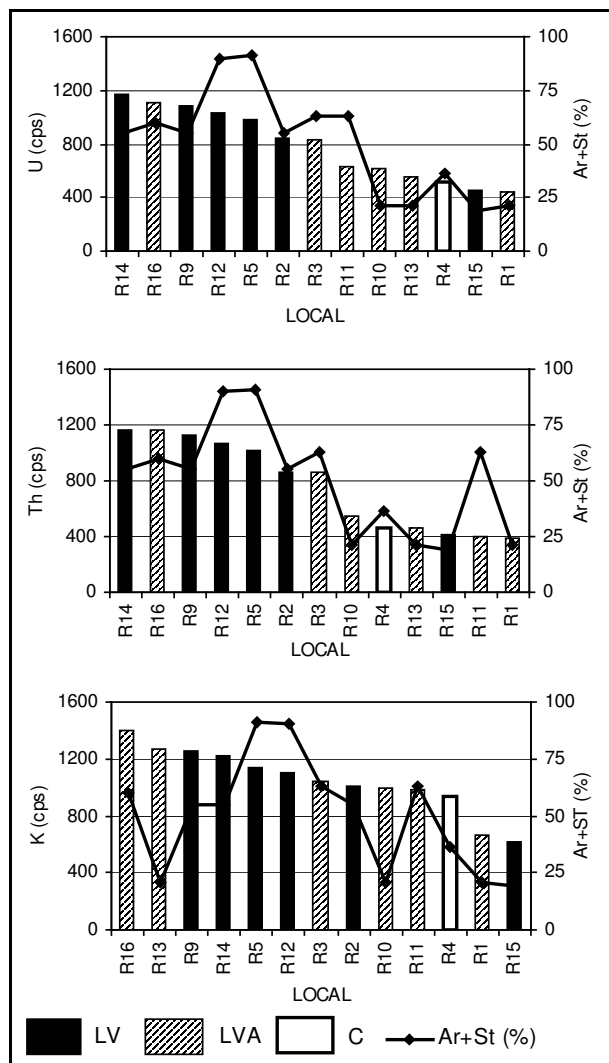


Figura 5 - Valores médios de radiação gama (U, Th e K) nos 13 locais visitados em setembro de 2000.

Os difratogramas do material com menos de 1 mm mostram uma tendência no sentido R5→R3→R2→R1→R4, inversa em relação à intensidade das reflexões correspondentes a caulinita e gibbsita, e direta em relação às reflexões correspondentes ao quartzo. Os picos correspondentes a goethita, hematita, rutilo e anatásio são mais definidos nas amostras R5, R3, R2. Os picos correspondentes a illita e vermiculita são visíveis apenas nas amostras R1 e R4.

A gibbsita é o constituinte maior das amostras LV (R5 e R2) e na amostra R3 classificada como LVA. Os picos correspondentes à caulinita têm melhor definição nas amostras R5 e R3. Estudos efetuados por Reatto *et al.* (1999), mostram que caulinita pode corresponder a 50% da fração argila em LV, e 15% desta fração em LVA, sendo nos dois casos o argilomineral predominante.

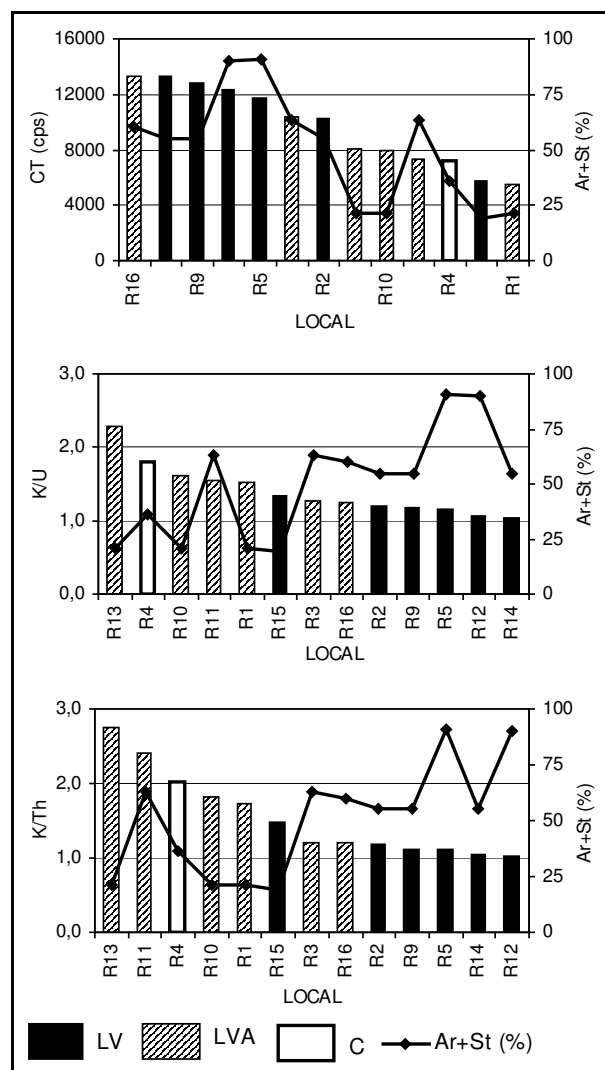


Figura 6 - Valores médios de radiação gama (contagem total, K/U e K/Th) nos locais visitados em setembro de 2000.

Considerando a hipótese de formação da gibbsita a partir da caulinita, por meio de remoção de sílica e hidratação, conforme descrito em Velde (1992), espera-se uma relação inversamente proporcional entre os teores destes minerais de alumínio. Perfis de solo na região do Distrito Federal, descritos por Macedo e Bryant (1987) mostram que, tanto no LV como no LVA, a gibbsita predomina sobre a caulinita até 50 cm de profundidade. A partir de 3 metros de profundidade a caulinita predomina sobre a gibbsita.

Com relação aos óxidos e hidróxidos de ferro, notam-se picos da hematita na amostra R5, picos da goethita nas amostras R1 e R4, e a ocorrência de ambos os minerais nas amostras R3 e R2. Macedo e Bryant (1987) observaram que nos LV, até 5 metros de profundidade, predomina goethita e abaixo de 5 metros predomina hematita. Nos LVA, até 5 metros a goethita predomina ou ocorre isoladamente e abaixo de 5 metros predomina hematita.

Conforme Reatto *et al.* (1999), no LV, o teor de hematita pode ser até cinco vezes maior que de goethita, ao passo que no LVA, o teor de goethita pode ser até vinte vezes mais alto que de hematita. Caulinita, gibbsita, goethita e hematita compõem cerca de 98% da fração argila em latossolos do Distrito Federal.

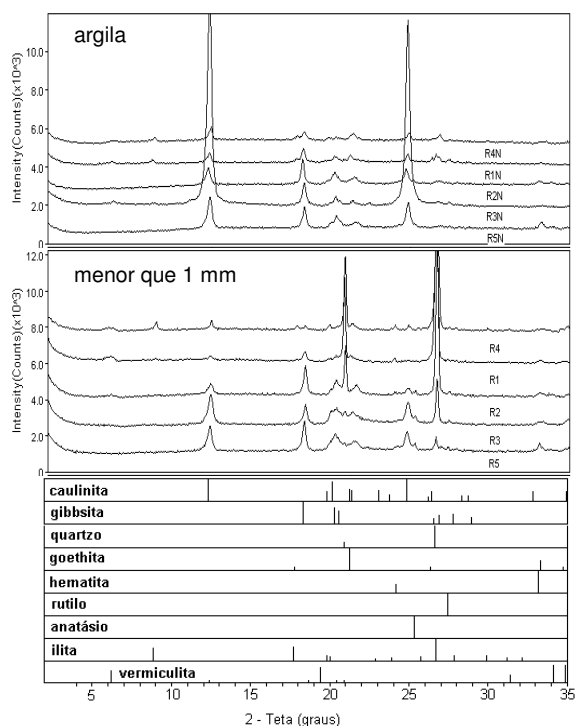


Figura 7 – Difractogramas obtidos para a fração argila e para a fração menor que 1 mm.

As análises efetuadas por Cavedon e Sommer (1990) indicam que a seqüência gradacional descrita acima corresponde à substituição de LV, com predomínio da fração argila + silte e maior quantidade de matéria orgânica, por LVA, onde predomina areia fina e existe menor teor de matéria orgânica.

Na fração argila, nota-se o quase desaparecimento dos picos correspondentes ao quartzo, indicando que este mineral estava presente principalmente nas frações areia fina e silte. A remoção do quartzo facilitou a observação dos picos da caulinita e da gibbsita. Em relação à gibbsita, observa-se a manutenção da seqüência inversa R5→R3→R2→R1→R4. Já a caulinita parece ser mais abundante na amostra R3.

A seqüência gradacional R5→R3→R2→R1→R4 também está representada nas medidas gamaespectrométricas (Figuras 5 e 6). Os isótopos radioativos de potássio, tório e urânio são mais abundantes nas amostras R5, R3 e R2, diminuindo nas amostras R1 e R4. A maior radioatividade natural manifestada pelos solos argilosos pode estar relacionada com adsorção de potássio, urânio e tório pela caulinita. A radiação atribuída exclusivamente ao potássio parece ser mais elevada no LVA, o que provavelmente se relaciona com a presença de ilita.

A ilita parece ocorrer de forma bastante restrita nos solos analisados, no entanto este mineral, ao lado da caulinita e do quartzo, compõe a mineralogia de ardósias pertencentes ao Grupo Paranoá, cuja ocorrência é comum na região do Distrito Federal.

Rodrigues e Klamt (1978) sugerem a formação de latossolos a partir da ardósia. Considerando este modelo de formação, admite-se um processo de remoção da ilita e conseqüentemente do ^{40}K . Isto explicaria porque o teor deste isótopo é mais elevado na ardósia que no solo. A caulinita não seria removida inicialmente, de modo que um solo caulinítico, como o LV, apresentaria teores de ^{238}U e ^{232}Th comparáveis aos da ardósia. No decorrer do tempo a caulinita poderia dar lugar a gibbsita, liberando ^{238}U e ^{232}Th neste processo. Deste modo, solos mais pobres em caulinita, como os LVA, apresentariam menores valores dos três isótopos radiogênicos.

Melo *et al.* (2000) quantificaram o potássio total nas frações argila, silte e areia de quatro latossolos amarelos e de quatro latossolos vermelhos dos estados de Espírito Santo, Minas Gerais e Roraima. Observaram que, em média, os latossolos vermelhos têm quase três vezes mais potássio que os latossolos amarelos. Aparentemente o K do latossolo amarelo está principalmente na fração argila (cerca de 0,4 g / kg de solo), ao passo que o K do latossolo vermelho está principalmente na fração silte (cerca de 1 g / kg de solo). Com relação à mineralogia da fração silte, observou-se que agregados de caulinita dificilmente ultrapassam 10% no latossolo amarelo. No latossolo vermelho este percentual pode chegar a 50%.

Conclusões

Do ponto de vista químico e mineralógico, os solos de textura fina tem quantidades relativamente grandes de argilominerais e pequenas de quartzo, o inverso ocorrendo com os solos arenosos. A caulinita adsorve potássio, urânio e tório e deste modo, quanto mais caulinita, maior a quantidade de radiação dos três isótopos. O LV tem mais caulinita que o LVA, por isto é mais radioativo. O LVA tem menos caulinita, mas também tem ilita, um argilomineral potássico. Essa quantidade adicional de potássio eleva a contribuição radiométrica do ^{40}K em relação à dos outros isótopos.

Referências

- Alves, D.B., 1987, Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisas da Petrobrás: Boletim de Geociências da Petrobrás, Vol. 1, p157-175.
- Cavedon, A. D., e Sommer, S., 1990, Jardim Botânico de Brasília; Levantamento Semidetalhado dos solos. Brasília, Fundação Zoobotânica do Distrito Federal, 95p.
- Hansen, D.A., 1975, Geological Applications Manual for Portable Gamma Ray Spectrometers. Toronto, Exploranium G. S. Limited. 87p.

- Macedo, J. e Bryant, R.B.**, 1987, Morphology, mineralogy, and genesis of a hydrosequence of oxisols in Brazil: Soil Science Society of America Journal, Vol. 51, p690-698.
- Melo, V.F., Novais, R.F., Fontes, M.P.F., e Schaefer, C.E.G.R.**, 2000, Potássio e magnésio em minerais das frações areia e silte de diferentes solos: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vol. 24, p269-284.
- Nascimento, C. T. C., Pires, A. C. B., e Moraes, R. A. V.**, 2003, Variação sazonal da resistividade em latossolos: Congresso da SBGf, Rio de Janeiro. In CD-ROM.
- Reatto, A.; Martins, E.S.; Guimarães, E.M.; Spera, T.M.; Simm, K.M.C.B.; Correia, J.R.**, 1999. Variabilidade Mineralógica de Latossolos na Bacia do Rio Jardim, DF. Planaltina, EMBRAPA, 24p.
- Rodrigues, T.E. e Klamt, E.**, 1978, Mineralogia e gênese de uma seqüência de solos do Distrito Federal: Revista Brasileira de Ciência do Solo, Vol. 2, p132-139.
- SEMATEC**, 1994, Mapa Ambiental do Distrito Federal; Escala 1:150.000. Brasília, Secretaria do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia.
- Velde, B.**, 1992, Introduction to Clay Minerals. London, Chapman & Hall, 198p.
- Wilford, J.R., Bierwirth, P.N., Craig, M.A.**, 1997, Application of airborne gamma-ray spectrometry in soil/regolith mapping and applied geomorphology: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, Vol. 17, p201-216.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo financiamento da pesquisa. A Sr^a Anajúlia Heringer Salles, diretora do JBB, por autorizar a execução do trabalho de campo. Ao professor Francisco J. F. Ferreira, da Universidade Federal do Paraná, pelo empréstimo do gamaespectrômetro. Ao geólogo Maximilan Forlin, pelo auxílio nos trabalhos de campo. Aos professores Maria Leonor R. C. L. Assad e Roberto A. V. Moraes, da Universidade de Brasília pela leitura do texto.