

Comparação entre mapas de solos obtidos por métodos tradicionais e por sensores remotos orbital e terrestre

Marcos Rafale Nanni¹
José Alexandre M. Demattê²
Carlos Antonio da Silva Junior¹
Franciele Romagnoni¹
Anderson Antonio da Silva¹
Everson Cezar¹
Aline de Carvalho Gasparoto¹
Rafael Moreno Campos¹
Mônica Sacioti¹
Marcelo Luiz Chicati¹
Roney Berti de Oliveira¹

¹ Universidade Estadual de Maringá
Av. Colombo 5790, Zona 07 – 87020-900 - Maringá - PR, Brasil
mrnanni@uem.br

² Universidade de São Paulo - USP
Av. Pádua Dias 19 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
jamdemat@usp.br

Abstract. The objective of this study was to evaluate the use of laboratory and orbital sensor in the soil mapping in a complete bare soil area with 180 ha located in Brazil. 180 points were located and georeferenced in a regular grid (100 x 100 m); one point per ha. In each point, soil samples were collected (0-20; 80-100 cm depths). Based on the traditional soil analysis and field work (with profile evaluation), a detailed soil map (MS1) was developed as to be the “real pattern” with 18 soil classes and 53 polygons. Strategies for soil mapping were developed to compare with SM1, as follows: (a) Spectral curves (400-2500 nm) were acquired from soil samples (both depths of each point). Data was modulated and cluster analysis grouped the spectral curves. Based on these analyses, 12 soil classes was determined (MS2); (b) The second method consisted in a production of the soil map by using orbital spectral response of the surface soil information from Landsat, although using cluster analysis (MS3). With this method, 9 groups were obtained. Statistics compared MS1 with others maps. Both sensors helped on the determination of soil class limits. The main confusion occurred in transition areas of soils. The methods cannot determine a detailed soil map, but can determine the main groups of soils. The main conclusion is that, in this complex area, the remote sensing techniques can assist a soil map at high level scales, but cannot reach its 100%, thus been necessary some field work.

Palavras-chave: digital soil mapping, reflectance, orbital and terrestrial sensor, mapeamento digital dos solos, reflectância, sensoriamento remoto orbital e terrestre.

1. Introdução

O inventário sobre solos pode ser realizado pelos métodos convencionais utilizando-se fotointerpretação da paisagem e delimitação de suas unidades fisiográficas (Goosen, 1968). Geralmente esses métodos são trabalhosos, caros e demorados, quando comparados com as modernas técnicas de mapeamento.

Para solução deste e outros problemas o sensoriamento remoto vem se destacando como uma importante ferramenta, que pode auxiliar no reconhecimento de solos (Demattê et al., 2001), sendo que a incorporação de imagens de satélites dentro de um programa de mapeamento de solos, para delineamento de seus limites, tem se tornado extremamente significativo.

No Brasil, o monitoramento dos solos por meio de imagens orbitais é, atualmente, de grande utilidade, haja vista sua extensão territorial, sua enorme diversidade de solos, assim

como a ocorrência de regiões de desenvolvimento agrícola contrastante. Entretanto, poucos são os trabalhos que procuram caracterizar os solos em níveis taxonômicos mais elevados utilizando os dados do TM/Landsat, principalmente quanto ao uso da reflectância na caracterização pedológica, apesar de seu potencial comprovado por trabalhos internacionais.

Além deste aspecto, a utilização do sensoriamento remoto tem grande potencial no complemento das informações necessárias para o melhor desenvolvimento agrícola junto à recentemente denominada agricultura de precisão.

Este estudo teve por objetivo comparar e avaliar o mapeamento de solos pelos métodos denominados convencionais (análise fisiográfica) e não convencionais (radiometria laboratorial e orbital).

2. Material e Métodos

2.1. Caracterização da área de estudos

A área estudada está localizada no município de Rafard, sudoeste do estado de São Paulo, Brasil, apresentando 180 ha. Das 12 ordens taxonômicas de Solos, cinco foram encontrados nesta região: Latossolos, Neossolos, Nitossolos, Argissolos e Cambissolos. Geologicamente, a área é complexa e heterogênea, apresentando materiais basálticos, arenitos e siltitos. 180 pontos foram localizados e georreferenciados em uma grade regular (100 x 100 metros) com um ponto/ha. A grade regular representa 180 células onde foram coletadas amostras de solo (0-20; 80-100 cm) para posterior análise laboratorial. Toda a área encontrava-se com solo exposto no momento da tomada da imagem de satélite.

O Sistema de Informação Geográfica, SPRING (Câmara et. al., 1999), foi utilizado para executar o trabalho cartográfico. Criou-se um banco de dados com este sistema, a fim de incorporar as informações geoespacializadas de cartas planialtimétricas, dados coletados no campo utilizando receptores GPS e imagens orbitais.

2.2. Análises de solos

As amostras de solo coletadas foram encaminhadas ao laboratório onde foram secas a 45°C durante 48 h e peneiradas a 2 mm. As seguintes análises foram realizadas: distribuição do tamanho de partícula (DTP); Fe₂O₃, SiO₂ e TiO₂ totais extraídos por digestão com ácido sulfúrico (Camargo et al., 1986); soma de cátions (SC); capacidade de troca de cátions (CTC); saturação por bases, V% ($V\% = SC * 100 / CTC$); saturação por alumínio, m% ($m\% = Al^{3+} / SC + Al^{3+}$); atividade de argila, T ($T = CTC * 100 / \text{argila}$) e matéria orgânica (MO) conforme Raij e Quaggio (1986). Coloração pela representação de Munsell foi utilizada para caracterizar as amostras de solo seco e úmido.

2.3. Obtenção dos dados espectrais

As curvas espectrais foram obtidas para todas as amostras de solos coletadas em duas profundidades por meio do espectrorradiômetro Filedspec Jr 3 (400-2500 nm). Inicialmente 22 bandas e 13 alturas foram extraídas de intervalos das curvas espectrais conforme metodologia estabelecida por Nanni e Demattê (2006).

Os números digitais (DN) obtidas da imagem do sensor TM-Landsat foram transformadas em reflectância aparente e apropriadamente ajustadas para os efeitos atmosféricos (Thome et al., 1997, Demattê e Nanni (2003).

2.4. Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos (Cluster Analyses) foi estabelecida utilizando-se o sistema SAS. Esta metodologia foi utilizada para produção os mapas de solos obtidos com o uso dos dados de reflectância orbital e laboratorial. Este método define grupos homogêneos pela união

de células baseado em seus valores quantitativos das bandas e alturas das curvas espectrais de cada ponto amostrado. O método escolhido para o agrupamento foi o “Average Linkage”. A utilização deste método deve-se pela possibilidade de construção de grupos hierárquicos e dendrogramas. Cada célula (pixel) foi identificada nos seus respectivos grupo de solos, possibilitando a produção do mapa. Esse método foi utilizado tanto para os dados de laboratório como aqueles obtidos das imagens orbitais separadamente.

2.5. Produção dos mapas de solos

Os mapas de solos foram estabelecidos por diferentes tecnologias e várias sequências foram utilizadas para estabelecimento das unidades de paisagem para a mesma área conforme descrito a seguir.

Mapa 1 (MP1). O mapa de solos detalhado tradicional foi obtido com a locação de 185 pontos de amostragem (1/ha) em um grid de 100x100m em uma grade regular utilizada para subdividir a área de acordo com o método da Embrapa (Embrapa, 1996). Todos os pontos foram georreferenciados com um receptor GPS de precisão. As amostras de solo foram coletadas por tradagens nas profundidades de 0-0,20 e 0,80-1,00 m. Dezoito perfis de solo foram descritos em áreas representativas conforme Lemos e Santos (2004). Com o uso do Spring foi produzido um mapa de solos onde cada classe foi representada por uma cor diferente em cada célula da grade regular.

Mapa 2 e 3 (MP2) (MP3). O Mapa de Solo 2 (Mapa de solos com dados espectrais de laboratório) e Mapa de Solo 3 (Mapa de solos com dados orbitais) foram obtidos com o uso da análise de agrupamentos.

Para o mapa de solos 2, inicialmente, 22 bandas e 13 de altura foram identificados nas curvas espectrais obtidos das amostras de solo de acordo com metodologia descrita por Nanni & Demattê (2006). A análise de agrupamento foi realizada pelo software SAS (SAS, 1992). Amostras espectralmente semelhantes foram agrupadas de acordo com as diferentes profundidades. O melhor agrupamento foi utilizado para gerar o mapa de solos. Cada amostra de solo foi atribuída a um conjunto específico e foi representada graficamente no mapa. Para obtenção do mapa de solos 3, foram utilizadas as reflectâncias obtidas em laboratório, referente as faixas espectrais que simularam as bandas do TM-Landsat.

2.6. Comparação entre os mapas de solos/Tabulação Cruzada

Realizou-se, no sistema Spring, a tabulação cruzada entre o MP1 com os demais (MP2 e MP3), para observar se as diferenças entre um mapa detalhado e as demais tecnologias. Como resultado foram obtidos polígonos de erro/acerto entre o mapa estabelecido como padrão e os demais.

3. Resultados e Discussão

A distribuição espacial dos solos foi bastante heterogênea, devido à grande variedade de materiais geológicos existentes e das condições pedogenéticas. Com o auxílio da carta planialtimétrica da área e a geração de um modelo digital do terreno, estabeleceram-se limites de solos relacionando-se cada ponto de tradagem com as condições de relevo e as observações e notações realizadas no campo. O mapa gerado pelos limites é apresentado na Figura 1. Foram conotados 53 polígonos para as 18 classes mapeadas representando unidades simples de mapeamento.

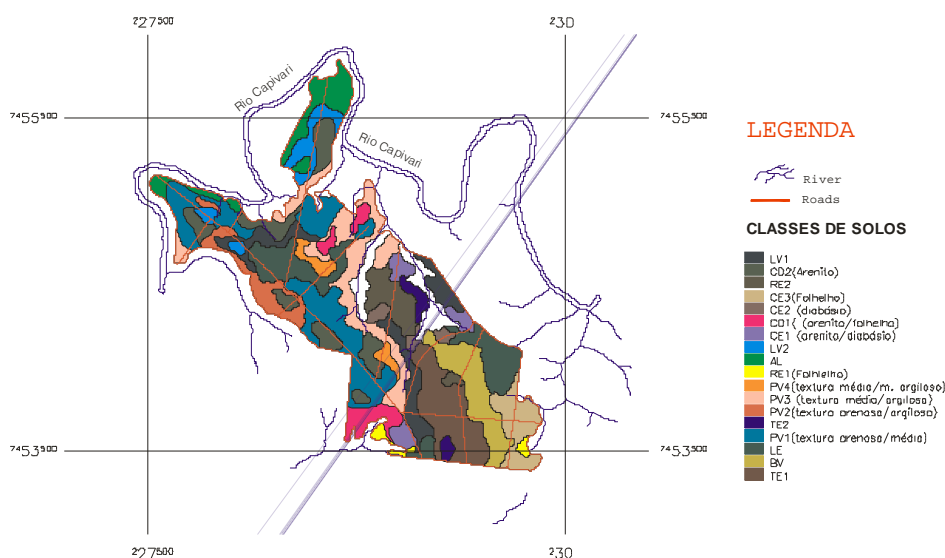


Figura 1. Distribuição espacial das classes de solos contidas na área de estudo e obtidas pela metodologia usual.

3.1. Comparação entre o mapa de solos 1 com o mapa de solos 2

O MP1 foi obtido pelo método tradicional, definindo-se uma classe de solo para cada ponto de amostragem realizada. O Mapa de Solos 2 foi obtido pela análise de agrupamento das reflectâncias das amostras de solo, utilizando as 22 bandas e 13 de altura, como variáveis da análise.

De acordo Curi (1983), cada indivíduo pertencente a uma amostra multivariada pode ser considerada como sendo com um ponto no espaço multidimensional Euclidiano, quando realizou-se, nesta amostra, várias medidas. O dendrograma obtido pela análise de cluster é mostrado na Figura 2a.

Analisando-se a Figura 3a, observa-se que para esta análise foram separados doze grupos utilizando-se o coeficiente de similaridade com valor 0,33. Este valor foi estabelecido pelo pseudo t^2 com maior pico (SAS, 1992), o qual se apresentou bastante próximo àquele estabelecido por Demattê (1999).

De posse dos grupos, cada ponto de tradagem foi identificado, através de uma cor pelo sistema SPRING, obtendo-se o mapa de grupos obtidos pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, os dados de reflectância (Figura 2b).

O número de agrupamentos (12) foi menor que o número de classes de solos (22) obtido pelo método convencional. Deve-se deixar claro que a análise de agrupamento não segue nenhuma classificação pré-estabelecida, ou seja, não há classes de solos envolvidas no processo de análise, mas sim indivíduos com características que podem ou não assemelhar-se de acordo com a análise envolvida (Curi, 1983). Para comparação entre as áreas ocupadas para cada classe em relação aos dois mapas, a Tabela 1 apresenta o resultado estabelecido pelo cruzamento entre eles.

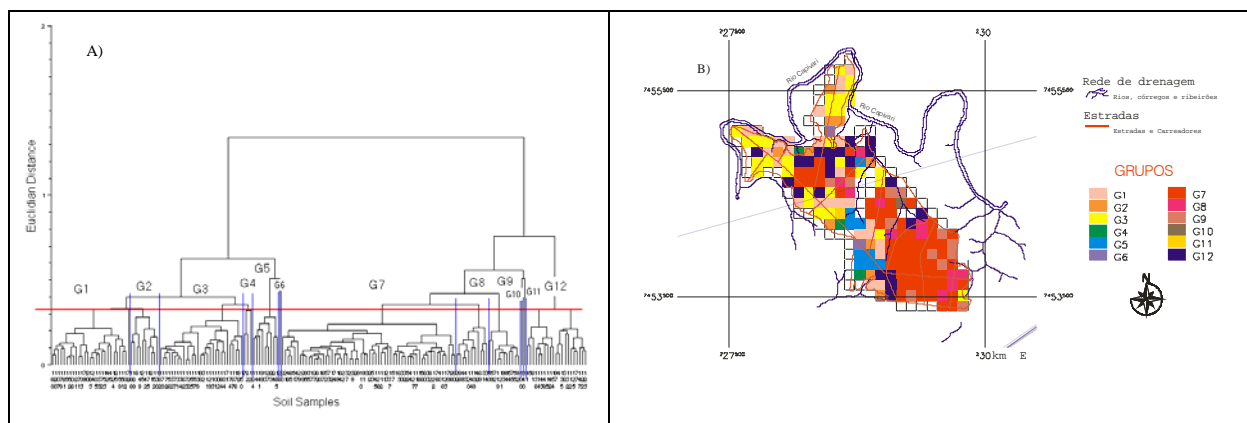


Figura 2. Dendrograma referente à análise de agrupamento das 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas em laboratório para os 184 pontos de tradagem (a); representação do mapa de solos gerado pela análise de agrupamento utilizando-se, como variáveis, 22 bandas e 13 alturas das curvas espectrais obtidas em laboratório (b).

Tabela 1. Número de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento.

| | G1 ¹ | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | G7 | G8 | G9 | G10 | G11 | G12 |
|------------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| TE1 ² | 0 ³ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| LE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 1 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| PV1 | 8 | 2 | 9 | 0 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 |
| TE2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| PV2 | 3 | 0 | 6 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| PV4 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| RE1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AL | 5 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LV2 | 1 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CE1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CD1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CE3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CE2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 3 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| RE2 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| CD2 | 4 | 3 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| LV1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |

¹ Na linha os grupos gerados pela análise de agrupamentos; ² Na coluna as classes de solos da área de estudo; ³ Número de observações (células).

Observa-se, pela Tabela 1, que o grupo G7 foi formado basicamente pelas classes TE1, BVpp, LE, LV1, CE2 e RE2. Destes apenas o CE2 foi formado pelo material de origem folhelho. Os demais, no entanto, possuem como material de origem o diabásio. As classes LE e CE2 apresentam outras observações não agrupadas no mesmo grupo, passando algumas delas para os grupos G8 e G9. Neste caso, isto foi possível, pois estes agrupamentos apresentaram coeficiente de similaridade pequeno (Figura 2a), havendo possibilidade de confusão.

Algumas classes tiveram indivíduos presentes em quase todos os agrupamentos. Como exemplo podemos destacar a classe PV1 que participou dos grupos 1, 2, 3, 5, 6, 11 e 12. Têm-

se, contudo, que as observações de outras classes que fazem parte destes mesmos grupos possuem características superficiais próximas, como é o caso das classes AL, CD1 e CD2.

Estas junções ou aproximações entre classes já foram destacadas na análise discriminante, anteriormente discutida. É notório expressar que os agrupamentos estão ocorrendo devido à semelhança de suas respostas espectrais advindas dos atributos da porção superficial dos solos estudados.

Fica clara e evidente a separação dos grupos devido às condições geológicas divergentes, ou seja, arenitos, folhelhos e diabásio, havendo certa confusão entre esses dois últimos, da mesma forma ocorrida na análise discriminante.

3.2. Comparação entre o mapa de solos 1 com o mapa de solos 3

O segundo mapa, obtido com a utilização de curvas espectrais de laboratório, refere-se às faixas espectrais do TM-Landsat. Para a confecção do mapa através das reflectâncias obtidas da cena orbital foram utilizadas, das 184 observações, apenas 162, uma vez que os pontos da imagem que encontravam-se com alguma cobertura vegetal foram descartados. Na Figura 3a é apresentado o dendrograma obtido pela análise de agrupamento das seis bandas espectrais do TM-Landsat.

Dentre as distâncias euclidianas estabelecidas até o momento para realização do corte da árvore hierárquica, esta obteve o valor mais elevado (0,45), definida pelo pico mais alto do pseudo t^2 . No entanto, o número de grupos foi semelhante ao obtido pela simulação, ou seja, nove grupos. De posse dos mesmos, foi definida, através do sistema SPRING, a distribuição espacial das observações agrupadas, como demonstrado na Figura 3b.

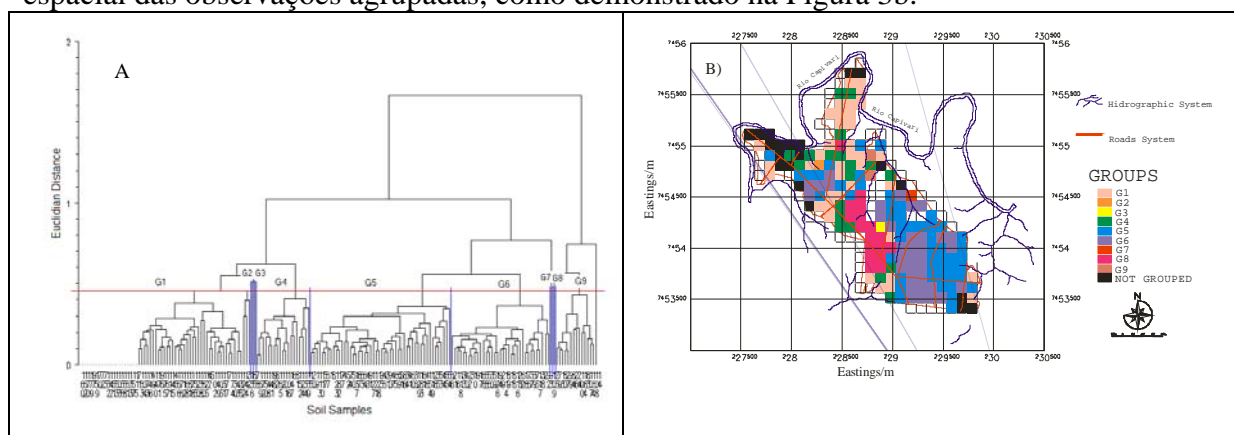


Figura 3. Dendrograma referente à análise de agrupamento das 6 bandas das curvas espectrais obtidas da cena TM-Landsat, para os 162 pontos de tradagem (a); e representação do mapa de solos obtido pela análise de agrupamentos utilizando-se, como variáveis, 6 bandas do sensor TM (b).

A Tabela 3 mostra o resultado obtido pelo cruzamento entre os mapas para comparação entre as áreas ocupadas para cada classe presentes e estabelecidas pelos diferentes métodos de obtenção.

Tabela 3. Numero de observações entre as classes de solos obtidas pelo método convencional e os grupos formados pela análise de agrupamento utilizando-se as reflectâncias obtidas no nível orbital.

| | NA ¹ | G1 ² | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | G7 | G8 | G9 |
|------------------|-----------------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| TE1 ³ | 0 ⁴ | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 11 | 0 | 0 | 0 |
| BV | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| LE | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| PV1 | 4 | 7 | 0 | 0 | 8 | 2 | 1 | 0 | 11 | 0 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TE2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| PV2 | 3 | 6 | 0 | 1 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| PV4 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| RE1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| AL | 4 | 6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| LV2 | 1 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CE1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| CD1 | 1 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| CE3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| CE2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| RE2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| CD2 | 3 | 4 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| LV1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 |

¹ Número de observações não agrupadas; ² Grupos gerados pela análise de agrupamentos; ³ Classes de solos da área de estudo; ⁴ Número de observações (células).

A análise da Tabela 3 demonstra que as classes presentes que são originárias de diabásio anteriormente agrupadas ficaram separadas nos grupos 5 e 6 dentro das condições de corte estabelecida pelo coeficiente de similaridade utilizado. Se este valor fosse elevado para 0,55, os dois grupos se fundiriam em um único grupo. Neste caso, também os grupos 7 e 8 e 1, 2, e 3 formariam novos grupos, com maior número de indivíduos. Teríamos então apenas 6 grupos ao invés de 9.

Como na análise anterior, esta também apresentou grupos com apenas um ou no máximo dois indivíduos (grupo 9), que poderiam ser reagrupados em outros conjuntos com a elevação do nível de corte.

Observa-se que em relação à separabilidade das classes cujo material parental não era o diabásio, a utilização da reflectância obtida no nível orbital apresentou resultados satisfatórios apesar de inferiores em relação àqueles utilizados no nível terrestre. Como na análise discriminante, houve confusão entre os indivíduos dentro dos grupos, mas afortunadamente, o grande conjunto de dados ficou, evidentemente separado em 3 grandes grupos, dispostos principalmente pela condição do material original. Isto vem de encontro com os resultados obtidos também na análise discriminante e igualmente demonstrado pelo trabalho realizado por Demattê (1995), onde conclui que, agrupando-se pelo material de origem os solos por ele estudados, obtêm-se melhores resultados do que analisados separadamente.

Tais resultados são indicativos de que a análise de dados espectrais pode auxiliar nas diferentes formas para o mapeamento de solos. O número de informações gerado pelos dados espectrais indica que pode ser útil em mapeamento de solos, desde que se tomem os devidos cuidados interpretativos.

4. Conclusões

O mapa de solos determinado pelos dados espectrais foi similar ao mapa detalhado obtido pelo método convencional. Apesar disso, algumas áreas principalmente de transição de solos, não foram corretamente detectadas pelos dados espectrais;

Os resultados no nível terrestre foram bem superiores ao nível orbital. No primeiro, a confusão entre as unidades mapeadas no nível detalhado foi baixo. Para o nível orbital a confusão entre classes aumenta, mas podem ser separadas classes com o mesmo material de origem;

A avaliação de dados espectrais nos dois níveis de obtenção demonstrou ser uma ferramenta útil em levantamento de solos.

Referências Bibliográficas

Camargo, A.O.; Moniz, A.C.; Jorge, J.A.; Valadares, J.M. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do IAC**. IAC, Campinas, 1986. 94p.

Costa, A.C.S.; Nanni, M.R. **Brazilian classification**. Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker Inc, 2004.

Curi, P.R. A similaridade na análise de agrupamento: coeficiente de correlação e distância. **Ciência e Cultura**, v.35, n.11, p.1678–1685, 1983.

Demattê, J.A.M. **Relações entre dados espectrais e características físicas, químicas e mineralógicas de solos desenvolvidos de rochas eruptivas**. Tese de Doutorado, 1995 - Univ. São Paulo, Piracicaba.

Demattê, J.A.M.; Campos, R.C.; Alves, M.C.; Fiorio, P.R.; Nanni, M. R. Visible–NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. **Geoderma**, v.121, n.1-2, p.95-112, 2004.

Demattê, J.A.M.; Demattê, J.L.I.; Carmargo, W.P.; Fiorio, P.R.; Nanni, M.R. Remote sensing in the recognition and mapping of tropical soils developed on topographic sequences. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, v.38, n.2, p.79-102, 2001.

Embrapa. **Normas e critérios para levantamentos pedológicos**. Embrapa: Rio de Janeiro, 1996. 94p.

Goosen, D. **Interpretacion de fotos aereas y su importancia en levantamiento de suelos**. FAO, Roma, 1968. 55p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. **Tutorial Spring: spring básico**. 1999. Inpe, São José dos Campos.

Lemos, R.C.; Santos, R.D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. SBCS, Campinas, 1986. 84p.

Nanni, M.R.; Demattê, J.A.M. Spectral reflectance methodology in comparison to traditional soil analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.2, p.393–407, 2006.

Raij, B. van; Quaggio, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. IAC, Campinas, 1989. 40p.

Statistical Analysis System Institute. SAS. **Software: user's guide**. Version 6.0, Cary, 1992. 291p.