

INFLUÊNCIA DE MINERAIS OPACOS NA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE ESPECTRAL RCGb EM DADOS AVIRIS E EM ESPECTROS DE LABORATÓRIO DE SOLOS DERIVADOS DO COMPLEXO MÁFICO E ULTRAMÁFICO DE NIQUELÂNDIA, GOIÁS, BRASIL.

**Gustavo Macedo de M. Baptista¹, José da Silva Madeira Netto²,
Paulo Roberto Meneses¹**

¹IG/UnB – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília
Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 70910-900, Brasília, DF, Brasil
gustavom@abordo.com.br; lsrub@unb.br

²Embrapa/CPAC – Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Caixa Postal 08223, BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza, 73301-970, Planaltina, DF, Brasil
madeira@cpac.embrapa.br

1 – Introdução

Os espectrômetros ou radiômetros podem ser utilizados para obter dados no laboratório, no campo, em aeronave, ou em plataforma orbital. Os dados espectrais podem ser uma ferramenta bastante valiosa no estudo da composição dos solos e apresentam certos componentes que são importantes para classificação, cartografia, degradação e estudos de manejo.

Normalmente solos tropicais são altamente intemperizados, devido principalmente ao clima quente e úmido. Sua mineralogia é caracterizada por um número reduzido de componentes, tais como a caulinita, óxidos de ferro e de alumínio, como os minerais mais frequentes na fração argila e quartzo nas frações silte e areia. As quantidades e proporções desses componentes minerais são extremamente úteis para classificação e manejo dos solos. O conhecimento dos espectros de reflectância desses componentes é muito importante para a utilização de espectroscopia de imageamento para aplicações nos estudos de solos (Baptista et al., 1998).

Dependendo de como ou de onde os dados de reflectância são adquiridos, eles podem apresentar "informações indesejáveis" que podem mascarar ou dificultar a compreensão de características que realmente se deseja determinar. Os espectros de reflectância dos solos provenientes do intemperismo de material ígneo apresentam feições opacas devido à presença de minerais como a magnetita (chamados de opacos) que ocasionam nítido aplainamento a partir de 1,0 μm , com efeito significativo sobre as intensidades das bandas de absorção. A compreensão de tais interferências é importante para se determinar a acurácia das predições de relações minerais por meio de dados espectrais.

Nesse trabalho é analisada a influência dos minerais opacos nos valores assumidos pelo índice espectral RCGb (Baptista, 2000), entendido como um índice proporcional ao valor K_i , ou relação molecular sílica/alumina. Para tal foram estudados dados do sensor AVIRIS e espectros obtidos em laboratório de solos derivados do Complexo Máfico e Ultramáfico de Niquelândia, Goiás, Brasil.

2 – Descrição da área de estudos

Para a realização deste estudo adotou-se uma mancha de solos (figura 1), de aproximadamente 400 ha, situada na borda do Complexo máfico-ultramáfico de Niquelândia, Goiás, localizado na porção Norte do estado.

Esse complexo é uma grande intrusão com camadas bem expostas no Brasil Central, compreendendo uma área de 1.800 km², e possui uma espessura estimada de 10 a 15 km. Ferreira Filho et al. (1998) consideram que as intrusões pré-cambrianas acamadadas do complexo de Niquelândia apresentam anfibolitos com metamorfismo de fácies granulitos.

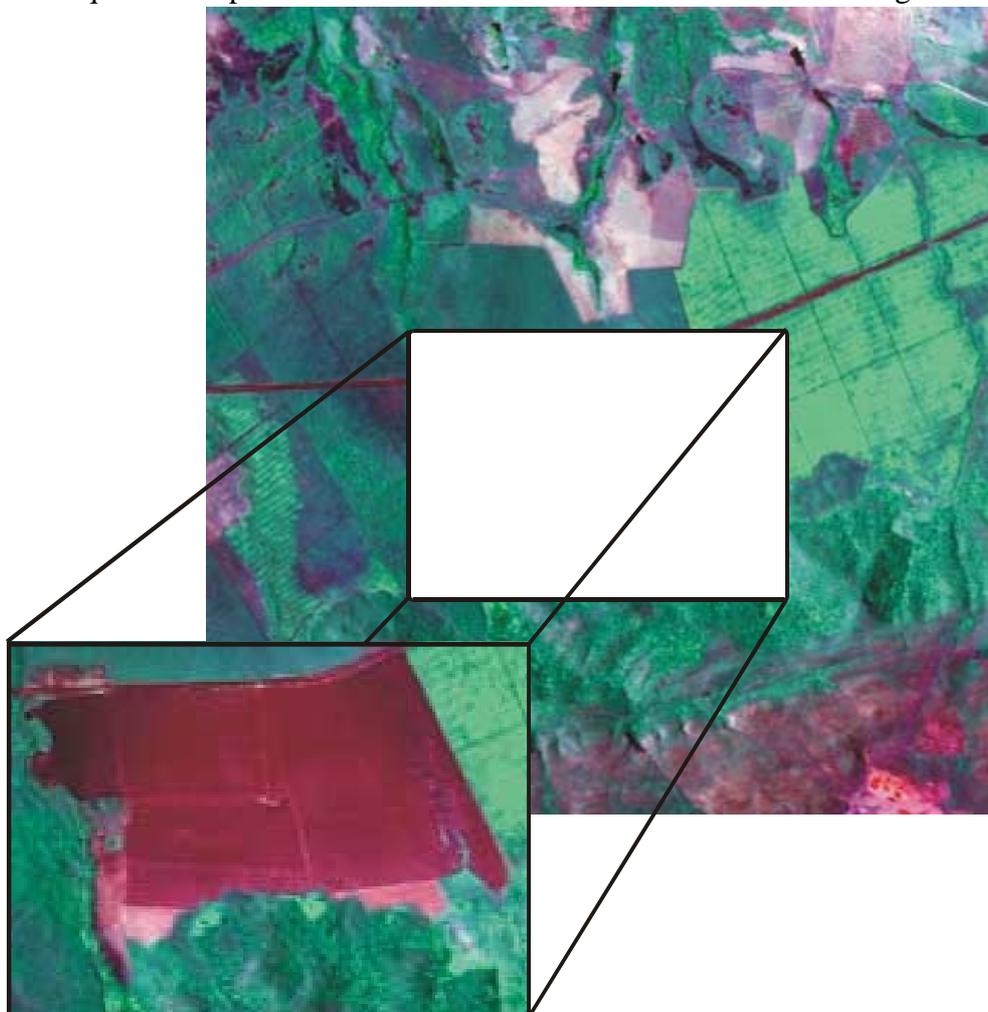


Figura 1 – Localização da área de estudos no complexo máfico-ultramáfico de Niquelândia, GO.

3 – Metodologia

Utilizando-se um processamento prévio da imagem, visando a espacialização de RCGb, adotou-se três seqüências de amostragem de solos (figura 2), com espaçamentos diferentes. A seqüência A foi amostrada de 100 em 100 m, em 17 pontos, por representar a variação mais significativa, enquanto que a seqüência B foi amostrada de 500 em 500 m, em 4 pontos, por não apresentar variações muito significativas. Entre elas, a seqüência C, amostrada de 400 em 400 m, em 6 pontos, apresenta uma variação mais significativa do que B e foi amostrada para verificação dos dados da imagem no campo. Convém ressaltar que o primeiro ponto da seqüência C é o primeiro da seqüência A e o último de C é o primeiro ponto de B. O

procedimento de determinação da amostragem das seqüências B e C baseou-se na subdivisão do comprimento total por múltiplos de 100.

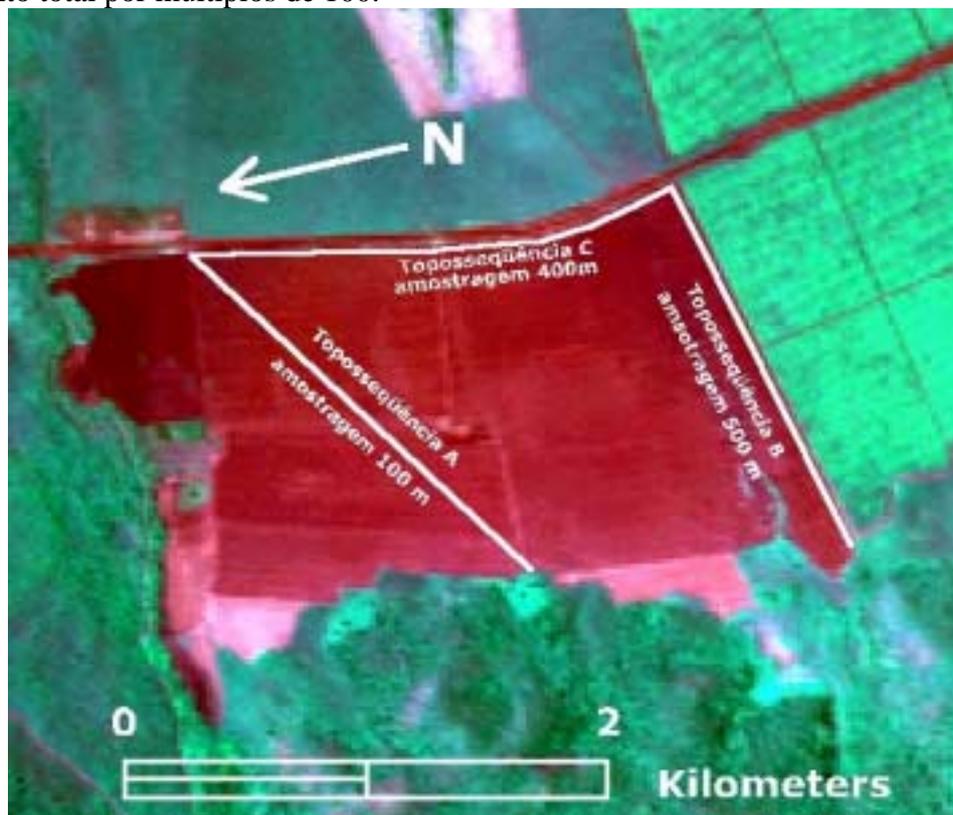


Figura 2 – Localização das seqüências A, B e C de amostragem de solos.

Essas amostras foram obtidas por gradagem e posteriormente foram secas ao ar e peneiradas visando separar a fração granulométrica inferior a 2 mm. Essa fração foi utilizada para determinação dos teores de caulinita e de gibbsita por meio de análise termo-gravimétrica (ATG) e da reflectância espectral.

A reflectância espectral foi obtida para o intervalo de 0,4 a 2,5 μm , por meio do espectrorradiômetro Mark IV *InfraRed Intelligent Spectroradiometer* (IRIS), com resolução espectral de 2 nm, na faixa de 0,4 a 1,0 μm e de 4 nm, para a faixa de 1,0 a 2,5 μm .

Foram obtidos, nos espectros relativos à cada amostra de solo, os valores de reflectância correspondentes aos pontos utilizados no procedimento matemático de determinação de RCGb.

Foi realizada também uma regressão linear entre os dados da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) obtida por meio do ATG e RCGb, adotando-se os valores de ATG como variável independente e os de RCGb, como variável dependente.

Para melhor compreensão de como os minerais opacos atuam sobre os espectros foi realizado um exercício de modelagem matemática com o espectro de uma amostra de solos sem a presença de minerais opacos proveniente do município de São João D'Aliança, derivada de metassedimentos ácidos do Grupo Paranoá, contendo 25,66% de gibbsita e 55,04% de caulinita, (valores obtidos por meio de análise termo-gravimétrica, ATG) e com o espectro de uma amostra de ilmenita intitulada *Ilmenite* HS231, da biblioteca espectral do USGS (Clark et al, 1993) e utilizada por Hunt et al. (1971) na descrição espectral desse mineral. A análise da amostra apresenta ilmenita como componente mais abundante. São presentes ainda hematita e ortopiroxênio, com traços de muscovita. Os espectros são apresentados na figura 3.

O exercício baseou-se na adição de porcentagens do espectro de ilmenita no espectro do solo sem opacos, variando de 10% a 90%. Para cada espectro resultante foram obtidos os valores de reflectância para os pontos utilizados em RCGb.

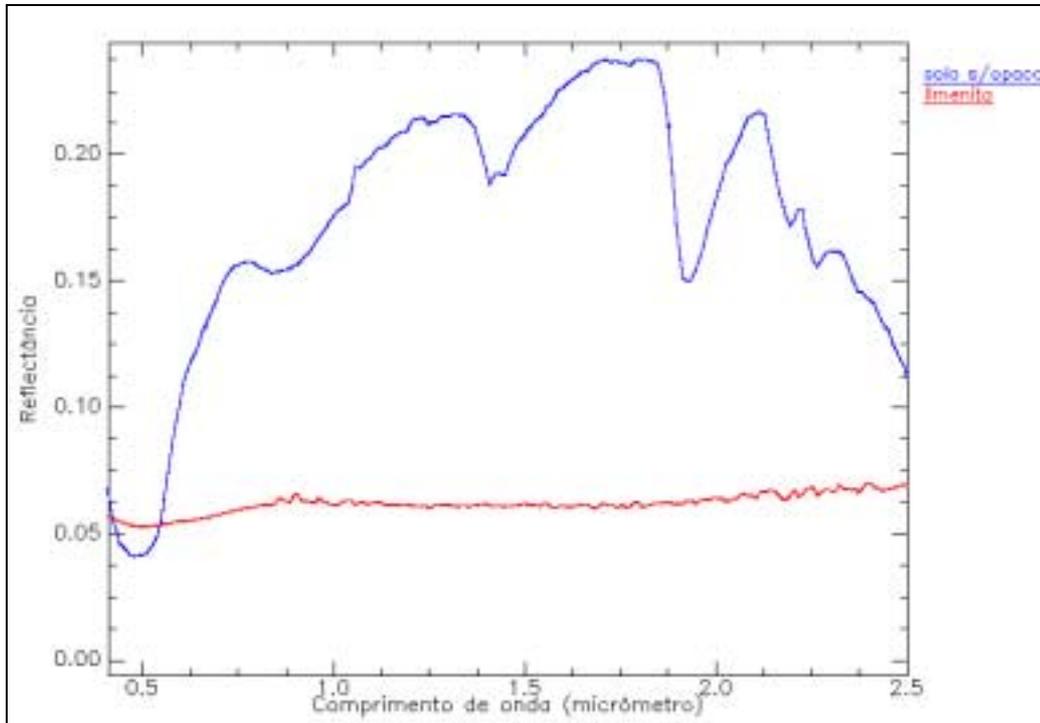


Figura 3 – Espectros de solo sem opaco e de ilmenita da biblioteca espectral do USGS (Clark et al., 1993).

4 – Resultados e discussão

Os espectros de reflectância dos solos provenientes da seqüência A foram agrupados numa mesma figura (Figura 4a). Os espectros dos solos provenientes da seqüência B são apresentados na figura 4b, e os da seqüência C, na figura 4c. Convém ressaltar que todos os espectros são apresentados na mesma escala em x e foi dado um offset de 10% em y, à exceção dos espectros da seqüência A, que foi de 3% devido à grande quantidade de espectros, visando separá-los para efeito de comparação visual. Além disso, o ponto 12 da seqüência A apresentou uma grande quantidade de matéria orgânica, o que gerou um formato diferente dos demais espectros, porém sem comprometer as intensidades de absorção dos teores de caulinita e de gibbsita.

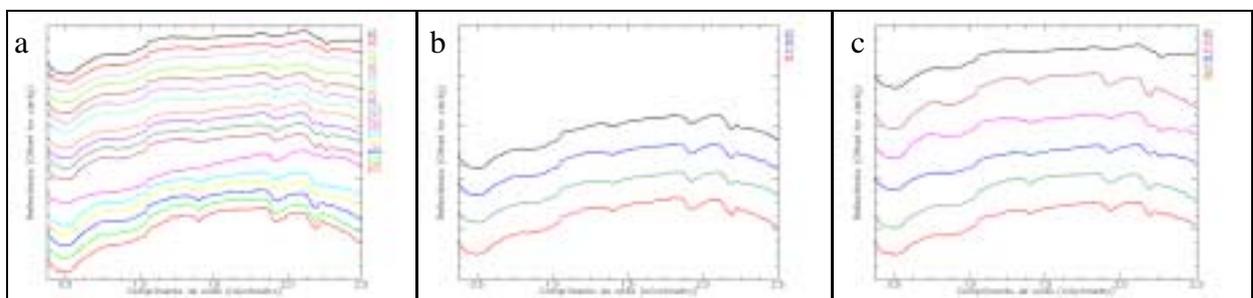


Figura 4 – Espectros de reflectância dos solos das seqüências A (a), B (b) e C (c).

Os espectros de reflectância dos solos provenientes de material ígneo apresentam feições opacas com nítido aplainamento a partir de 1,0 μm . As feições espectrais da caulinita e da

gibbsita não são claras no espectro normal, no entanto são percebidas quando da remoção do contínuo espectral, a qual pode ser entendida como uma normalização dos dados, conforme pode ser visualizado no espectro do ponto 1 da seqüência A, na figura 5.

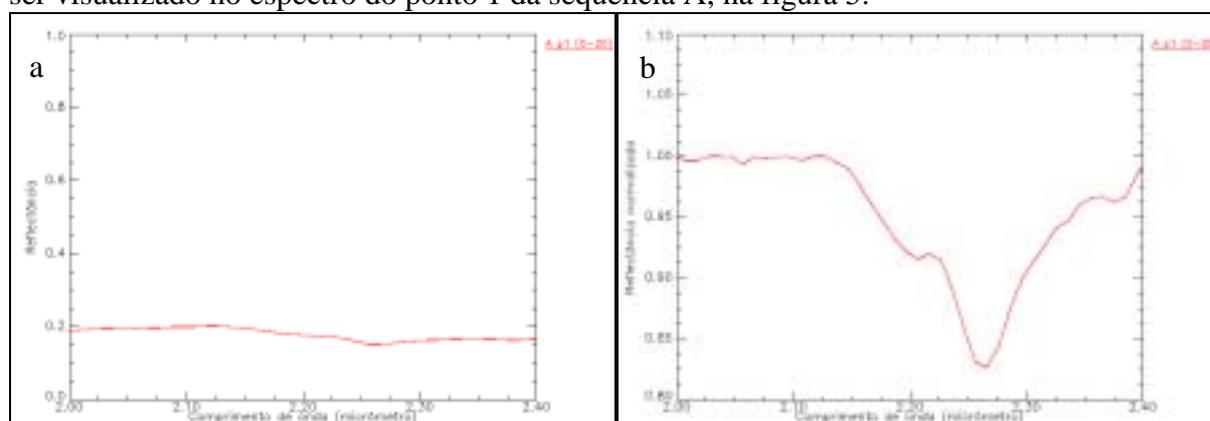


Figura 5 – Espectro de reflectância do ponto 1 da seqüência A. a) Espectro normal; b) Espectro com remoção do contínuo espectral, apresentando a feição da caulinita a 2,2 μm e a feição da gibbsita em torno de 2,265 μm.

Como o objetivo deste trabalho é verificar a influência dos opacos na obtenção espectral de um índice proporcional à relação caulinita/(caulinita+gibbsita), o RCGb, foram obtidos, nos espectros relativos a cada amostra de solo, os valores correspondentes aos pontos de reflectância utilizados no índice espectral. O índice foi aplicado sobre os dados AVIRIS e sobre os espectros. Além disso, foi determinado o valor da caulinita/(caulinita+gibbsita) por meio de ATG para cada ponto. Os resultados de RCGb obtidos por meio dos dados AVIRIS, dos Espectros e de ATG são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Resultado de RCGb obtidos por meio de ATG, do AVIRIS e dos espectros.

Amostra	Gibb%	Caul%	RCGb (ATG)	AVIRIS	Espectros
A p1 (0-20)	30,66	19,71	0,39	0,519549	0,305774
A p2 (0-20)	26,38	35,13	0,57	0,562079	0,755448
A p3 (0-20)	23,08	39,69	0,63	0,578772	0,441315
A p4 (0-20)	26,35	33,70	0,56	0,583042	0,490486
A p5 (0-20)	27,09	54,85	0,67	0,596557	0,520179
A p6 (0-20)	27,17	53,56	0,66	0,614480	0,554756
A p7 (0-20)	24,98	47,61	0,66	0,624751	0,544841
A p8 (0-20)	13,84	52,87	0,79	0,649328	0,651490
A p9 (0-20)	20,71	52,28	0,72	0,683883	0,709954
A p10 (0-20)	20,73	52,34	0,72	0,675709	0,634328
A p11 (0-20)	21,34	47,67	0,69	0,685101	0,667619
A p12 (0-20)	16,16	61,72	0,79	0,694023	0,578366
A p13 (0-20)	19,06	50,27	0,73	0,702917	0,734962
A p14 (0-20)	14,55	56,65	0,80	0,813411	0,748416
A p15 (0-20)	7,61	57,25	0,88	0,812796	0,988009
A p16 (0-20)	6,51	58,81	0,90	0,822029	1,196232
A p17 (0-20)	11,49	60,97	0,84	0,678560	1,210546
B p1 (0-20)	17,81	56,08	0,76	0,739604	0,836469
B p2 (0-20)	6,36	62,22	0,91	0,793575	0,923925
B p3 (0-20)	13,08	60,10	0,82	0,721978	0,819001
B p4 (0-20)	5,76	62,40	0,92	0,735186	1,120062
C p1 (0-20)	30,66	19,71	0,39	0,519549	0,305774
C p2 (0-20)	7,12	56,81	0,89	0,613046	1,127091
C p3 (0-20)	29,12	36,81	0,56	0,648137	0,525112

C p4 (0-20)	21,32	44,27	0,67	0,679407	0,633499
C p5 (0-20)	5,67	40,55	0,88	0,653833	1,022189
C p6 (0-20)	17,81	56,08	0,76	0,739604	0,836469

O RCGb obtido por meio dos dados AVIRIS foi testado com uma regressão linear com os dados obtidos por ATG. O resultado também apresentou um alto coeficiente de correlação ($r=0,81$)

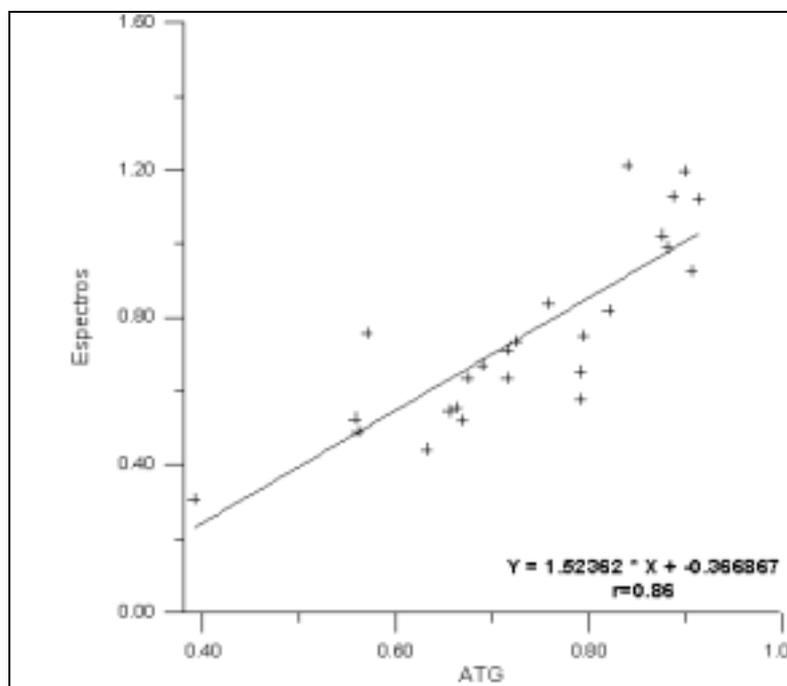


Figura 6 – Regressão linear entre os valores da relação caulinita/(caulinita+gibbsita) obtida por meio do ATG e RCGb por meio dos espectros

O passo seguinte visou melhorar a compreensão de como os minerais opacos influenciam os espectros, simulando misturas de minerais, por meio do módulo *spectral math* do ENVI. Para tal, utilizou-se um espectro de uma amostra de solo sem a presença de opacos. Depois, adicionou-se ao espectro sem opacos 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% e 90% de opacos, utilizando-se, por exemplo, 90% do espectro sem opacos mais 10% do espectro de ilmenita, adotado como opaco, conforme a figura 7.

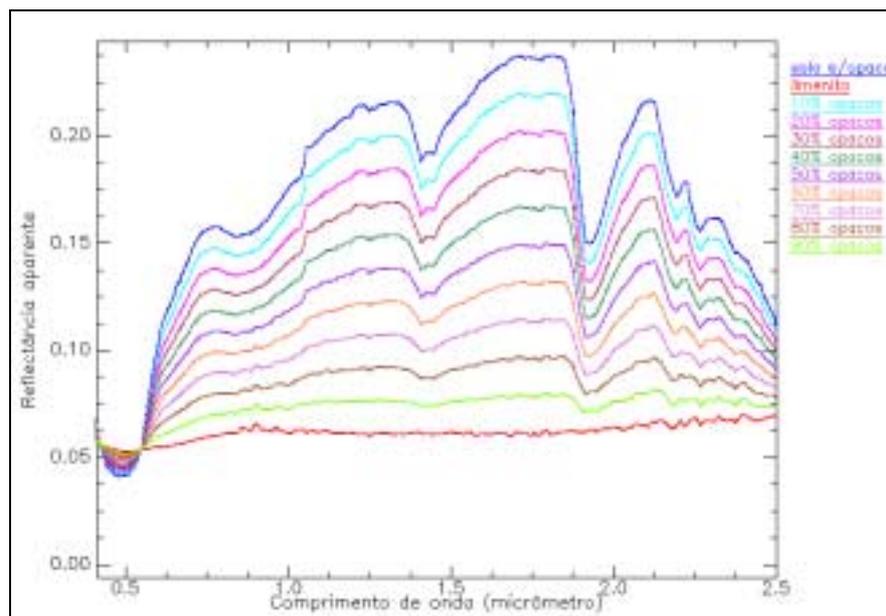


Figura 7 – Espectros resultantes da modelagem matemática.

Percebe-se, a partir da figura 7, que a adição gradual de opacos resulta em aplainamento dos espectros e redução nas intensidades das feições de absorção. Isso é facilmente verificado na feição da água, centrada a 1,4 e a 1,9 μm .

Na faixa de 2,1 a 2,4 μm percebe-se que a presença de minerais opacos também reduz gradualmente as intensidades de absorção da caulinita e da gibbsita, o que determina uma menor eficiência do índice espectral RCGb nessas amostras. Esse efeito pode ser visualizado na figura 8, com ou sem remoção do contínuo espectral.

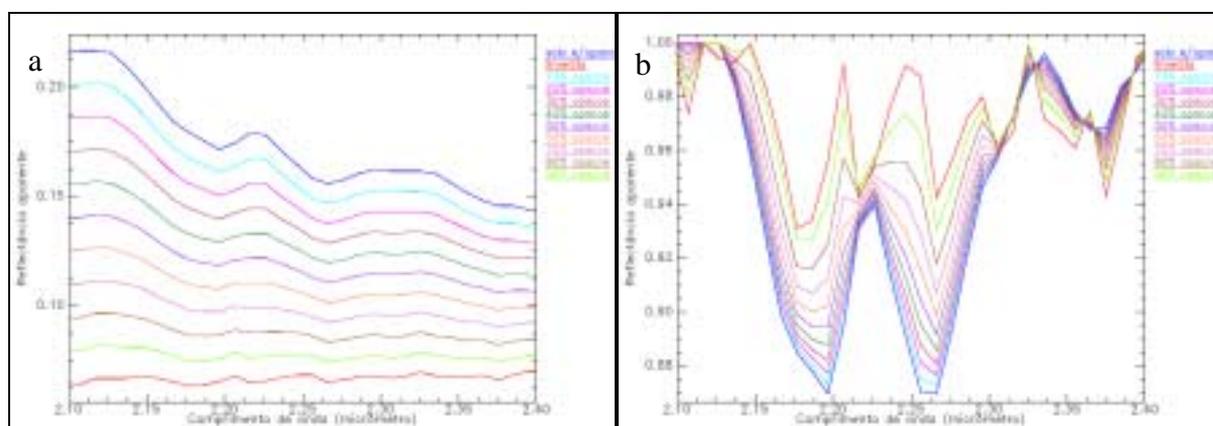


Figura 8 – Espectros resultantes da modelagem matemática na faixa de 2,1 a 2,4 μm .

a) Espectros normais; b) espectros com remoção do contínuo espectral.

Pode-se notar nos espectros com remoção do contínuo espectral (figura 11b) que os ruídos decorrentes da adição de porcentagens de minerais opacos deslocam os pontos de mínima reflectância das feições espectrais da caulinita e da gibbsita, além de gerar depressão no ponto de máxima reflectância entre as duas feições, a 2,226 μm .

Para cada espectro resultante da modelagem, foram obtidos os valores de reflectância dos pontos utilizados no cálculo de RCGb, conforme poder ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Valores de RCGb para cada espectro obtido por modelagem espectral

Espectros	R2127	R2176	R2196	R2226	R2266	R2335	RCGb	I _{kaol}	I _{gibb}
sem opacos	0.21648	0.18137	0.17133	0.18033	0.15752	0.16299	0.60934	0.02206	0.01414
10% opacos	0.20089	0.16787	0.16117	0.16701	0.14684	0.15118	0.61322	0.01943	0.01226
20% opacos	0.18599	0.15628	0.15054	0.15576	0.13778	0.14194	0.61206	0.01747	0.01107
30% opacos	0.17110	0.14470	0.13991	0.14451	0.12872	0.13271	0.61048	0.01550	0.00989
40% opacos	0.15621	0.13311	0.12927	0.13326	0.11966	0.12347	0.60876	0.01355	0.00871
50% opacos	0.14132	0.12152	0.11864	0.12201	0.11060	0.11424	0.60623	0.01159	0.00752
60% opacos	0.12643	0.10993	0.10801	0.11076	0.10154	0.10501	0.60269	0.00962	0.00635
70% opacos	0.11154	0.09835	0.09738	0.09951	0.09248	0.09577	0.59750	0.00766	0.00516
80% opacos	0.09665	0.08676	0.08675	0.08826	0.08342	0.08654	0.58884	0.00570	0.00398
90% opacos	0.08176	0.07517	0.07611	0.07701	0.07436	0.07730	0.57263	0.00375	0.00280

Plotando-se os valores obtidos para I_{kaol} e I_{gibb} num gráfico (figura 9), percebe-se nitidamente o decréscimo linear nos seus valores devido à presença dos opacos. Isso pode ser explicado pelo ruído que determina o aplainamento do espectro e reduz o albedo da amostra. Esse decréscimo também foi verificado para os valores de intensidade das feições do IKi (Baptista et al., 2000).

A relação existente entre as feições de absorção da caulinita e da gibbsita, ou índice RCGb, é preservada, pois, quando são plotados os valores de RCGb obtidos para cada espectro, nota-se inicialmente uma tendência de aumento dos valores de RCGb até 40% de opacos, quando efetivamente há um decréscimo obedecendo a uma função aproximadamente logaritma, que se intensifica após a mistura de 50% de opacos no espectro de referência ou sem opacos. Mas a variação de RCGb encontrada nesse exercício foi muito pequena, de 0,57 a 0,61, o que não representa amplitude significativa do valor de RCGb. A figura 10 apresenta os valores de RCGb plotados.

No caso dos valores de IKi, Baptista et al. (2000) encontraram uma tendência de crescimento regida por uma função aproximadamente exponencial desses valores à medida que houve o incremento percentual de opacos.

No campo não se encontra uma variação gradual como a simulada na modelagem espectral apresentada anteriormente.

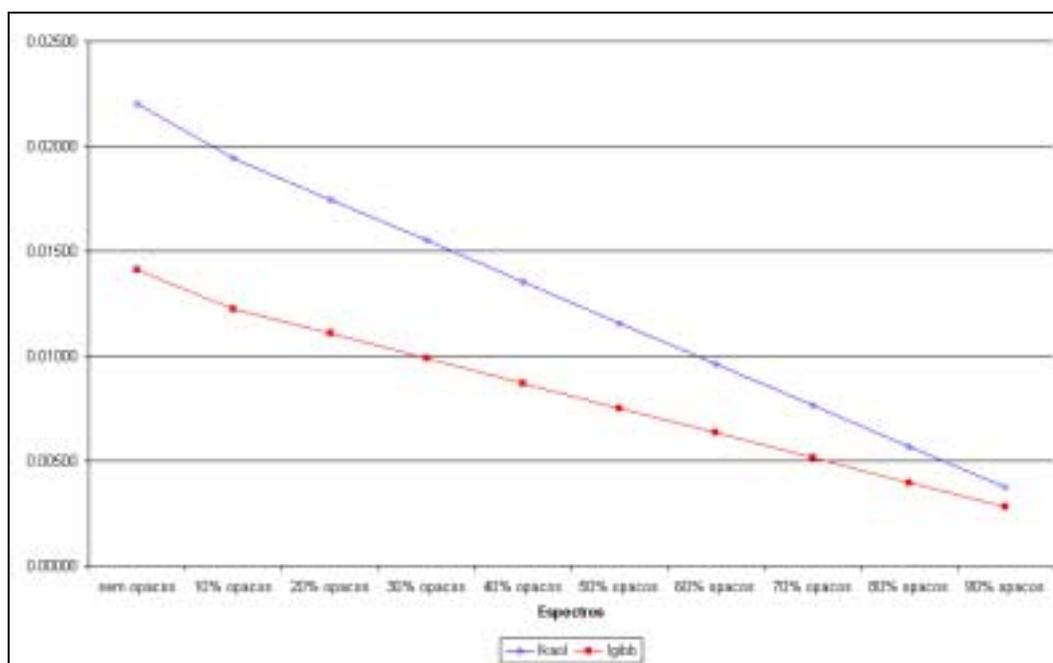


Figura 9 – Valores de I_{kaol} e de I_{gibb} obtidos por meio dos espectros resultantes da modelagem matemática.

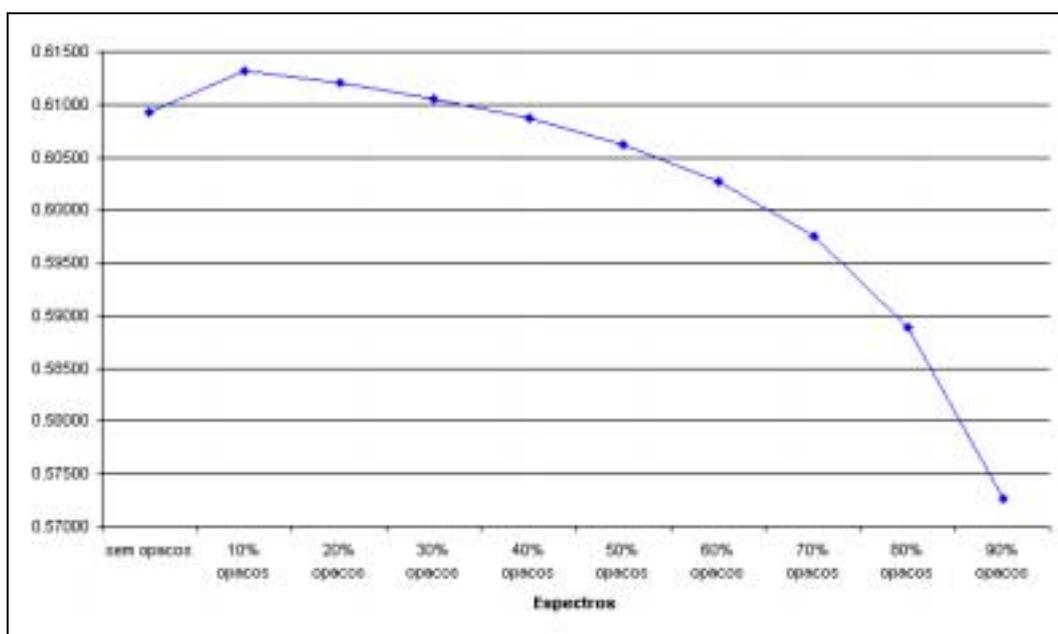


Figura 10 – Valores de RCGb obtidos por meio dos espectros resultantes da modelagem matemática.

5 – Conclusões

O presente trabalho objetivou perceber se a presença dos minerais opacos em amostras de solos influenciariam o índice espectral RCGb, proporcional aos valores de K_i , que para solos tropicais muito intemperizados, representa a relação caulinita/(caulinita+gibbsita).

As amostras de uma mancha de solos derivada de rochas do Complexo máfico-ultramáfico de Niquelândia, Goiás, imageada pelo sensor AVIRIS, apresentaram opacos na sua composição mineralógica e, portanto, foram utilizadas. Essas amostras apresentaram um alto coeficiente de correlação ($r=0,86$). Para os dados de Niquelândia pode-se comprovar uma manutenção da eficiência do índice espectral RCGb como índice proporcional aos valores de K_i , mesmo num contexto geológico rico em minerais opacos.

Baptista et al. (2000) realizaram um estudo similar com amostras do município de Rio Verde, Goiás, para compreender a influência dos opacos sobre o índice IK_i (Madeira Netto et al., 1995) e chegaram a um alto coeficiente de correlação ($r=0,85$). Como IK_i adota pontos internos à função de normalização, o aplainamento do espectro preserva a relação existente entre as intensidades das feições e os teores dos minerais. Como trabalha com mais pontos do espectro, o índice RCGb minimiza os ruídos preservando as relações espectrais com os teores dos minerais, mesmo com aplainamento.

Pode-se notar que solos que apresentam minerais opacos apresentam espectros mais aplainados e as intensidades das feições espectrais da caulinita (I_{kaol}) e da gibbsita (I_{gib}) são afetadas individualmente de forma linear, devido ao ruído que os minerais opacos introduzem nos espectros e que os aplainam reduzindo seus albedos. Mas isso não reduz a eficiência do índice espectral para determinação dos teores de sílica e alumina, porque, as variações apresentadas nos valores de RCGb são pouco significativas, além de não se encontrar na natureza essa variação tão grande de minerais opacos.

A diferença entre as análises obtidas com as amostras de Niquelândia e com a simulação com espectros pode estar associada ao tipo de mistura dos minerais caulinita e gibbsita com os minerais opacos. No caso de Niquelândia, ocorre um tipo de mistura chamada de mistura íntima, enquanto na simulação a adição de porcentagens representa uma mistura simples.

Convém ressaltar que tanto Madeira Netto et al. (1995) como o presente trabalho utilizaram espectros de solos que não apresentavam minerais opacos para a construção de seus índices espectrais. Pode-se notar que os coeficientes de correlação obtidos para os dados com opacos, como os de Niquelândia ($r=0,86$), são um pouco mais baixos do que os obtidos com dados sem opacos, como os utilizados na construção do índice RCGb ($r=0,93$).

Novas pesquisas sobre comportamento espectral de solos que apresentam minerais opacos em suas composições devem ser incentivadas, visando a determinação de um provável fator de correção dos efeitos desses minerais nos espectros de reflectância dos solos que permita a utilização de dados espectrais como método auxiliar de identificação e quantificação mineral para esse tipo de solo.

Referências Bibliográficas

- Baptista, G.M.M. (2000). Mapeamento e Quantificação da Relação Mineralógica Caulinita/(Caulinita+Gibbsita) de Solos Tropicais, por meio dos Dados do Sensor Hiperespectral AVIRIS (JPL/NASA). Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Baptista, G.M.M.; Martins, E.S.; Madeira Netto, J.S.; Carvalho Jr., O.A.; Meneses, P.R. (1998). Use of AVIRIS Data for Mineralogical Mapping in Tropical Soils, in the District of São João D'Aliança, Goiás. In: NASA/JPL, Seventh Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop. JPL Publications 97-21, vol.1, pp. 33-42.
- Baptista, G.M.M.; Madeira Netto, J.S.; Meneses, P.R. (2000). Influência de minerais opacos na determinação do índice espectral IKi em solos tropicais dos cerrados. *Revista Brasileira de Geociências*. Submetido.
- Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Gallagher, A.; King, T.V.V.; Calvin, W.M. (1993). The U.S. Geological Survey Digital Spectral Library: Version 1: 0.2 to 3.0 μm . *U.S.G.S. Open File Report 93-592*, 1340 pp.
- Ferreira Filho, C. F.; Moraes, R.; Fawcett, J.J.; Naldrett A. J. (1998) Amphibolite to granulite progressive metamorphism in the Niquelândia Complex, Central Brazil Regional Tectonic Implications, *Journal of South American Earth Sciences*.
- Hunt, G.R.; Salisbury, J.W.; Lenhoff, C.J. (1971). Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and hydroxides. *Modern Geology*. 2:195-205.
- Madeira Netto, J. S.; Bédidi, A.; Cervelle, B.; Flay, N. (1995). Spectral (MIR) Determination of Kaolinite and Gibbsite Contents in Lateritic Soils. *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 321, série II a, 119-128 pp.