

Utilização da reflectância e de atributos químicos e mineralógicos na caracterização dos diferentes substratos do Bioma Pampa, RS, Brasil

Fabício da Silva Terra¹
Dejanira Luderitz Saldanha¹

¹UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto/ Projeto PROCAD-CAPES UFRGS-INPE (0404/05-5)
Caixa Postal 15044 – 915101-970 – Porto Alegre – RS, Brasil
terra.fabricio@gmail.com
dejanira.saldanha@ufrgs.br

Abstract. In this study was analyzed spectral behavior of fifteen soil samples and its mineralogical and chemical components, to attempt the characterization of the southernmost Brazilian fields on the Biome Pampa. Principal components analysis and correlations were applied to the spectra samples to help in this characterization. We conclude that the soils analyzed presented great contribution of the rock parents, showing high albedo and well-defined absorption bands in 1400 nm, 1900 nm and 2200 nm. The results of principal components showed adequate to separate spectra samples in groups by spectral, mineralogical and chemical similarity.

Palavras-chave: southernmost brazilian fields, Pampa Biome, spectral behavior of soils, chemical components, Bioma Pampa, comportamento espectral de solos, atributos químicos.

1. Introdução

O Bioma Pampa, campos naturais que ocorrem no Rio Grande do Sul, são um dos sete biomas classificados pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). É muito comum na região, a utilização desta vegetação como suporte alimentar para a produção pecuária, devido à diversidade de plantas com alto valor forrageiro existentes neste bioma (Fonseca, 2004). Conforme o Censo Agropecuário Brasileiro, as pastagens naturais perfazem 44% da cobertura vegetal do Estado do Rio Grande do Sul, correspondendo a 70% do total de área destinada à pecuária na Região Sul do Brasil (IBGE, 2002).

Na região sul do estado do Rio Grande do Sul, o Bioma Pampa distribui-se nas regiões geomorfológicas denominadas Escudo Sul-rio-grandense e Depressão Periférica cujo substrato é formado por rochas cristalinas e sedimentares, respectivamente. Dentre as formações sobre as quais estão localizados os campos, destacam-se os seguintes arcaibouços geológicos: sienogranitos, Suíte Intrusiva Santo Afonso e as Formações Estrada Nova, Rio Bonito e Santa Tecla, constituídas por intercalações de arenitos, siltitos e argilitos.

Saldanha e Cunha (2001) ressaltam que os experimentos espectrorradiométricos são de grande importância para o sensoriamento remoto de alvos geológicos, pois possibilitam analisar e interpretar o significado da informação espectral contida nos diferentes materiais que compõem e influenciam nos alvos estudados. Segundo Meneses e Ferreira Jr. (2001), o espectro de uma rocha resulta da combinação dos espectros de seus minerais constituintes, que por uma série de condições limitantes, não apresenta todas as feições identificadoras destes minerais. Na tentativa de se utilizar à informação espectral dos horizontes superficiais do solo, para a determinação de ocorrência de minerais e unidades geológicas, esses autores alertam para a necessidade do reconhecimento da característica residual do solo, isto é, se está diretamente relacionado com a rocha subjacente, ou se transportado. Ainda, salientam que em áreas muito intemperizadas existe a dificuldade em se correlacionar os minerais residuais do solo com a mineralogia primária da rocha-mãe.

No que se refere a reflectância dos solos, admite-se que esta se constitui em uma propriedade cumulativa resultante do comportamento espectral intrínseco das heterogêneas

combinações de matéria mineral, orgânica e umidade que os compõem (Stoner e Baumgardner, 1981). Logo, ao analisar-se o comportamento espectral dos solos é essencial levar em consideração as suas características físicas e pedológicas (constituição química e mineralógica), pois este resulta da combinação de vários fatores presentes tais como: a granulometria, a presença de argilominerais (caulinita, montmorilonita), de óxidos de ferro ou alumínio, de minerais como a gibsitita, além da presença de matéria orgânica e de umidade (Baumgardner et al., 1985; Valeriano et al., 1995; Formaggio et al., 1996; Madeira Netto, 2001; Galvão et al., 2001).

A reflectância espectral de uma dada superfície é extremamente complexa, sendo afetada pela diversidade de materiais presentes e suas concentrações, pelo tamanho de seus constituintes, além da geometria de visada. Todos os atributos do solo são importantes, porém, em diferentes graus (Fiorio et al., 2001).

Segundo Hunt e Salisbury (1970), as feições espectrais de absorção de amostras de solo no visível e no infravermelho estão associadas às interações atômicas e vibrações moleculares de grupos específicos presentes nas amostras. Essas feições são os fundamentos dos estudos em bandas espectrais definidas. Essas afirmações mencionadas anteriormente aparecem nos trabalhos de Stoner e Baumgardner (1981), Baumgardner et al. (1985), direcionados aos solos americanos, e nas pesquisas de Valeriano et al. (1995), Formaggio et al. (1996), Galvão et al. (1996), Galvão et al. (1997), Pizarro (1999), Madeira Netto (2001) e Galvão et al. (2001), que se referem aos solos tropicais brasileiros.

A grande maioria dos estudos do comportamento espectral dos solos brasileiros restringe-se às regiões de clima tropical, localizadas na parte central do país, sendo poucas as pesquisas direcionadas à região sul de clima temperado. Nesse sentido, o presente trabalho objetiva caracterizar os variados substratos existentes no Bioma Pampa, derivados de diferentes arcabouços geológicos, por meio de seus respectivos comportamentos espectrais utilizando-se também seus atributos químicos e mineralógicos.

2. Desenvolvimento

2.1 Material e Métodos

A área de estudo, está localizada nas regiões geográficas denominadas Campanha e Serra do Sudeste, abrangendo os municípios de Aceguá, Hulha Negra, Candiota e Bagé, e corresponde a uma área de aproximadamente 610.000 hectares. Nestas regiões há uma ocorrência significativa do Bioma Pampa. Este bioma tem como substrato, diversas litologias que formam o embasamento geológico do Escudo Sul-rio-grandense e da Depressão Periférica.

Segundo o sistema de classificação de Koppen a região estudada encontra-se sob o clima temperado úmido (Cfb).

A coleta das amostras de solo foi coincidente com os pontos de amostragem do trabalho de Fonseca (2004), tendo em vista a análise da influência dos diversos substratos no modelo agrometeorológico espectral desenvolvido naquele trabalho. Assim, para que as formações geológicas fossem ainda mais representativas foram coletadas amostras também nos municípios de Pinheiro Machado e Pedras Altas. Em todos os pontos foram obtidas tanto as coordenadas planas UTM quanto as coordenadas geográficas com o auxílio das cartas topográficas em escala 1: 50.000 e aparelho GPS com precisão de 10 metros.

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0 – 20 cm, correspondente à camada superficial (horizonte A), totalizando 23 amostras. Foram então selecionadas as 15 amostras mais representativas, secas ao ar livre, e enviadas para análises química, mineralógica e espectralradiométrica.

Os pontos de amostragem foram então posicionados por meio de suas coordenadas na carta geológica da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, escala 1:250.000, definindo-se assim os diferentes arcabouços geológicos representados pelas Formações Estrada Nova, Irati, Rio Bonito e Santa Tecla, além de sienogranito e da Suíte Intrusiva Santo Antonio (granítica). Da mesma forma foram obtidas as classes de solos dos locais das amostras utilizando-se o mapa exploratório de solos, escala 1: 250.000, fornecido pelo Laboratório de Geoprocessamento da Faculdade de Biologia (UFRGS). As amostras com suas respectivas classes de solo, embasamentos e rochas subjacentes encontram-se na **tabela 1**.

Tabela 1 – Rochas, embasamentos e classes de solo.

Amostras	Rochas	Unidades Geológicas	Classes de solo
2	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	PLe2 planossolo
3	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	PLe2 planossolo
5	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	BT9 chernossolo
9	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	BT9 chernossolo
10	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	BT9 chernossolo
11	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	BT9 chernossolo
12	Sedimentar (argilito e siltito)	Formação Estrada Nova	BT7 chernossolo
15	Sedimentar (siltito)	Formação Irati	PLV2 planossolo
17	Sedimentar (arenito)	Formação Rio Bonito	PVd12 argissolo
18	Sedimentar (arenito)	Formação Rio Bonito	PVd12 argissolo
19	Sedimentar (arenito)	Formação Rio Bonito	V2 vertissolo
20	Ígnea ácida (sienogranito)	Sienogranito	Rd6 neossolo
21	Ígnea ácida (sienogranito)	Sienogranito	PVd14 argissolo
22	Sedimentar (siltito)	Formação Santa Tecla	Ped14 argissolo
23	Ígnea ácida (sienogranito)	Suíte intrusiva Sto Afonso	PVd13 argissolo

A determinação dos teores dos elementos químicos foi realizada por espectrometria de fluorescência de raios-x e gravimetria (perda ao fogo), no Laboratório de Geoquímica do Instituto de Geociências (UFRGS). A composição química para elementos maiores pode ser vista na **tabelas 2**.

Tabela 2 – Composição química para elementos maiores, em porcentagem.

Amostra	2	3	5	9	10	11	12	15	17	18	19	20	21	22	23
SiO ₂	75,06	90,65	72,35	76,64	65,07	80,20	67,52	88,53	90,14	78,85	84,66	81,68	70,82	95,13	67,48
Al ₂ O ₃	9,17	3,24	10,09	8,86	13,41	8,40	11,77	4,33	4,05	7,60	6,02	7,82	12,49	2,19	12,48
TiO ₂	0,61	0,25	0,66	0,65	0,61	0,60	0,57	0,31	0,41	0,55	0,47	0,30	0,46	0,33	0,76
Fe ₂ O ₃	2,38	0,80	2,73	2,72	3,20	3,00	3,27	0,95	1,49	2,06	2,62	1,07	2,31	0,96	3,94
MnO	0,08	0,01	0,08	0,04	0,03	0,09	0,09	0,02	0,04	0,02	0,06	0,02	0,02	0,03	0,07
MgO	0,32	0,02	0,53	0,53	0,96	0,24	0,90	0,06	0,06	0,08	0,05	0,02	0,13	0,00	0,21
CaO	0,51	0,12	0,55	0,41	1,11	0,19	1,09	0,16	0,13	0,09	0,09	0,14	0,09	0,04	0,44
Na ₂ O	1,11	0,43	1,31	1,04	1,43	0,86	1,19	0,57	0,33	0,34	0,44	0,86	0,97	0,34	2,07
K ₂ O	1,49	0,54	1,83	1,47	2,17	2,45	2,34	1,13	0,56	0,70	1,34	3,85	4,02	0,22	3,70
P ₂ O ₅	0,06	0,02	0,06	0,03	0,08	0,07	0,07	0,02	0,02	0,04	0,06	0,03	0,02	0,04	0,09
P.F.	10,51	3,41	9,86	7,74	12,18	4,92	12,92	5,76	4,76	10,33	5,46	4,36	8,22	1,95	7,29

A mineralogia das amostras foi obtida por difratometria de raios-x, constatando-se a predominância de minerais de quartzo seguido de feldspato alcalino e plágioclásio. Além disso foi verificada, em algumas amostras, a ocorrência de argilominerais como esmectita (montmorilonita), ilita e caolinita.

A análise de espectroradiometria foi realizada no Laboratório de Radiometria (LARAD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As amostras secas, foram destorroadas e peneiradas para remover partículas superiores a 2 mm, e após, acondicionadas em placas de Petri. O Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) das amostras foi determinado pelo espectrorradiômetro Field Spec modelo FR (3050-2500), que faz a aquisição de dados em intervalos de 1,4 nm, entre 350 e 1000 nm, e em intervalos de 2 nm, entre 1000 e 2500 nm. A geometria de aquisição desses dados foi obtida com o posicionamento do espectrorradiômetro ao nadir e a fonte de iluminação, uma lâmpada halógena, disposta a aproximadamente 90 cm acima do plano e com inclinação de 15° com a vertical. A placa spectralon com 100% de

reflectância foi usada como referência. Os espectros de reflectância das amostras mais representativas estão presentes na **figura 1**.

Metodologias semelhantes foram utilizadas nos trabalhos de Stoner e Baumgardner (1981), Baumgardner et al. (1985), Valeriano et al. (1995), Formaggio et al. (1996) Galvão et al. (1996), Pizarro (1999).

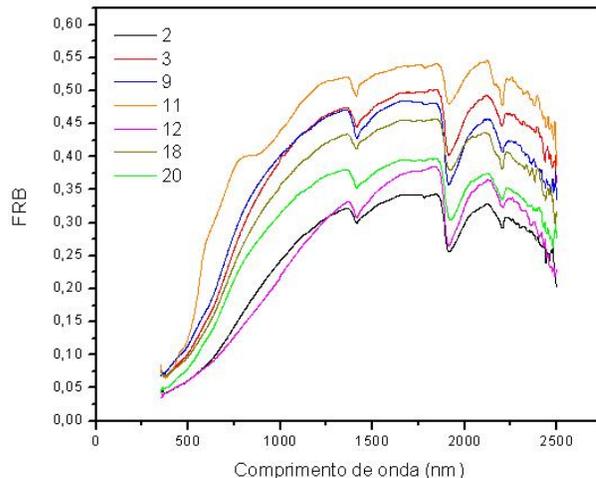


Figura 1 – Espectros de reflectância das amostras de solos.

A Análise de Componente Principal (ACP), técnica estatística multivariada, foi aplicada ao conjunto dos espectros obtidos, para reduzir a dimensionalidade dos dados e proporcionar um agrupamento e/ou separação dos tipos de solo de forma mais eficiente. Além disso, permite identificar os fatores responsáveis pela variabilidade espectral. Nos trabalhos de Smith et al. (1985), Galvão et al. (1995), Galvão et al. (1996), Galvão et al. (1997), Pizarro (1999), Saldanha e Cunha (2001) e Galvão et al. (2001) encontram-se exemplos da aplicação de ACP em análise de espectros de reflectância. Para aplicar a ACP, neste trabalho, os valores de reflectância foram lidos, nas curvas espectrais, a cada 100 nm no intervalo de 400 até 2500 nm. Os autovalores e autovetores foram gerados por uma matriz de correlação a partir destes valores de reflectância. O nível de separação espectral e a identificação de grupos homogêneos entre as amostras de solo foram identificados pela projeção dos escores componentes principais, como ilustrado na **figura 2**.

Análise de correlação entre os elementos químicos foi realizada para posteriores estudos das correlações entre os fatores de reflectância bidirecional, os resultados da análise de componentes principais e os constituintes químicos das amostras visando um melhor entendimento nas relações existentes entre as curvas espectrais e as características químicas específicas dos solos. Galvão et al. (1996) utilizaram metodologia semelhante para explicar a influência de Fe_2O_3 e Al_2O_3 nas variações de albedo de solos tropicais, enquanto que Galvão e Vitorello (1998) fizeram uso da técnica para constatar que o aumento de matéria orgânica no solo mascara as feições espectrais do óxido de ferro. Galvão et al. (2001) em suas pesquisas utilizaram essas correlações quando trabalharam com imagens de alta resolução espectral.

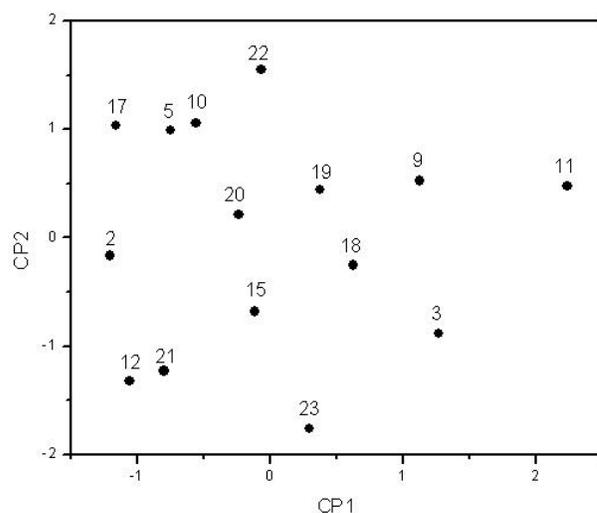


Figura 2 – Diagrama de espalhamento dos escores componentes principais das 15 amostras de solo.

2.2 Resultados e discussões

Tendo em vista que as amostras utilizadas no trabalho são provenientes de uma região de clima temperado, onde os processos de intemperismo não atuam de forma tão intensa sobre a rocha parental, foi observado que os solos estudados apresentam uma grande identidade com a rocha subjacente, estando diretamente relacionados com o substrato litológico local.

Analisando individualmente os espectros, conforme **figura 1**, se observa que as curvas não variam significativamente com relação à forma. A principal variação constatada ocorre entre os valores de albedo (brilho).

Solos com mineralogia predominante constituída de quartzo, feldspato alcalino e plagioclásio e elevados valores de SiO_2 , Na_2O e K_2O possuem seus espectros revelando a influência de materiais predominantemente de alta reflectância.

Solos provenientes das rochas sedimentares clásticas (arenitos, siltitos e argilitos), constituídos principalmente por quartzo e algumas argilas, podem apresentar pequenas quantidades de óxidos de ferro e matéria orgânica, exibindo ainda, espectros com elevado albedo e feições bem marcantes. As feições de absorção mais bem definidas e intensas, no conjunto das curvas espectrais, foram aquelas posicionadas em 1400nm em 1900nm originadas pelo processo vibracional molecular. Estas feições são, provavelmente, ocasionadas pela existência de água adsorvida aos minerais argilosos ou devido ao radical hidroxila existentes nesses minerais. Ocorre ainda, a possibilidade de estas feições serem ocasionadas pela água aprisionada como inclusões fluídas em grãos de quartzo. A feição e absorção em 2200nm, causada por vibrações de dobramento das ligações Al-OH (hidroxila) existente nos argilo-minerais (caulinita, esmectita, ilita), também foram observadas nos espectros das amostras avaliadas neste trabalho. Entre as curvas espectrais obtidas as bandas de absorção variaram em amplitude e profundidade, mas não em posicionamento. Os trabalhos de Stoner e Baumgardner (1981), Baumgardner et al. (1985), Valeriano et al. (1995), Meneses e Júnior (2001) e Madeira Netto (2001) também fazem menção a estas bandas encontradas.

Feição de absorção bem marcante devido à presença de óxido de ferro foi observada na amostra 11, posicionada entre 800 e 1000 nm. Outra feição de destaque é aquela observada em 2200nm devido à caulinita (mais cristalizada) nas amostras 11 e 18. Nas demais amostras,

essa feição não se mostrou bem definida indicando a presença de uma classe de argilo-mineral ou mistura de dois ou mais não sendo possível identificar sua predominância.

Com a utilização da ACP, os fatores de peso dos dois primeiros autovetores (E1 e E2), **figura 3**, obtidos da matriz de correlação dos valores de reflectância das 22 bandas das 15 amostras, forneceram a primeira indicação das características para a variabilidade espectral dos grupos de dados, onde a primeira componente foi responsável por 89,96% da variância total dos dados. A análise do primeiro autovetor indica uma relação direta entre o albedo (reflectância total) e os valores de CP1. Já a segunda componente (CP2), responsabilizou-se por 4,26% da variância dos dados, e está relacionada com as características de inclinação do espectro das amostras de mesmo albedo.

Na **figura 2**, onde está representada a projeção dos escores componentes principais, a proximidade entre as amostras é um indicativo de similaridade espectral. O que se observa neste caso é que não existe uma tendência de agrupamento das amostras no que se refere ao critério de sua classificação por associação à formação geológica ou à classe de solos. A semelhança das características químicas e mineralógicas desses solos justifica a impossibilidade de agrupamento por esses critérios. Analisando o eixo da CP1 (**figura 2**), onde os albedos aumentam da esquerda para a direita, e comparando com a **figura 1**, observa-se o mesmo ordenamento entre os espectros amostrais, destacando as amostras 11, 3 e 9 de maiores albedos. Relacionando aos atributos químicos, o grupo formado pelas amostras 2, 5, 10, 12, 17 e 21 com os menores albedos, e valores de CP1 próximos entre si, apresentou os maiores valores de perda ao fogo (P.F), parâmetro que representa conteúdo de matéria orgânica e umidade, MgO, Fe₂O₃, CaO, Al₂O₃ e menores valores SiO₂, comparado com as demais amostras como indicado na **tabela 3**.

Tabela 3 – Porcentagem dos constituintes químicos do grupo de amostras de menor albedo.

	P.F	MgO	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂
Amostra 2	10,51	0,32	2,38	0,51	9,17	75,06
Amostra 5	9,86	0,53	2,73	0,55	10,09	72,53
Amostra 10	12,18	0,96	3,20	1,11	13,41	65,07
Amostra 12	12,92	0,90	3,27	1,09	11,77	67,02
Amostra 17	-	-	-	-	-	-
Amostra 21	8,22	-	2,31	-	12,49	70,92

Pela análise do segundo autovetor, os seus fatores de peso variaram de valores positivos, em comprimentos de onda curtos, para valores negativos, em comprimentos de onda longos, conforme **figura 3**. Esse comportamento explica a inversão das reflectâncias a partir do comprimento de onda 1200 nm. Observando na **figura 1** as curvas espectrais das amostras 2 e 12 e das amostras 3 e 9, iguais CP1, invertem os valores da reflectância constatando-se que a razão, infravermelho próximo/visível, indicativa da inclinação espectral, varia inversamente com os valores de CP2. O que resulta destas constatações é uma inversão espectral ao redor de 1200nm para os dois conjuntos de espectros analisados.

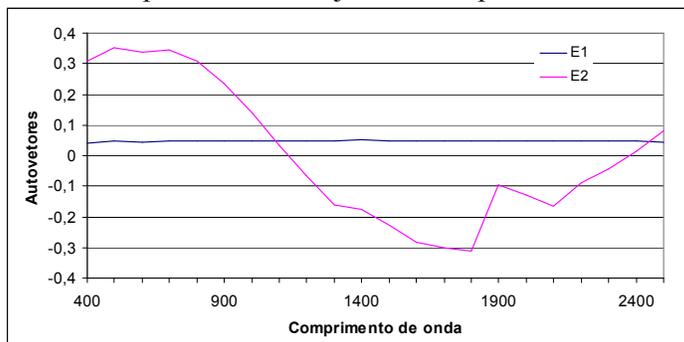


Figura 3 – Autovetores (E1 e E2) relacionados aos dois primeiros componentes principais.

Tendo em vista que as amostras de solo utilizadas no trabalho apresentaram mineralogia e o conteúdo dos elementos químicos muito semelhantes, a análise dos coeficientes de correlação linear (valores muito baixos) não indicou relação significativa entre a reflectância e os atributos químicos, e entre estes e os resultados da primeira componente principal. Algumas considerações podem, entretanto, ser feitas: os elementos que melhor explicam as variações dos albedos entre as amostras foram SiO_2 , MgO , Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 e P.F. SiO_2 e Al_2O_3 apresentaram as melhores correlações em 2470 nm, porém com sinais opostos, 0,52 e -0,51 respectivamente. A matéria orgânica, representada pela perda ao fogo (P.F), apresentou um coeficiente de -0,51 em 810 nm, enquanto que para os valores de reflectância em 1910 nm, os maiores coeficientes de correlação foram -0,45 para MgO e -0,53 para CaO . De forma análoga à análise anterior, os atributos químicos mais relacionados à CP1 foram os mesmos citados anteriormente, porém com magnitudes diferentes. SiO_2 e Al_2O_3 apresentaram os maiores valores, com sinais opostos, seguidos de P.F (-0,42), CaO (-0,37) e MgO (-0,26).

A análise de correlação apenas com os dados dos elementos químicos dos solos, verificou-se que SiO_2 está inversamente correlacionado com os demais constituintes. O que explica o fato de SiO_2 ter tido correlações positivas com a reflectância e com PC1, mostrando uma tendência de aumento da reflectância com o aumento de conteúdo deste constituinte, ao passo que os outros componentes apresentaram valores negativos, indicando uma tendência de diminuição da reflectância com o aumento da concentração dos mesmos. Entre SiO_2 e Al_2O_3 ocorreu a maior correlação negativa, valor de r de -0,989, indicando que a sílica existente nas amostras de maior albedo pode ser oriunda dos grãos de quartzo e não de argilo-minerais, enquanto que para as amostras de menor albedo a diminuição da sílica total pode significar o deslocamento desta, dos grãos de quartzo, para os feldspatos alcalinos, pagioclássios ou argilo-minerais, em função dos aumentos observados nos constituintes Na_2O , K_2O e CaO destas amostras.

Na tentativa de explicar a ocorrência de minerais félsicos (claros) e máficos (escuras), mesmo que não tenham aparecido na análise mineralógica, foi obtido o resultado da correlação do somatório dos teores de Fe_2O_3 , CaO , MgO , TiO_2 e MnO com SiO_2 (-0,88), uma alta correlação negativa, que pode ajudar a explicar a predominância dos minerais de quartzo sobre os demais.

É conveniente salientar que ajustes não-lineares sobre os dados podem melhor expressar as relações entre constituintes químicos, fatores de reflectância bidirecionais e resultados da análise de componentes principais.

3. Conclusões

Foi possível a caracterização dos diferentes substratos do Bioma Pampa com a utilização dos parâmetros químicos e mineralógicos dos solos amostrados, aliados aos fatores de reflectâncias bidirecionais. Ao contrário do que ocorre em regiões tropicais onde os processos de intemperismo atuam de forma intensa, os solos analisados apresentaram grande contribuição dos substratos litológicos locais, rochas sedimentares e ígneas ácidas, de comportamento espectral semelhante exibindo alto albedo e feições de absorção bem marcantes em 1400, 1900 e 2200 nm, característico de materiais altamente reflectivos.

O tratamento por Componentes Principais mostrou-se adequado na separação das amostras com base nos espectros radiométricos, possibilitando a formação de grupos por similaridade química. A primeira componente principal, que retrata a variação da reflectância dos alvos permitiu a formação de um grupo de amostras com os mais baixos albedos e com valores de SiO_2 baixos e altos conteúdos MgO , Fe_2O_3 , CaO e Al_2O_3 e de matéria orgânica. Esta relação pôde ser mais bem explicada pelo cálculo dos coeficientes de correlação entre as reflectâncias, os atributos químicos e resultados da análise de componentes principais.

4. Referências

- Baumgardner, M. F.; Silva, L. F.; Biehl, L. L.; Stoner, E. R. Reflectance properties of soils. **Advances in Agronomy**. v. 38, p. 1-43, 1985.
- Fiorio, P. R.; Demattê, J. A. M.; Nanni, M. R. Dados radiométricos nos níveis de laboratório, campo e orbital na discriminação de solos desenvolvidos numa topossequência. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10.. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1393-1397 CD-ROM, On-line, ISBN 85-1700016-1. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/12.28.15.53>>. Acesso em: jul. 2006.
- Fonseca, E. L. **Desenvolvimento de um modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para as formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos**. 2004. 181 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- Formaggio, A. R.; Epiphanyo, J. C. N.; Valeriano, M. M.; Oliveira, J. B. Comportamento espectral (450-2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, p. 467-474, 1996.
- Galvão, L. S.; Formaggio, A. R.; Vitorello, I.; de Freitas Filho, J.; Mazzocato, M. E.; Torres, R. B.; Espinoza, H. F. Caracterização da reflectância espectral de perfis de solos da região sudeste do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8.. 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. Artigos, p. 909-913 CD-ROM, On-line, ISBN 85-1700014-5. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2004/08.25.13.20>>. Acesso em: ago. 2006.
- Galvão, L. S.; Vitorello, I.; Paradella, W. R. Spectroradiometric discrimination of laterites with principal components analysis and additive modeling. **Remote Sens. Environ.** v. 53, p. 70-75, 1995.
- Galvão, L. S.; Vitorello, I.; Formaggio, A. R. Relationships of spectral reflectance and color among surface and subsurface horizons of tropical soil profiles. **Remote Sens. Environ.** v. 61, p. 24-33, 1997.
- Galvão, L. S.; Vitorello, I. Role of organic matter in obliterating the effects of iron on spectral reflectance and colour of Brazilian tropical soils. **International Journal of Remote Sensing**. v. 19, n. 10, p. 1969-1979, 1998.
- Galvão, L. S.; Pizarro, M. A.; Epiphanyo, J. C. N. Variations in reflectance of tropical soils: spectral-chemical compositions relationships from AVIRIS data. **Remote Sens. Environ.** v. 75, p. 245-255, 2001.
- Hunt, G. R.; Salisbury, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. **Modern Geology**. v. 1, p. 283-300, 1970.
- Madeira Netto, J. Comportamento espectral dos solos. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, 2001. 262 p. Cap. 4, p. 127-154.
- Meneses, P. R.; Ferreira Jr., L. G. Comportamento espectral de minerais e rochas. In: Meneses, P. R.; Madeira Netto, J. **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: UnB, 2001. 262 p. Cap. 3, p. 63-123.
- Pizarro, M. A. **Sensoriamento remoto hiperespectral para a caracterização e identificação mineral em solos tropicais**. 1999. 195 p. (INPE-7249-TDI/693). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1999.
- Saldanha, D. L.; Cunha, M. C. Análise do comportamento espectral de solos derivados de rochas máficas e ultramáficas do Cerro Mantiqueira, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10.. 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1469-1470 CD-ROM, On-line, ISBN 85-1700016-1. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/12.28.15.53>>. Acesso em: jun. 2006.
- Smith, M. O.; Johnson, P. E.; Adams, J. B.; Quantitative determination of mineral types and abundances from reflectance spectra using principal components analyses. **Journal of Geophysical Research**. v. 90, p. C797-C804, 1985.
- Stoner, E. R.; Baumgardner, M. F. Characteristic variations in reflectance of surface soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** v. 45, p. 1161-1165, 1981.
- Valeriano, M. M.; Epiphanyo, J. C. N.; Formaggio, A. R.; Oliveira, J. B. Bi-directional reflectance factor of 14 soil classes from Brazil. **International Journal of Remote Sensing**. v. 16, n. 1, p. 113-128, 1995.