

UMA NOVA ABORDAGEM PARA A DISCRIMINAÇÃO ENTRE SOLO EXPOSTO E VEGETAÇÃO NÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA, BASEADA EM DADOS DO SENSOR ASTER/TERRA

Fábio Marcelo Breunig – INPE (fabio-breunig@gmail.com)

Lênio Soares Galvão – INPE (lenio@dsr.inpe.br)

Antônio Roberto Formaggio – INPE (formag@ltid.inpe.br)

RESUMO

A discriminação entre solo exposto e vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV) ainda é uma lacuna em sensoriamento remoto, especialmente para solos arenosos. O objetivo desta pesquisa foi apresentar e avaliar um novo método para discriminar solos expostos de NPV. Essa separação é essencial para estudar solos através de imagens de sensoriamento remoto e/ou por espectroscopia orbital, aérea e de campo, uma vez que o NPV mascara as feições espectrais dos minerais e dos solos. O método proposto baseia-se no uso combinado do modelo linear de mistura espectral e de normalizações do infravermelho de ondas curtas (SWIR) e do infravermelho termal (TIR), que exploram feições de hidroxila e de sílica, respectivamente. Imagens de reflectância e emissividade de superfície do sensor ASTER/Terra (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) foram utilizadas no trabalho. Os resultados foram validados com a inspeção de campo em 112 pontos, entre solos expostos e NPV. A normalização do TIR permitiu discriminar todos os solos arenosos (Neossolo Quartzarênico; NQ). Devido ao efeito das feições de *reststrahlen* na banda 10 (centrada em $8,291\mu\text{m}$), associadas ao quartzo, solos arenosos apresentaram os maiores valores para a normalização do TIR. Todos os solos intermediários (Latosolo Vermelho Amarelo; LVA) também foram discriminados. Entretanto, a normalização do SWIR permitiu a discriminação de aproximadamente 75 % dos solos argilosos (Latosolo Vermelho; LV) do NPV. Os solos argilosos apresentaram os maiores valores da normalização do SWIR. A mistura entre NPV e solos argilosos produziu uma área de confusão onde a discriminação não pode ser feita. Esse novo método produziu, num diagrama de dispersão entre as variáveis TIR e SWIR, uma espécie de linha do solo e um capuz invertido, que permitiu discriminar solos expostos de NPV. A contribuição desse trabalho pode ser especialmente útil para o estudo de áreas arenosas e de processos de desertificação/arenização. Cabe ressaltar que pesquisas em outras áreas e testes com mais amostras devem ser feitos para comprovar a eficiência do modelo proposto.

Palavras chave: Solos arenosos; Vegetação não fotossinteticamente ativa; sensor ASTER.

ABSTRACT

A new approach for the discrimination between bare soils and non photosynthetic vegetation, based on ASTER/TERRA data

The discrimination between bare soil and non photosynthetic vegetation (NPV) still remains a challenge in remote sensing, especially to sandy soils. The objective of this research was to present and evaluate a new methodology to discriminate exposed soils from NPV. This separation is essential to study soil through remote sensing images and/or field, orbital and aircraft spectroscopy, since NPV masks mineral and soil spectral features. The proposed method is based on a combined strategy of linear spectral unmixing model using four endmembers, and short wave infrared (SWIR) and thermal infrared (TIR) normalizations, which explore hydroxyl and silica features, respectively. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER/TERRA)-derived surface reflectance and emissivity images were used. Results were validated with field data (112 points from soils and NPV). By using TIR normalization, it was possible to discriminate all sandy soils (Quartzarenic Neosol = Ustic Quartzipsamments). Because of *reststrahlen* effect on band 10 (centered at $8.291\mu\text{m}$), associated to quartz, sandy soils presented the highest values for TIR normalization. Intermediary soils (Red–Yellow Latosol = Typic Acrustox) were also discriminated. However,

the SWIR normalization allowed the discrimination of approximately 75 % of clayey soils (Red Latosol = Rhodic Acrustox). Clayey soils presented the highest values for SWIR normalization. The mixture of NPV and clayey soils produced a confusion area where the discrimination could not be done. This approach produced, in a TIR x SWIR diagram, a kind of inverted soil line and tasseled cap that allowed the discrimination between exposed soils and NPV. This contribution is especially useful to study sandy soils and desertification/arenization processes. Finally, research in other study areas and tests with more sample sites are necessary to prove the efficiency of this new approach.

Keywords: Sandy soils; Non-photosynthetic vegetation; ASTER sensor.

1. INTRODUÇÃO

A contribuição do sensoriamento remoto para a caracterização, modelagem e entendimento dos processos Terrestres é incontestável. Entretanto, muitos desafios ainda permanecem. Nos últimos 20 anos, diversos pesquisadores apresentaram metodologias para a discriminação entre solo exposto e vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV, p.ex., palha de milho, soja, gramíneas e vegetação senescente), utilizando dados de sensoriamento remoto. Em geral, os trabalhos foram baseados em imagens (Biard e Baret, 1997; Daughtry, 2001; Sullivan et al., 2002; Daughtry et al., 2004) e dados de fluorescência (Daughtry et al., 1995). French et al. (2000) exploraram o contraste na emissividade (termal) para discriminar tipos de vegetação senescente. Segundo Ustin et al. (2005), as medidas de resíduos de culturas agrícolas ainda são um desafio em sensoriamento remoto. Os autores atribuem essas dificuldades às variações relacionadas ao tipo de material residual, à densidade de cobertura e à umidade. Essa discriminação torna-se ainda mais complicada quando a área de estudo está localizada em ambientes áridos ou semi-áridos (McNairn e Protz, 1993), visto que a semelhança espectral entre pixels de solo exposto e NPV aumenta.

A discriminação entre solo exposto e NPV é importante para tornar possível o uso dos dados de sensoriamento remoto para estudar diversos parâmetros do solo, elaborar modelos de transferência de energia e de fluxo de calor na interface ar-terra, além de estudar áreas de plantio direto.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi apresentar e avaliar uma nova abordagem para discriminar talhões de solo exposto de NPV, com dados de reflectância e emissividade do sensor ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dados do visível e infravermelho próximo possibilitam estimar a concentração de óxido de ferro, enquanto as imagens do infravermelho de ondas curtas permitem explorar as feições espectrais provocadas pelos minerais argilosos (Galvão et al., 2005). Os solos apresentam um alto contraste espectral no infravermelho termal (TIR) associado à sílica (da fração areia – quartzo). Devido à presença de sílica nos solos, esses solos apresentam bandas de *reststrahlen*. Estas bandas são resultantes de vibrações moleculares, que produzem feições de baixa emissividade no TIR entre $8\mu\text{m}$ e $9\mu\text{m}$ (Salisbury e D’Aria, 1992a, b; Gillespie et al., 1998; Gillespie et al., 1999; French et al., 2000).

Na Figura 1 – A são apresentados alguns espectros de reflectância de minerais comuns em solos tropicais. Solos tipicamente escuros, ricos em goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e hematita (Fe_2O_3), apresentam amplas bandas de absorção no infravermelho próximo ($0,9\mu\text{m}$). A caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), comum nos Latossolos, apresenta feições estreitas associadas às hidroxilas ($1,4\mu\text{m}$ e $2,2\mu\text{m}$) (Galvão et al., 2005). O quartzo (SiO_2) não apresenta feições no VNIR e SWIR, o que dificulta sua identificação através de imagens de alta resolução espectral.

A Figura 1 – B ilustra os espectros de emissividade de alguns tipos de solo. Em geral, solos com maior concentração de sílica (SiO_2) possuem profundas bandas de menor emissividade (bandas de *reststrahlen*). Por outro lado, solos mais síltico-argilosos tendem a não apresentar bandas de *reststrahlen* (Salisbury e D’Aria, 1992a, b; Christensen et al., 2000).

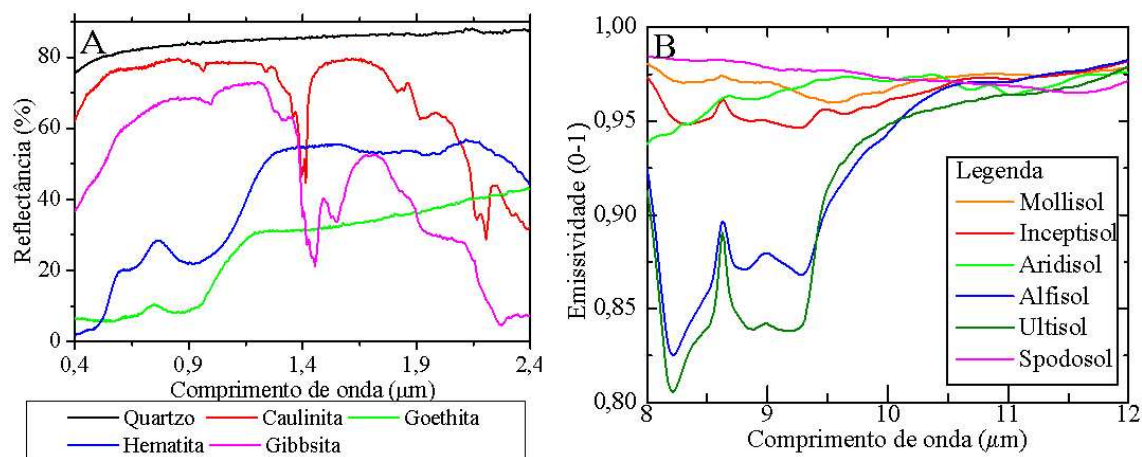


Figura 1 – (A) Espectros de reflectância de alguns minerais encontrados em solos. (B) – Espectros de emissividade de alguns tipos de solo. Fonte: Adaptado de JPL (2006)

A vegetação verde possui bandas de absorção bem definidas no VNIR e no SWIR, em geral, associadas aos pigmentos fotossintetizantes e ao teor de água presentes nas folhas. Todavia, com a senescência, as bandas de absorção diminuem ou mesmo desaparecem (Goel, 1988; Ponzoni, 2001). A vegetação tipicamente apresenta alta emissividade no TIR, além de suaves bandas associadas à lignina e celulose (Elvidge, 1988, 1990; Salisbury e D’Aria, 1992a; Luz, 2005).

A discriminação entre a vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV, representada por diferentes tipos de palhas e vegetação seca) e alguns tipos de solos ainda é um desafio em sensoriamento remoto. Em geral, as pesquisas foram feitas com dados do visível e infravermelho próximo (VNIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR). Alguns autores sugerem o uso de imagens de emissividade para tal finalidade (McNairn e Protz, 1993; Biard e Baret, 1997; Ustin et al., 2005). Entretanto, não as exploraram. A discriminação da vegetação senescente (seca) através da emissividade ainda carece de espectros de referência (Jiménez-Muñoz e Sobrino, 2006), o que torna a validação mais difícil.

O manejo e a adoção de práticas conservacionistas (plantio direto) demandam meios de monitoramento da NPV com precisão e em boa escala temporal. É nesse contexto que o sensoriamento remoto se apresenta (Sullivan et al., 2002; Sullivan et al., 2004). Num estudo que avaliou a influência da umidade para o monitoramento do NPV, Aase e Tanaka (1991) verificaram que o TIR apresenta melhores resultados que o VNIR-SWIR. Sullivan et al. (2002) verificaram que o uso de imagens *Ikonos* não é confiável (além das limitações de custo) para estimar a percentagem de resíduos. Segundo esses autores, as bandas termais produzem melhores resultados. Entretanto, não exploraram esta possibilidade.

Ustin et al. (2005) afirmaram que medidas de material residual seco proveniente de culturas constituem um dos desafios do sensoriamento remoto, tendo em vista as variações atribuídas ao tipo de resíduo, densidade, umidade, etc. Esses autores mencionam ainda que normalmente estes materiais são classificados como uma única classe, denominada de vegetação não fotossinteticamente ativa (NPV), que apresenta variações espectrais possíveis de serem identificadas. Entretanto, não abordaram as contribuições do TIR para a discriminação desses diferentes tipos de NPV, bem como para a discriminação entre solos e NPV.

Em áreas áridas e semi-áridas, a determinação do grau de cobertura de NPV e de decomposição desse material são tarefas difíceis. Quando o solo predomina, as variações espectrais, em termos espaciais e temporais, estão relacionadas à dinâmica e características físicas dos solos. Entretanto, quando aparecem proporções iguais de solo e NPV, esses produzem feições espectrais não suficientemente distintas, para que possam ser discriminadas com imagens do VNIR e SWIR (lignina e celulose). Em condições de solo úmido, a reflectância dos resíduos é maior que em solos secos. A resposta espectral dos resíduos no SWIR é maior que a do solo, permitindo sua distinção (Ustin et al., 2005). Para tal, vários índices foram desenvolvidos. Entretanto, em solos arenosos sua eficiência é reduzida (McNairn e Protz, 1993), devido a alta reflectância desses solos. A dificuldade de discriminação entre solo e resíduos agrícolas também foi comentada por Biard e Baret (1997). Este é um fator importante no direcionamento dos estudos a partir do TIR, que pode superar essas limitações.

Elvidge (1988) verificou que as plantas secas apresentam variações espectrais que permitem a discriminação de espécies e materiais que constituem as plantas. Segundo ele, as feições de lignina e celulose dominam o espectro da vegetação seca no infravermelho termal (TIR).

4. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo ($\approx 40 \times 50$ km) está localizada entre as coordenadas de S15,28°/W55,3° (canto superior direito) e S15,79°/W55,04° (canto inferior esquerdo), no Estado do Mato Grosso, na região central do Brasil. É uma típica região agrícola que expressa a rápida substituição do Cerrado por cultivos agrícolas. A localização da área de estudo pode ser vista na [Figura 2](#).

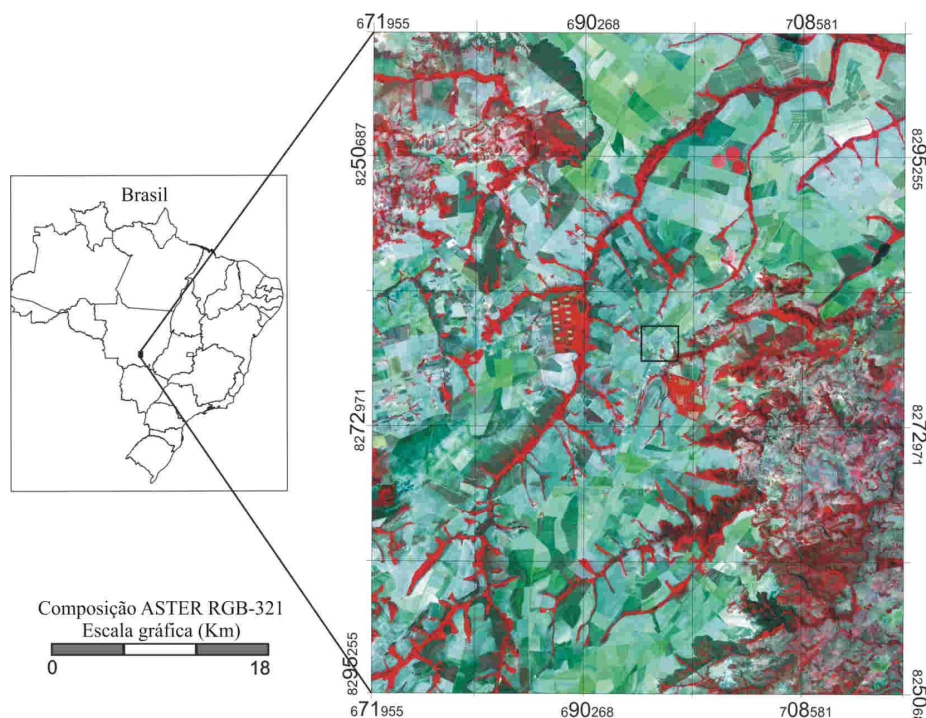


Figura 2 – Localização da área de estudo. O retângulo no centro da cena identifica a área urbana do município de Campo Verde (MT).

A altitude média da área de estudo é de aproximadamente 654 metros. O clima da região é classificado como quente semi-úmido (tropical de savana – Aw) segundo a metodologia de Köppen (Maitelli, 2005), com temperatura média de 21 °C e precipitação média de 1500 mm/ano. A região caracteriza-se por duas estações bem definidas, com o período seco entre maio e setembro, e chuvoso entre outubro e abril. Os principais tipos de solo encontrados na região são: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (NQ).

Na região de Campo Verde, o LV tipicamente apresenta horizonte B latossólico, com teores de ferro entre 8 e 18% em solos argilosos a muito argilosos e com menos de 8% em solos de textura média. São solos profundos e acentuadamente drenados. Em geral, ocorrem em relevo plano a suavemente ondulado. Sua origem está relacionada a sedimentos da Superfície Peneplanizada Terciária e litologias da Formação Marília. As condições de relevo favorecem seu uso agrícola, porém possuem baixa fertilidade natural. A vegetação nativa associada é do tipo Cerrado (no geral) e Floresta Tropical Subcaducifólia (SEPLAN/MT, 2000). A origem dos LVA da região de Campo Verde está relacionada à Superfície Peneplanizada Terciária e aos arenitos da Formação Marília. Ocorrem em relevo plano e suavemente ondulado. Possuem baixa fertilidade natural e a vegetação nativa associada é o Cerrado Tropical Subcaducifólio (SEPLAN/MT, 2000). Por fim, os NQ são profundos a muito profundos, de textura

arenosa que se estende até pelo menos 2 metros de profundidade. Portanto, são solos essencialmente quartzosos. Em geral estão associados a um relevo plano a suavemente ondulado. A origem dos NQ reporta para os arenitos das Formações Marília, Botucatu, Aquidauana e Furnas. São solos de baixa fertilidade, associados à vegetação de Cerrado Tropical Subcaducifólio ou pastagens (SEPLAN/MT, 2000).

5. METODOLOGIA

As imagens de reflectância e emissividade de superfície do sensor ASTER, adquiridas no dia 7 de setembro de 2006, foram utilizadas. A abordagem proposta para discriminação entre solo exposto e NPV consiste no uso combinado do modelo linear de mistura espectral e de dados normalizados do SWIR e do TIR.

Para corrigir os efeitos de *crosstalk*, presentes nas bandas do SWIR (bandas 5 a 9), aplicou-se um algoritmo do ERSDAC (2003). Estes efeitos foram discutidos por Tonooka e Iwasaki (2004) e por Iwasaki e Tonooka (2005).

Após a correção *crosstalk*, a imagem de reflectância de superfície foi então obtida com base na imagem de radiância aparente (ASTER L1B) adquirida junto ao LPDAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*). As imagens das bandas do VNIR (15 metros de resolução espacial) foram reamostradas para a resolução espacial das bandas do SWIR (30 metros). A correção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica e a obtenção da imagem de reflectância de superfície foi feita através do aplicativo “*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*” (FLAASH), que utiliza o modelo de transferência radiativa MODTRAN-4 (*MOderate resolution TRANsmittance code*) para interpolar os dados atmosféricos (RSI, 2006). Detalhes sobre o modelo de transferência radiativa MODTRAN podem ser encontrados em Berk et al. (1998), Berk et al. (1999) e Matthew et al. (2000).

As imagens de emissividade de superfície foram adquiridas como um produto do LPDAAC. A correção atmosférica das imagens do TIR se baseia numa adaptação do código MODTRAN (Palluconi et al., 1999). A emissividade de superfície foi obtida através do uso do modelo TES (*Temperature and Emissivity Separation*), que consiste do: “método de emissividade normalizada” (NEM), “módulo de razões” (RA), algoritmo de “diferença máxima e mínima” (MMD) e de um teste de qualidade (Gillespie et al., 1998; Gillespie et al., 1999).

O modelo linear de mistura espectral foi executado com quatro membros de referência: solo, água, NPV e vegetação verde. Os membros de referência foram

selecionados através do uso sequencial da “transformação da fração mínima de ruído”, “índice de pureza do pixel” e “visualizador n -Dimensional” (Kruse, 2003). Sobre a imagem fração solo, um limiar de 65 % de pureza foi aplicado para separar áreas de solo exposto dos demais componentes de cena. Devido à dificuldade de separar solos claros e arenosos de NPV através do modelo de mistura, uma análise complementar foi necessária. Essa análise incluiu a normalização dos dados de reflectância (SWIR) e emissividade (TIR) do ASTER.

Para discriminar os pixels de solo exposto de NPV foi utilizada uma estratégia combinando normalizações do SWIR e TIR (Equações 1 e 2, respectivamente), aplicada sobre a imagem fração solo limiarizada (acima de 65% de pureza). Os solos escuros foram discriminados de NPV através da aplicação de uma normalização das bandas 5 (2,167 μm) e 6 (2,209 μm) do SWIR (Equação 1). O limiar de corte utilizado foi 0,5. Para discriminar os solos claros foi utilizada uma normalização das bandas 10 (8,291 μm) e 14 (11,318 μm) (Equação 2). O limiar de corte para os solos claros foi de 3. Os limiares de corte foram definidos através da análise do gráfico de espalhamento entre ambas as normalizações, formado por 112 pontos de controle, com cobertura do solo conhecida.

$$N_{SWIR} = \left[\frac{(Banda\ 5 - Banda\ 6)}{(Banda\ 5 + Banda\ 6)} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

Onde N_{SWIR} é a normalização das bandas do SWIR. A utilização dessa normalização do SWIR se justifica pela sua sensibilidade as feições produzidas por argilo-minerais. A simples razão entre as bandas 5/6, conhecida também como índice de cristalinidade, permite verificar a presença ou não da caulinita (Ducart, 2004). Essa normalização permite ampliar as diferenças entre as feições de argilo-minerais, ou seja, quanto mais argila estiver presente no pixel, maior será o valor N_{SWIR} .

$$N_{TIR} = \left[\frac{(Banda\ 14 - Banda\ 10)}{(Banda\ 14 + Banda\ 10)} \right] \cdot 100 \quad (2)$$

Onde N_{TIR} é a normalização das bandas do TIR. A escolha desta normalização para o TIR foi feita a partir do teste das outras possíveis normalizações. Com a utilização da razão das bandas 10/14 é possível explorar o contraste associado às feições de baixa emissividade (banda 10) e a alta emissividade, praticamente constante, da banda 14. As

feições de absorção do quartzo provocam esse contraste (Salisbury; D’Aria, 1992a, b). Em síntese, quanto mais quartzo estiver presente no pixel, maior será o valor N_{TIR} .

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 29 de novembro e 4 de dezembro de 2006. Um total de 27 amostras de solo superficial (0-20 cm) foram coletadas para fazer as análises físico-químicas. Esses solos foram classificados em três tipos, com base na inspeção de campo: Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (NQ). Além dessas 27 amostras de solo, outros 85 talhões com NPV foram visitados e utilizados como verdade de campo para validar a abordagem proposta.

A avaliação da precisão de separação foi feita a partir de 112 pontos amostrais de NPV e diferentes classes de solo, que haviam sido visitados em campo. Para fazer esta avaliação foram construídos gráficos de espalhamento.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O modelo linear de mistura espectral permitiu a aplicação do limiar de 65% de pureza à imagem fração solo, permitindo eliminar principalmente a vegetação verde (o uso do modelo de mistura é necessário para discriminar a vegetação verde, tendo em vista que ela também apresenta bandas de absorção no SWIR, associadas a lignina e celulose, o que causaria confusão com os solos escuros/argiloso). Com isso, apenas talhões com solo exposto e de diferentes densidades de cobertura de NPV restaram. Para discriminar solo e NPV foram utilizadas as normalizações (Equações 1 e 2).

A Figura 3 mostra as relações entre os dados normalizados do SWIR (Equação 1) e do TIR (Equação 2) para 112 pixels correspondentes a locais visitados em campo. Valores da normalização dos dados de reflectância (SWIR) superiores a 0,05 foram utilizados para discriminar solos argilosos de NPV, devido à presença de bandas de absorção da hidroxila bem definidas (p.ex., caulinita e gibbsita), associadas aos solos escuros expostos. Por outro lado, valores da normalização dos dados de emissividade superiores a três foram eficientes para discriminar solos arenosos de NPV, devido à presença de bandas de *reststrahlen* (provocadas pelo quartzo).

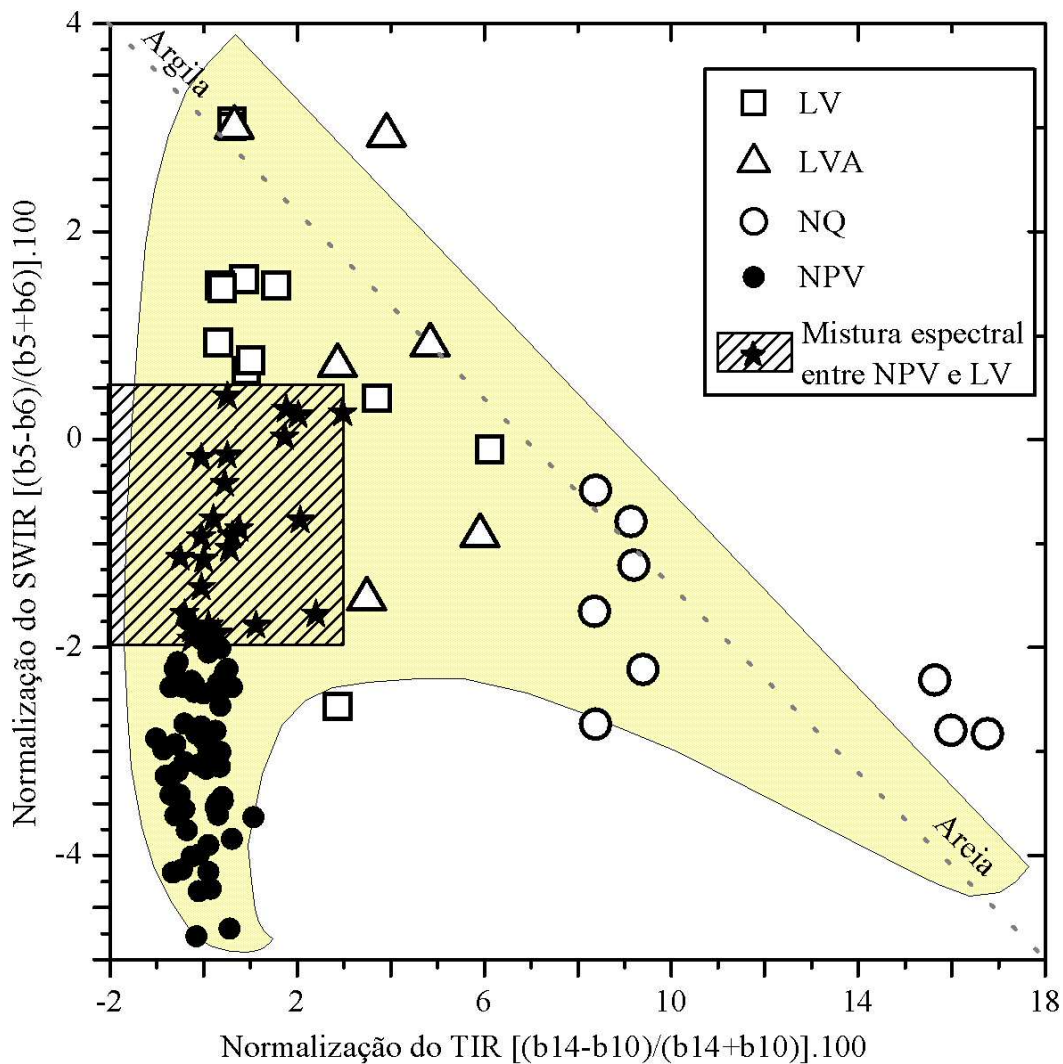


Figura 3 – Separação entre solo exposto e NPV. O capuz invertido (em amarelo) representa a linha do solo e o “tasseled cap” invertidos.

Todas as amostras de solo arenoso (NQ) puderam ser discriminadas do NPV através da utilização da normalização do TIR (eixo x da Figura 3). Esse resultado positivo é uma consequência do grande contraste espectral entre as bandas 10 (centrada em $8.291 \mu\text{m}$) e 14 (centrada em $11.318 \mu\text{m}$) presente nos solos arenosos (p. ex., NQ e alguns LVA). A baixa emissividade na banda 10 está associada às bandas de *reststrahlen* do quartzo (SiO_2) (Salisbury e D’Aria, 1992a, b; Gillespie et al., 1998; Gillespie et al., 1999). Como o NPV é composto essencialmente por lignina e celulose, ele não apresenta feições de *reststrahlen* (Elvidge, 1988, 1990). O LVA também pôde ser discriminado do NPV com sucesso. Sua distribuição no gráfico, devido ao fato de ser um solo com concentração de areia intermediária, em relação ao LV e NQ, mostrou essa gradual transição de solos de caráter mais argiloso para solos mais arenosos.

Por outro lado, 75 % das amostras de LV e NPV visitadas em campo foram corretamente discriminadas. A maioria dos LV apresentou valores superiores a 0,05 para a normalização do SWIR, enquanto que a grande maioria do NPV apresentou valores inferiores à zero (eixo y da Figura 3).

Em geral, quanto mais argila estiver presente num pixel, maior será o valor da normalização do SWIR. Por outro lado, quanto maior for a concentração de quartzo num determinado pixel, maior será o valor da normalização do TIR. Finalmente, quanto maior for a cobertura de NPV num determinado pixel, menores serão os valores das normalizações do SWIR e TIR, devido a ausência de feições espectrais.

A Figura 4 (a) ilustra os talhões visitados em campo e a Figura 4 (b) os talhões de solo exposto identificados pela metodologia. Esse resultado comprova a eficiência dessa abordagem, mesmo em condições de solo arenoso.

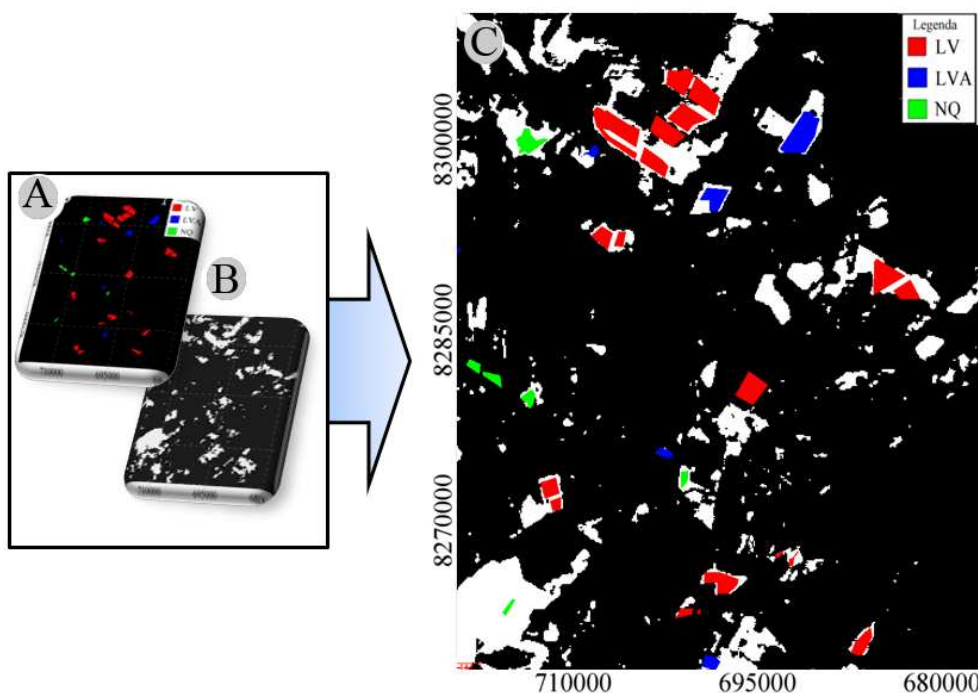


Figura 4 - (a) Talhões de solo exposto visitados durante o trabalho de campo. (b) Talhões de solo exposto (em branco) discriminados a partir da metodologia que integra o modelo linear de mistura espectral e as normalizações do SWIR e do TIR. (c) sobreposição dos talhões visitados em campo aos discriminado pela metodologia proposta. OBS: A área em preto representa outros componentes de cena.

Finalmente, o gráfico de espalhamento dos dados normalizados mostrou uma linha do solo e o “*tasseled cap*” invertidos (capuz invertido, representado pela cor amarela na Figura 3), quando comparados com os gráficos de espalhamento entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Solos argilosos (escuros) apresentaram baixos valores para a normalização do TIR e altos valores para a normalização do SWIR. O contrário foi verificado para solos arenosos. O NPV apresentou os menores valores para as normalizações do SWIR e TIR.

7. CONCLUSÃO

Em síntese, o refinamento do modelo linear de mistura espectral para a separação do solo exposto de NPV foi possível com a combinação dos dados normalizados do SWIR e TIR. A normalização dos dados de reflectância do SWIR foi eficaz para discriminar solos argilosos, enquanto que a normalização dos dados de emissividade do TIR possibilitou uma boa discriminação entre solos arenosos e NPV.

Essa estratégia combinada pode ser muito útil para detectar superfícies de solo arenoso e identificar áreas de degradação do solo no Cerrado brasileiro.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP (05/01737-0) pelo suporte financeiro, CNPq (305600/2006-0), à CAPES pela bolsa de mestrado e aos revisores anônimos pelas contribuições oferecidas.

9. REFERÊNCIAS

- Aase, J. K.; Tanaka, D. L. Reflectances from four wheat residue cover densities as influenced by three soil backgrounds. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 4, p. 753-757, 1991.
- Berk, A.; Bernstein, L. S.; Anderson, G. P.; Acharya, P. K.; Robertson, D. C.; Chetwynd, J. H.; Adler-Golden, S. M. MODTRAN Cloud and Multiple Scattering Upgrades with Application to AVIRIS. **Remote Sensing of the Environment**, v. 65, n., p. 367-375, 1998.
- Berk, A.; Anderson, G. P.; Bernstein, L. S.; Acharya, P. K.; Dothe, H.; Matthew, M. W.; Adler-Golden, S. M.; Chetwynd-Jr., J. H.; Richtsmeiera, S. C.; Pukall, B.; Allredb, C. L.; Jeong, L. S.; Hoke, M. L. MODTRAN4 Radiative Transfer Modeling for Atmospheric Correction. In: Proceeding SPIE - Optical Spectroscopic Techniques and Instrumentation for Atmospheric and Space Research III. 1999. **Proceedings**. 3756. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers., 1999. p. July, 1999.
- Biard, F.; Baret, F. Crop Residue Estimation Using Multiband Reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n., p. 530-536, March, 1997.
- Christensen, P. R.; Bandfield, J. L.; Hamilton, V. E.; Howard, D. A.; Lane, M. D.; Piatek, J. L.; Ruff, S. W.; Stefanov, W. L. A thermal emission spectral library of

- rock-forming minerals. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. E4, p. 9735–9740, 2000.
- Daughtry, C. S. T.; Iii, J. E. M.; Chappelle, E. W.; Dulaney, W. P.; Irons, J. R.; Satterwhite, M. B. Potential for discriminating crop residue from soil by reflectance and fluorescence. **Agronomy Journal**, v. 87, n. 2, p. 165-171, 1995.
- Daughtry, C. S. T. Discriminating Crop Residues from Soil by Shortwave Infrared Reflectance. **Agronomy Journal**, v. 93, n., p. 125-131, 2001.
- Daughtry, C. S. T.; Hunt-Jr, E. R.; J E McMurtrey, I. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 1, p. 126-134, March 15, 2004.
- Ducart, D. F. **Caracterização da alteração hidrotermal associada as ocorrências auríferas de Los Menucos, Argentina, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e espectroscopia de reflectância**. 2004. 96 p. Dissertação (mestrado em Geociências), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil, 2004
- Elvidge, C. D. Thermal infrared reflectance of dry plant materials: 2.5–20 micrometers. **Remote Sensing of Environment**, v. 26, n., p. 265-285, 1988.
- _____. Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials. **International Journal of Remote Sensing**, v. 11, n. 10, p. 1775-1795, 1990.
- ERSDAC. **Crosstalk correction software user's guide**. ERSDAC Earth Remote Sensing Data Analysis Center March , 2003. Disponível em: <http://www.google.com/url?sa=t&ct=res&cd=1&url=http%3A%2F%2Fwww.gds.aster.ersdac.or.jp%2Fgds_www2002%2Fservice_e%2Fu.tools_e%2Fcross%2FGUIDEED.PDF&ei=oKlIR77vKJyoeaPnyUs&usg=AFQjCNHHNkkEDRb6prMZ9paWbqIRvVTVgw&sig2=6wU_sN0rungmXykxcvz-OA>. 2003
- French, A. N.; Schmugge, T. J.; Kustas, W. P. Discrimination of senescent vegetation using thermal emissivity contrast. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 249-254, November, 2000.
- Galvão, L. S.; Filho, R. A.; Vitorello, Í. Spectral discrimination of hydrothermally altered materials using ASTER shortwave infrared bands: evaluation in a tropical savannah environment. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 7, n. 2, p. 107-114, 2005.
- Gillespie, A.; Rokugawa, S.; Matsunaga, T.; Cothorn, J. S.; Hook, S. J.; Kahle, A. B. A temperature and emissivity separation algorithm for AdvancedSpaceborne Thermal

- Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1113-1126, Jul, 1998.
- Gillespie, A. R.; Rokugawa, S.; Hook, S. J.; Matsunaga, T.; Kahle, A. B. **Temperature/emissivity separation algorithm theoretical basis document, version 2.4**. Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, CA: 22 March 1999, p.64
Disponível em:
<<http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/pdf/2b0304.pdf>>. Prepared under NASA Contract NAS5-31372. Acesso em 19 Dez/2006. 1999.
- Goel, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, n., p. 1-222, 1988.
- Iwasaki, A.; Tonooka, H. Validation of crosstalk correction algorithm for ASTER/SAWIR. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 12, p. 2747-2751, Dec., 2005.
- Jiménez-Muñoz, J. C.; Sobrino, J. A. Emissivity spectra obtained from field and laboratory measurements using the temperature and emissivity separation algorithm. **Applied Optics**, v. 45, n. 27, p. 7104-7109, 2006.
- JPL. **Reproduced from the ASTER Spectral Library** through the courtesy of the Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California. Copyright [©]1999, California Institute of Technology. All rights reserved. ASTER spectral library. Version 1.2. <<http://speclib.jpl.nasa.gov>> or **CD**. Pasadena: California Institute of Thecnology. JPL, 2006.
- Kruse, F. A. Mineral Mapping with AVIRIS and EO-1 Hyperion. In: 12th JPL Airborne Geoscience Workshop. 2003. Pasadena. **Proceedings.04-6** (CD-ROM). Pasadena: Jet Propulsion Laboratory Publication, 2003. p. 149 - 156. 2003.
- Luz, B. R. **Propriedades espectrais de plantas no infravermelho termal (2,5 - 14 mm): da química ao dossel**. 2005. 188 p. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- Maitelli, G. T. Interações atmosfera-superfície. In: G. Moreno; R. C. S. Hilga (Ed.). **Geografia do Mato Grosso: Território, sociedade, ambiente**. Cuiabá: Entrelinhas, p.238-249.I 2005.
- Matthew, M. W.; Adler-Golden, S. M.; Berk, A.; Richtsmeier, S. C.; Levine, R. Y.; Bernstein, L. S.; Acharya, P. K.; Anderson, G. P.; Felde, G. W.; Hoke, M. P. Status

- of Atmospheric Correction Using a MODTRAN4-based Algorithm. In: Proceedings SPIE Algorithms for Multispectral - Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VI. 2000. **Proceedings**. 4049. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2000. p. 199-207. 2000.
- McNairn, M.; Protz, R. Mapping corn residue cover on agricultural fields in Oxford County, Ontario, using Thematic Mapper. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 19, n., p. 152-159, 1993.
- Palluconi, F.; Hoover, G.; Alley, R.; Jentoft-Nilsen, M.; Thompson, T. **An atmospheric correction method for ASTER thermal radiometry over land: ASTER Standard Data Product AST09, "Level-2 Radiance--TIR, Land_Leaving"**. Jet Propulsion Laboratory. 4800 Oak Grove Drive, Pasadena: February 19, p.27. Disponível em: <http://eosps.gsfc.nasa.gov/eos_homepage/for_scientists/atbd/docs/ASTER/atbd-ast-05.pdf>. 1999
- Ponzoni, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In: P. R. Menezes; J. S. Madeira-Netto (Ed.). **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Embrapa, p.157-199.I 2001.
- RSI. **ENVI - The remote sensing platform of choice**. Boulder, USA 2006.
- Salisbury, J. W.; D'aria, D. M. Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 μ m atmospheric window. **Remote Sensing of Environment**, v. 42, n. 2, p. 83-106, November, 1992a.
- _____. Infrared (8–14 μ m) remote sensing of soil particle size. **Remote Sensing of Environment**, v. 42, n. 2, p. 157-165, November, 1992b.
- SEPLAN/MT. **Zoneamento sócio-econômico-ecológico: Diagnóstico Sócio-econômico-ecológico do Estado de Mato Grosso e assistência técnica na formulação da 2ª aproximação: Descrição sumária das classes de solos, resultados analíticos e considerações sobre erodibilidade da folha Dom Aquino, MIR-389 (SD.21-Z-D) - Memória técnica**. Governo do Estado de Mato Grosso - Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAN): Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento (BIRD). Cuiabá: Maio, 2000, p.51. Disponível em: <<http://www.seplan.mt.gov.br/>>. 2000
- Sullivan, D. G.; Shaw, H. N.; Mask, P. L.; Guertal, E. A.; Norleet, M. L. Quantifying residue coverage via satellite remote sensing platforms. In: Annual Southern

- Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture 25th. 2002. Auburn, Alabama. **Proceedings**. Auburn, Alabama, 2002. p. 207-212. 24-26 June, 2002.
- Sullivan, D. G.; Shaw, J. N.; Mask, P. L.; Rickma, D.; Guertal, E. A.; Livall, J.; Wesinger, J. M. Evaluation of Multispectral Data for Rapid Assessment of Wheat Straw Residue Cover. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n., p. 2007-2013, November 1, 2004.
- Tonooka, H.; Iwasaki, A. Improvement of ASTER/SWIR crosstalk correction. In: SPIE. 2004. Bellingham, WA. **Proceedings**. Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites VII. Bellingham, WA: SPIE 2004. p. 168-179. 2004.
- Ustin, S. L.; Jacquemoud, S.; Palacios-Orueta, A.; Li, L.; Whiting, M. L. Remote Sensing Based Assessment of Biophysical Indicators for Land Degradation and Desertification. In: Remote Sensing and Geoinformation Processing in the Assessment and Monitoring of Land Degradation and Desertification. 2005. Trier-Germany. **Proceedings**. Trier-Germany, 2005. p. 1-20. September 7th to 9th, 2005.