

## Mapeamento de formações arenosas em fragmentos de Cerrado utilizando dados e produtos do sensor ASTER

Luiz Eduardo Vicente<sup>1</sup>  
Carlos Roberto Souza Filho<sup>1</sup>  
Archimedes Perez Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP/IGE  
Caixa Postal 6152 – 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
(vicente, beto, archi)@ige.unicamp.br

**Abstract:** In this study, fragments and remnants of the Cerrados (tropical savannah) in the State of São Paulo were mapped in a semi-detailed (1:50.000) scale, using ASTER multispectral imagery, ASTER-derived digital elevation models (DEMs) and field data. The objective of the work was to identify small-scale sandy formations and their transitional zones to clay-rich soils and several types of vegetation. This was accomplished with several processing techniques, such as feature-oriented spectral indices, spectral classification of targets using the Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm and tools for merging multispectral data to ASTER DEMs. Results show that ASTER data and advanced processing techniques are able to map these specific endmembers and portray mixtures between them, which are of fundamental importance to understanding unique and transition zones among the Cerrados.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, cerrado, sensoriamento remoto, processamento de imagens, cerrado.

### 1. INTRODUÇÃO

No primeiro levantamento da cobertura vegetal natural realizado pelo Inst. Florestal do estado de São Paulo em 1972, os Cerrados representavam 4,18% do território do estado (Serra Filho, 1975), sendo que em 2001 esse número caiu para menos de 1% do total (Kronka, 2003). Esses números são impressionantes, considerando-se os 14% (SMA/PROBIO, 1998) de participação deste bioma um século atrás.

A retirada da cobertura vegetal dos Cerrados, fruto de milhões de anos de evolução, preconiza cenários que só podem ser vislumbrados através da consideração de perturbações (Henriques, 1993) que resultam em variações de pequena escala. Essa progressiva fragmentação de biomas ameaçados nos remete a abordagens que considerem zonas de transição, muito mais do que áreas *Core*, uma demanda cada vez maior, que exige novos métodos e recursos de mapeamento, indo além de mapeamentos taxonômicos de cunho fenológico.

Dessa maneira, trata-se nesse trabalho de uma proposta de mapeamento em escala de semi-detalhe (1:50.000) que delineie processos de transição da paisagem através de sensoriamento remoto, procurando abarcar sua dinâmica de maneira aplicada, sendo que a identificação de formações arenosas, seu dimensionamento e posicionamento em relação ao relevo, são questões que ao serem respondidas, podem fornecer indicações importantes sobre a vulnerabilidade no uso das terras e o papel da conservação dos Cerrados neste contexto.

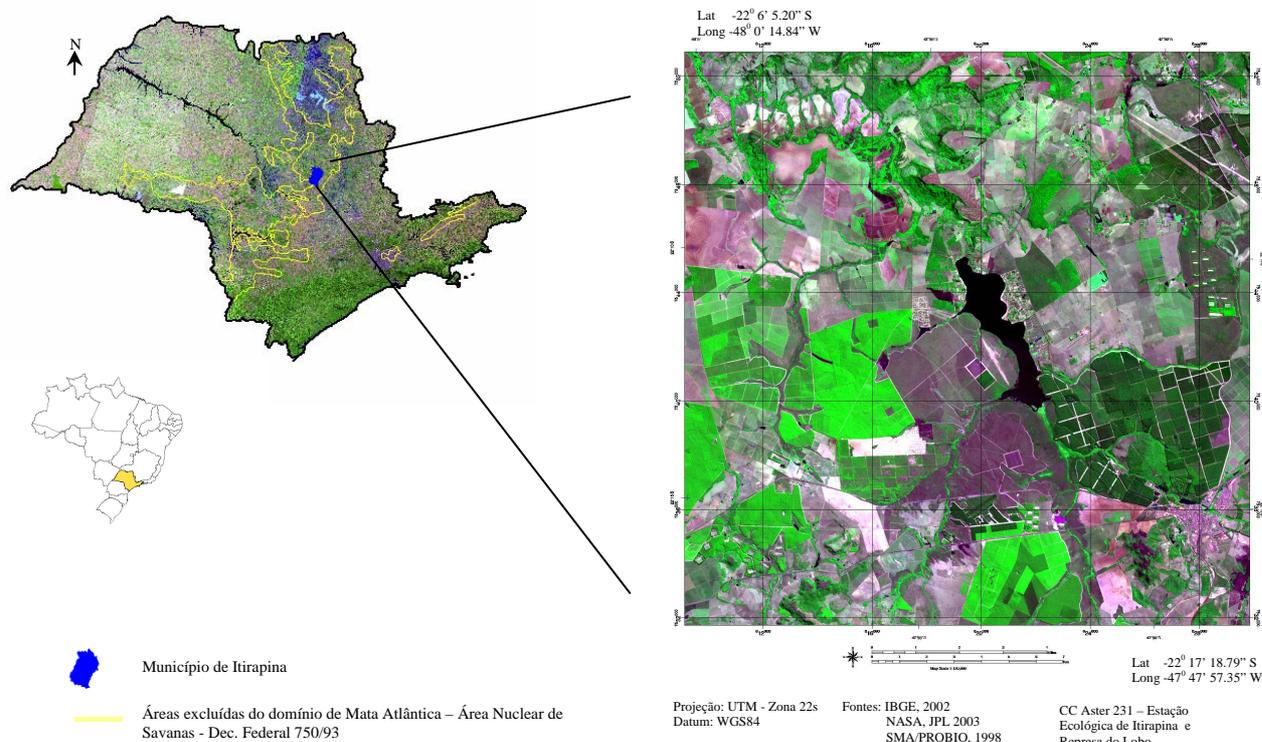
### 2. ÁREA DE ESTUDO

O local para realização deste trabalho compreende a Estação Ecológica de Itirapina e seus arredores, especificamente a represa do Lobo e a reserva particular do Botelho. A estação é um dos locais elencados como prioritários para conservação dos Cerrados no estado de São Paulo (SMA/PROBIO, 1998), abrangendo uma área de aproximadamente 43,5 Km<sup>2</sup>, no município de mesmo nome, fazendo parte da Bacia Sedimentar do Paraná, no Planalto Centro

Ocidental, região de relevo suavemente ondulado, com formas pouco dissecadas, baixa densidade de drenagem e declividade (IPT, 1997). **Figura 1**

Essa área é uma das escolhidas para o estudo comparativo de fragmentos de Cerrados, que integra o projeto “Fragilidade das Terras Brasileiras”, apoiado pela CAPES.

Figura 1 - Cartograma da Área de Estudo



Os solos predominantes na região, em ordem de preponderância, são: os Neossolos Quartzarênicos (RQ<sub>2</sub>), de textura essencialmente arenosa com base quartzosa de variações hidromórficas; o Latossolo Vermelho Amarelo (LVA<sub>4</sub>) com predominância textural da Argila, sendo proveniente do arenito Pirambóia; os Organossolos Méssicos (OY<sub>1</sub>), de cunho orgânico, presente em locais baixos e mal drenados e, mais ao norte, eventuais manchas de Latossolo Vermelho (LVA<sub>4</sub>), proveniente de rochas basálticas (IAC, 1999). O conjunto pedogênico é, em grande parte, fruto do intemperismo das formações areníticas dos grupos Botucatu e Pirambóia (IPT, 1981).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Alguns aspectos técnicos do sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) (Abrams and Hook, 2002) podem ser enfatizados como sendo de extrema importância para o mapeamento remoto semi-detalhado, como por exemplo, sua relação de resoluções espectrais e espaciais. O ASTER possui 14 bandas espectrais: três bandas, com resolução de 15m, abrangendo as faixas espectrais do visível (VIS) e infravermelho próximo (IFP); 6 bandas, com 30m de resolução, posicionadas no infra-vermelho de ondas curtas (IVOC) e 5 bandas, com 90m de resolução, no infravermelho termal.

Outro ponto relevante diz respeito a sua capacidade de imageamento em pares estereoscópicos, criado pelo efeito de paralaxe entre as imagens das bandas 3B e 3N, o que possibilita a confecção de modelos digitais de elevação (MDEs) de forma remota no comprimento de onda do IFP (Steinmayer, 2003). Os MDES derivados dessas bandas possuem acurácia vertical altimétrica entre 7m (calibrado com pontos de controle no terreno) e 15m (sem pontos de controle) (Hirano et al, 2002).

### 3.1 Pré-processamento

- Escala de análise e Imagem ASTER: considerando a escala de trabalho e sua relação direta com o alvo a ser mapeado, trabalhou-se com uma seleção de bandas nas faixas do visível (VIS, bandas 1 e 2) , do infravermelho próximo (IVP; banda 3) e do infra-vermelho de ondas curtas (IVOC, bandas 4-9). As imagens foram adquiridas junto a NASA no Nível 1B de processamento, ou seja, com correções geométricas e radiométricas aplicadas, e na versão V003, que implica em ajustes adicionais de correção realizados a partir de Maio de 2002 na linha de processamento da NASA.

- Correção Atmosférica: as 9 bandas VIS-IVP-IVOC foram corrigidas para reflectância através dos procedimentos descritos em Abrams et al. (2002), no que se refere a calibração e pós-processamento dos dados ASTER. Esses dados de reflectância foram adquiridos diretamente no Earth Observing System Data Gateway da NASA, através da especificação de parâmetros climatológicos e dados de sensoriamento remoto meteorológico para correção atmosférica (dados Level 2- produto AST\_07- surface reflectance). Os dados em reflectância permitem uma comparação direta das respostas dos alvos com curvas de reflectância espectral de bibliotecas espectrais, além de serem ideais para melhor discriminação desses alvos em procedimentos de classificação espectral.

- Pontos de controle: foram realizadas incursões à campo para coleta de pontos de controle via GPS, identificação de alvos e coleta de amostras de solo através de tradagem em duas toposequências (relação solo/geomorfismo).

- Reamostragem espacial de pixels: dada a diferença de resolução espacial entre as bandas do VIS-IVP (15m) e do IVOC (30m), e visando o aproveitamento de ambos os conjuntos de bandas, foi realizada uma re-amostragem das bandas do IVOC, aumentando artificialmente sua resolução para 15m, permitindo, assim, a composição de um *dataset* com 9 bandas espectrais. Essa re-amostragem é fundamental para etapas de processamento posteriores.

- Mosaico: nesta etapa realizou-se a junção das 3 imagens correspondentes a área de estudo. Visto que cada imagem original gera um MDE, ao fazer-se o mosaico das mesmas, deve-se considerar a rotação individual das imagens em relação ao norte geográfico e a diferença de visada à oeste da banda 3B, necessária para a geração do par estereoscópio.

### 3.2 Processamento

O mapeamento de formações arenosas, considerando a assinatura espectral do quartzo, pode ser obtido com maior chance de sucesso nas bandas do TIR (Lima & Souza Filho, 2004). Porém, em virtude de sua resolução espacial (90m), a utilização das mesmas não estaria de acordo com os objetivos desse trabalho.

**Areia** – A assinatura espectral do quartzo não apresenta gradientes significativos nas bandas do IVP e do IVOC, o que inviabiliza a aplicação de índices através da análise de seu comportamento espectral. A solução, nesse caso, foi a utilização de dados de campo, reconhecendo formações mais pronunciadas de areia, digitalizando-as (para extração de uma assinatura espectral média) e inserido-a como amostra, numa classificação SAM (Spectral Mapper Angle). A classificação SAM, considera o conjunto de pixels conhecidos como membros extremos, detectando-os como vetores (pixel total) e traçando ângulos em relação aos pixels desconhecidos; quanto menor o ângulo entre os vetores, maior é a correlação entre o conhecido e desconhecido (Kruse, F. A. et al, 1993).

A fim de refinar-se ao máximo a resposta, optou-se pelo monitoramento dos ângulos nas imagens *Rules* (imagem resultante do SAM), considerando o ângulo médio gerado a partir da área de interesse previamente digitalizada, o qual foi de 0,018 radianos. Dessa maneira, gerou-se uma imagem em níveis de cinza com baixo contraste, tendo em destaque as formações de areia quartzosa.

**Argila** – Considerando os principais elementos formadores do solo, além do quartzo, as argilas aparecem em abundância. A porcentagem de participação de ambos determina sua classificação principal através de propriedades texturais e granulométricas, as quais determinam sua arquitetura e capacidade de drenagem. Baseando-se nesses princípios, o reconhecimento da argila como contraponto as características arenosas do solo é um critério de distinção que pode ser utilizado como gradação da presença de areia.

A determinação da presença de argila foi feita através da detecção da Caolinita, o qual constitui-se no principal argilo-mineral presente na composição dos solos da região. A assinatura espectral da Caolinita foi re-amostrada para as bandas do ASTER e utilizada como membro extremo na classificação SAM **Figura 2**.

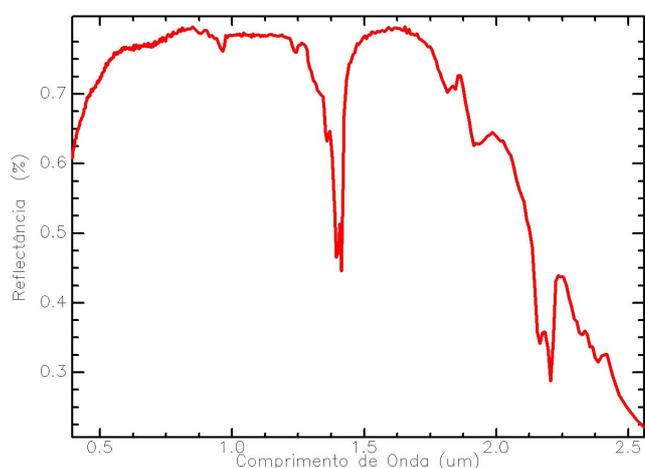


Figura 2 - Reamostragem da assinatura espectral da Caolinita para a resolução espectral do sensor ASTER

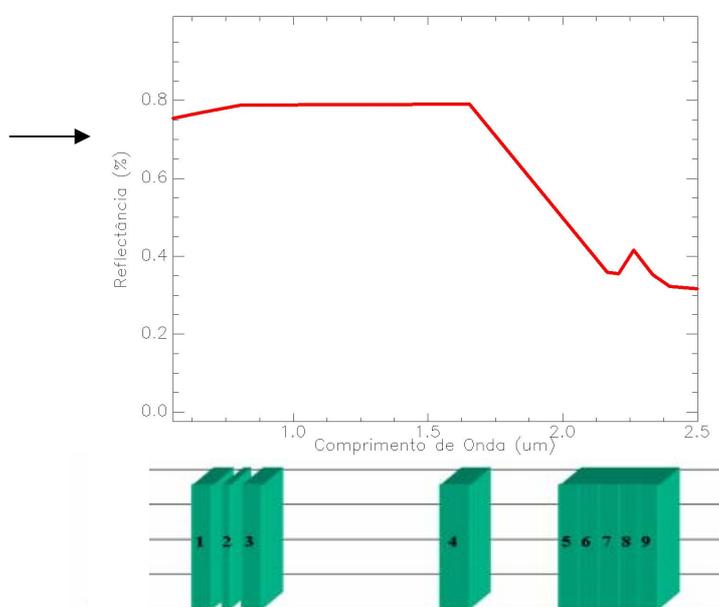


Fig. 3 - Bandas Aster 1-9. (Abrams and Hook, 2002)

O refinamento da resolução espectral do sensor ASTER nas faixas do IVOC entre 2.145-2430µm, torna-o um excelente instrumento para detecção de argilo-minerais **Figura 3**, sendo que no Landsat ETM<sup>+</sup>, que é o sensor mais utilizado para o mapeamento de recursos naturais, toda essa faixa do espectro é coberta apenas pela banda 7 (Souza Filho, 2002). Para o mapeamento da Caolinita, a técnica SAM também foi utilizada, da mesma forma como aplicada para o quartzo. As imagens *Rules* derivadas do SAM foram analisadas quanto ao

ângulo entre os vetores conhecidos (pixels da cena onde a Caolinita foi verificada no campo) e desconhecidos (restante dos pixels da cena). O melhor ajuste máximo obtido para o ângulo entre esses vetores foi de 0,047 radianos. Mediante esse procedimento, gerou-se uma imagem de níveis de cinza com baixo contraste, destacando a presença de alvos com maior ou menor presença de Caolinita na forma de argila no solo.

**Cobertura Vegetal** – A vegetação constitui-se como um terceiro e fundamental elemento enquanto feição de recobrimento do solo, passando por gradientes que vão do solo nu a vegetação nativa de médio porte, nesse caso, o Cerrado. Foram colhidas e analisadas na imagem amostras da assinatura espectral da vegetação na área de estudo, como por exemplo: reflorestamento, campo sujo, gramíneas, etc. **Figura 4**. Considerou-se gradientes representativos no conjunto de bandas do IVP e IVOC, buscando abarcar o maior gradiente possível de variação **Figura 3**. Para isso aplicou-se um índice expresso na seguinte equação:  $X_1 - X_2 / X_3 - X_4$ , onde: X1 = Banda 3 (fx 0.78 - 0.86µm); X2 = Banda 2 (fx 0.63 - 0.69µm); X3 = Banda 4 (fx 1.600 - 1.700µm); X4 = Banda 5 (fx 2.145 - 2.185µm)

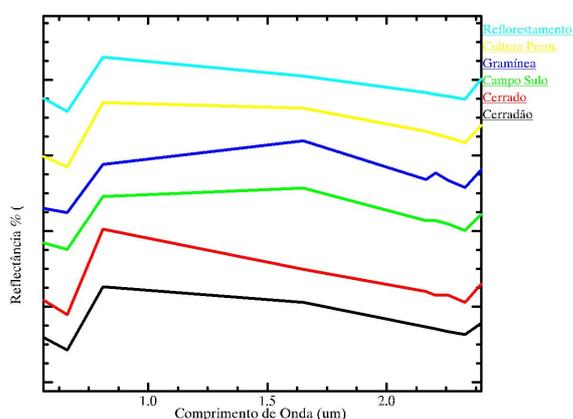


Figura 4 - Amostras da assinatura espectral dos tipos de vegetação. Os espectros foram escalonados para melhor visualização.

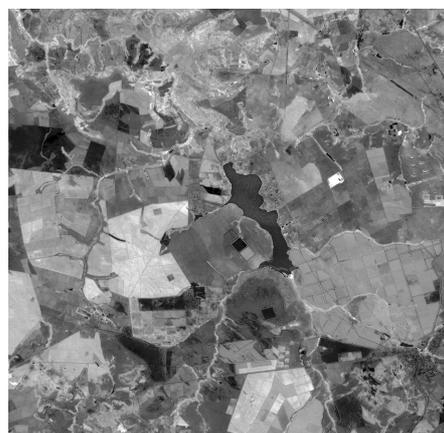
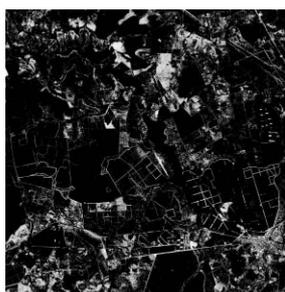


Figura 5 - Imagem de níveis de cinza - vegetação

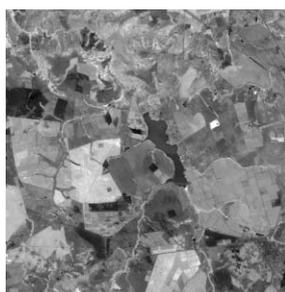
Cabe reiterar que o objetivo principal não é a classificação refinada de tipos vegetais, mas sim sua inserção enquanto diferentes níveis de transição na paisagem, destacando-a juntamente com os outros dois componentes mapeados.

A partir da aplicação do índice foi gerada uma imagem de níveis de cinza, onde a vegetação aparece isolada de outros elementos da paisagem. Considerando a necessidade de destaque da vegetação em seus diferentes gradientes fisionômicos, aplicou-se um contraste “gaussiano” **Figura 5**.

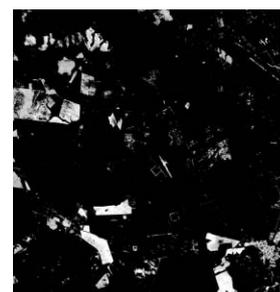
### Composição colorida



Canal R (vermelho) – Caolinita Argila



Canal G (verde) - Vegetação



Canal B – Quartzo - Areia

Figura 6 - Combinação de Imagens Níveis de Cinza resultantes do processamento da cena original

Cada feição, através da classificação supervisionada, foi destacada e pôde ser combinada numa composição colorida. No caso aplicou-se o seguinte esquema de filtros: **R\_Argila**, **G\_Vegetação** e **B\_Areia** **Figura 6**.

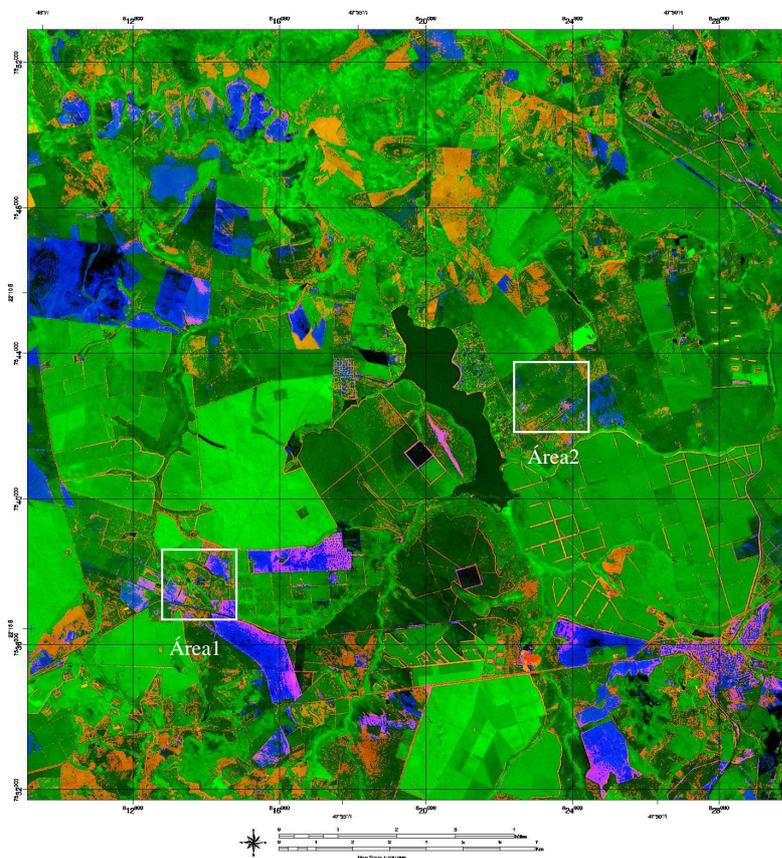


Figura 7 – Composição colorida **R\_Argila**, **G\_Vegetação** e **B\_Areia**

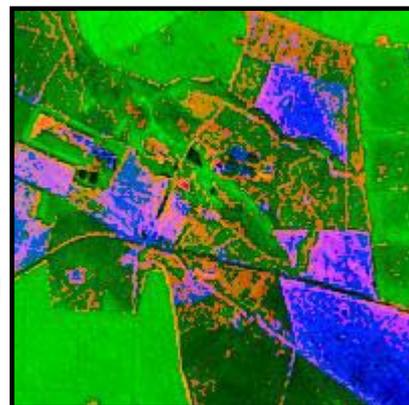


Fig.8 Área1

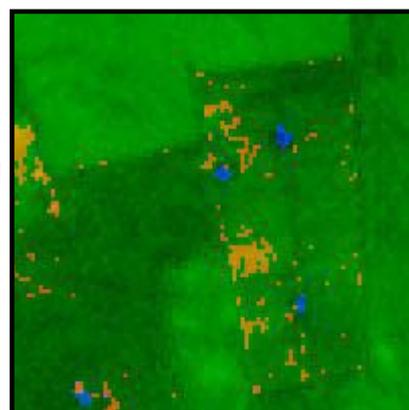


Fig. 9 Área2

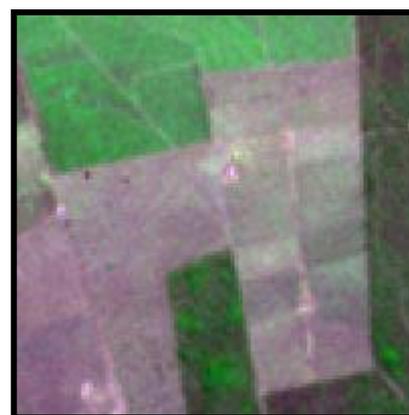


Fig. 10 Área2 – imagem original

#### 4 - RESULTADOS

Conseguiu-se destacar de maneira mais precisa as manchas de areia quartzosa, tanto em suas dimensões quanto na proporção entre areia e argila, dada as porções de mistura entre as cores do vermelho e do azul, delineando-se assim, importantes faixas de transição entre esses elementos num grau de detalhamento compatível ou maior do que escalas de 1:50 000 **Figuras 7 e 8**. Essa observação baseia-se na identificação de formações arenosas de pequeno porte, distinguindo-as de solos mais argilosos. Esses solos não aparecem na imagem original **Figuras 9 e 10** e podem representar focos de arenização futura, ao considerarmos vegetação e

declividade conjuntamente **Figura 10**. No que tange a vegetação, é possível estabelecer uma distinção mais precisa entre os diferentes tipos de Cerrados, culturas e solo nu, tendo como auxílio as gradações da presença de areia e argila, estabelecendo uma cobertura mais, ou menos homogênea.

A avaliação visual é apenas parte do resultado, quando sabe-se que cada imagem em nível de cinza representa um conjunto de dados a serem utilizados de diferentes formas.

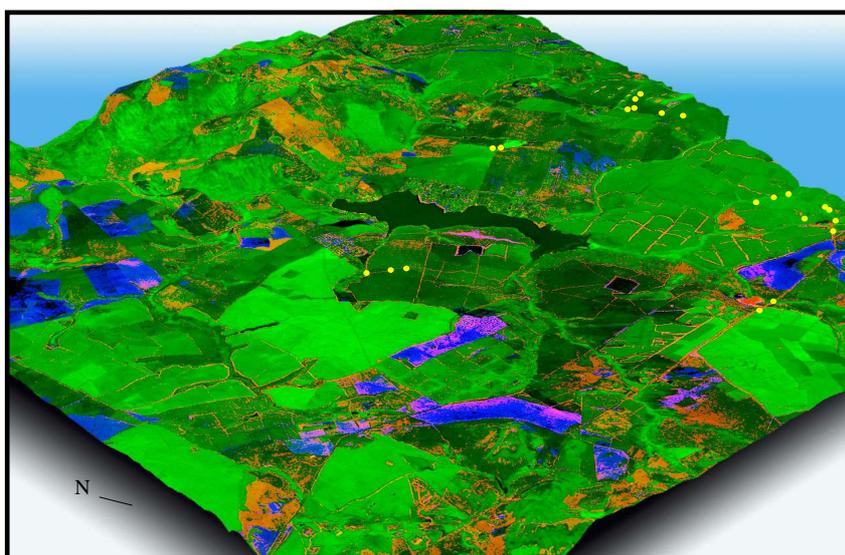


Figura 11 - Visualização 3D – Estação Ecológica de Itirapina e Represa do Lobo – CC  
R\_Argila\_G\_Vegetação\_B\_Areia + pontos de controle \*

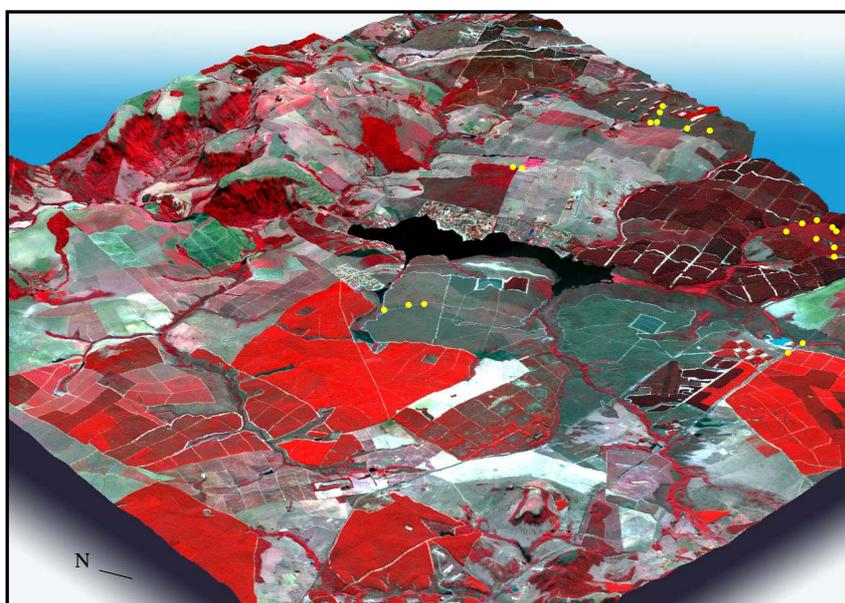


Figura 12 - Visualização 3D – Estação Ecológica de Itirapina e  
Represa do Lobo – CC Aster 321+ pontos de controle \*

Um dos refinamentos do resultado deste trabalho encontra-se na capacidade de co-relação entre os elementos mapeados e o relevo, através da geração de MDEs **Figuras 11 e 12**. Os pontos de controle utilizados no trabalho aparecem, em amarelo, nas imagens 3D. A noroeste encontra-se uma faixa de Campo sujo com 3 pontos ao longo de uma vertente; a sudeste e

leste, na área mais elevada, destacam-se, respectivamente, fragmentos de Cerradão e Campo cerrado.

Comparando-se as imagens das **Figuras 11 e 12**, pode-se avaliar a eficiência do processamento empregado na identificação de formações arenosas e sua disposição altimétrica. Esse conjunto de dados torna-se de suma importância em análises que envolvam declividade vs arenização, dada a dinâmica de drenagem de solos com grande percentual de quartzo, por exemplo.

## 5 - CONCLUSÃO

A combinação dos dados ASTER e técnicas de processamento de dados hiperespectrais adaptadas a dados multi-espectrais, como o SAM, é apenas um exemplo de métodos de mapeamento de precisão que produzem resultados com níveis de detalhamento elevados.

Trabalhos de aprofundamento e experimentação de sensores de alta resolução possuem a dupla vantagem da amplitude da comparação temporal e o aprofundamento das co-relações locais. São, portanto, de grande importância enquanto participante de processos decisórios e de gestão, como no caso dos Cerrados.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrams, M.; Hook, S. **Aster User Handbook: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer**. USA: NASA/Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, V2, 135p, 2002.

Kronka, F. et al. **A floresta renasce: inventário florestal de São Paulo**. Pesquisa Fapesp, nº 91, p. 48-55, 2003.

Kruse, F. A. et al. **The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer Data**. Remote Sensing of Environment, v. 44, p. 145 – 163, 1993.

Henriques, R. P. B. **Organização e estrutura das comunidades vegetais de Cerrado em um gradiente topográfico no Brasil Central. 1993. Tese (doutorado em Ecologia). Instituto de Biologia/Departamento de Ecologia – UNICAMP, Campinas, São Paulo, 1993.**

Hirano, A. et al. **Mapping from Aster stereo image data: DEM validation and accuracy assessment**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, V. 57, p. 356-370, 2003.

Lima, V.S. & Souza Filho, C.R., 2004, Assinaturas Espectrais de Gossans Associados a Mineralizações de Pb-Zn-Ba na Bacia de Irecê (Ba): Um Estudo Baseado em Dados do Sensor ASTER. In: Anais do XLII Congr. Bras. Geologia, Araxá (em CD-ROM).

Ninomiya, Y. **Mapping quartz, carbonate minerals and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared Aster data**. International Society for Optical Engineering SPIE, V. 4710, p. 191-202, 2002.

São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente (SMA)/Programa estadual para conservação da biodiversidade (PROBIO). **Cerrado: Bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do Estado de São Paulo**, 1998, 184p.

São Paulo, Instituto Agrônomo de Campinas. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**, 1 : 500 000, 1999.

São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa geológico do estado de São Paulo**, 1 : 500 000, 1981.

São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**, 1 : 500 000, 1997.

Souza Filho, C. R. **Aster à vista**. Infogeo, V. 29, p. 62-64, 2003.

Serra Filho, R. et al. **Levantamento da cobertura vegetal natural e do reflorestamento no estado de São Paulo**. Instituto Florestal, Boletim Técnico nº 11, 2ª ed., São Paulo, 53 p., 1975.

Steinmayer, Michael. Extração de Modelos Digitais de Terreno como sensor Aster. Infogeo, n. 38, p. 38-39, 2003.