

## Detecção da biodiversidade de coberturas vegetais secundárias pela resposta espectral de pigmentos e água foliar em imagens do sensor hiperespectral CASI-1500

George Alfredo Longhitano<sup>1</sup>  
Cibele Hummel do Amaral<sup>2</sup>  
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica - Universidade de São Paulo – USP  
Av. Prof. Almeida Prado, Travessa 2, no. 83 - 05508-900 - São Paulo-SP, Brasil  
georgelonghitano@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo – USP  
Rua do Lago, 562 – 05508-080 – São Paulo-SP, Brasil  
{chamaral, talmeida}@usp.br

**Abstract.** This research aims to detect water and leaf pigments contents and correlations in vegetation of a small area located in Mogi-Guaçu-SP, with use of techniques for processing of images acquired by airborne hyperspectral sensor CASI-1500. These procedures objective to identify the diversity of plants in a area at early stage of forest succession. The sensor CASI-1500 combines high spectral and spatial resolutions. The images used in this study get 24 bands, with spectral range of 28.2 nm and 75 cm pixels. Ratio bands operations were performed in ENVI 4.5 for detecting water and leaf pigments: total chlorophyll (a + b), chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotenoids, anthocyanins. It was classified a NDVI image to separate vegetation from non-vegetation, which originated the mask and only areas of vegetation were employed for subsequent processing. The best ratios have been grouped with the implementation of the mask. Some RGB color compositions were created that emphasize the water and leaf pigments. This way, it could be related with the correlation statistics between the ratios. Five groups of different kinds of vegetation in the area were identified. The variations of these organic compounds was studied and they were expressive between species and groups of vegetation identified. They were consistent with the characteristics of the vegetation of the study area. Even among the chlorophylls, the results showed significant variations.

**Palavras-chave:** remote sensing, vegetation, leaf pigments, sensoriamento remoto, vegetação, pigmentos foliares.

### 1. Introdução

O sensoriamento remoto tem sido amplamente aplicado em estudos de vegetação, destacando-se o mapeamento de coberturas vegetais, a identificação de doenças e stress por deficiências nutricionais e hídricas, o monitoramento de culturas agrícolas e, menos frequentemente, a prospecção mineral através da geobotânica.

As diferentes respostas espectrais da vegetação, observadas nestes estudos, estão fortemente correlacionadas com a fisiologia das plantas que compõe a comunidade vegetal estudada e, não menos importante, com as variações ambientais. Uma vez que as espécies vegetais possuem teores diversos de pigmentos foliares e de água foliar, a detecção e observação de diferenças nos padrões espectrais destes compostos podem fornecer informações sobre variações florísticas, do estágio fenológico, das condições fitossanitárias, do ambiente de influência (clima, solos, relevo, geologia) e sazonais da comunidade vegetal estudada.

É interessante que as imagens a serem utilizadas para esta finalidade tenham boa resolução espectral, uma vez que as variações das assinaturas espectrais dos pigmentos e da água foliar na vegetação apresentam variações tênues e em pequenos intervalos de faixa do comprimento de ondas do espectro eletromagnético.

O sensoriamento remoto multi e hiper-espectral tem se desenvolvido nas últimas décadas mas os sensores orbitais hiper-espectrais ainda são praticamente indisponíveis. Quando o são,

como no caso do *Hyperion*, que é dotado de 220 bandas espectrais, não aliam à ótima resolução espectral uma boa resolução espacial. Rocchini (2007), estudando a  $\alpha$ -diversidade de uma reserva natural, na Itália, com o uso de diferentes imagens de satélite, demonstrou a eficiência tanto das melhores resoluções espectrais como espaciais, chegando a resultados semelhantes com imagens Quick BIRD (três bandas no visível e uma infravermelho próximo) e ETM Landsat (com mais duas bandas no infravermelho ondas curtas). Com isso demonstra, por corolário, a eficiência de sensores que propiciem, simultaneamente, altas resoluções: espectral e espacial. Com uma imagem com estas características o sensoriamento remoto passa a representar uma poderosa ferramenta para obtenção de informações qualitativas e quantitativas sobre a biodiversidade de ecossistemas. Neste sentido, sensores hiperespectrais aerotransportados podem deter tais qualidades.

Deste modo, o presente estudo visa detectar a intensidade da presença de pigmentos e água foliar, suas variações e correlações em cobertura vegetal de uma pequena área localizada no município de Mogi-Guaçu-SP, através de técnicas simples de processamento de imagens do sensor hiperespectral aerotransportado CASI-1500, de excelente resolução espectral e espacial. Com estes dados pode-se demonstrar a variada diversidade vegetal presente nas diversas porções da área de estudo.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1. Área de Estudo

A área de estudo abrange cerca de 80 ha e localiza-se entre as coordenadas: 22°21'31.50" e 22°21'56.40" S e 46°58'03" e 46°57'25.50" W. Está inserida no município de Mogi-Guaçu (SP), em área contígua à rodovia SP-340 e à margem direita do Rio Mogi-Guaçu.

O uso do solo é composto por áreas urbanas e áreas vegetadas por diferentes tipologias de cobertura, conforme pode ser observado na Figura 1.

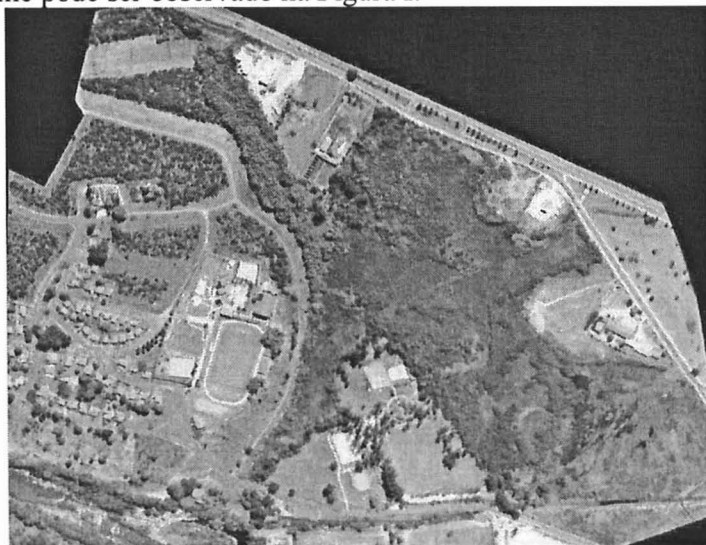


Figura 1. Composição colorida em cores reais da área de estudo (R-663 / G-550 / G-436nm).

### 2.2. Material

As imagens utilizadas para realização do presente trabalho foram obtidas pelo sensor hiperespectral aerotransportado CASI-1500. Este sensor opera na faixa de comprimentos de onda entre 380 e 1050nm, correspondendo ao espectro visível e infravermelho próximo. É capaz de obter imagens em até 288 bandas, sendo estas configuráveis. Neste estudo, as imagens, obtidas em setembro de 2007, apresentam 24 bandas com faixa de cerca de 28,2 nm cada (Tabela 1) e resolução espacial com pixels de 75 cm em solo.

Tabela 1 Bandas da imagem CASI obtida

Banda	Faixa de comprimento de onda ( $\lambda$ mín e $\lambda$ máx) em nm	$\lambda$ central em nm	Banda	Faixa de comprimento de onda ( $\lambda$ mín e $\lambda$ máx) em nm	$\lambda$ central em nm
1	365.9 – 394.2	380.1	13	706.5 – 734.9	720.7
2	394.2 – 422.4	408.3	14	734.9 – 763.3	749.1
3	422.5 – 450.3	436.7	15	763.4 – 791.8	777.6
4	450.8 – 479.2	465.0	16	791.8 – 820.2	806.0
5	479.10 – 507.5	493.3	17	820.3 – 848.7	834.5
6	507.5 – 535.9	521.7	18	848.7 – 877.1	862.9
7	535.9 – 564.3	550.1	19	877.1 – 905.5	891.3
8	564.3 – 592.7	578.5	20	905.5 – 933.9	919.7
9	592.7 – 621.1	606.9	21	933.9 – 962.3	948.1
10	621.2 – 649.6	635.4	22	962.2 – 990.6	976.4
11	649.6 – 678.0	663.8	23	989.8 – 1018.2	1004.8
12	678.10 – 706.5	692.3	24	1018.9 – 1047.3	1033.1

Para o processamento das imagens, foi utilizado o *software ENVI 4.5*.

### 2.3 Procedimentos Metodológicos

Inicialmente foi realizada revisão bibliográfica, buscando-se informações sobre as assinaturas espectrais das substâncias a serem detectadas na vegetação. Neste sentido, foram usados como referências, os trabalhos de Zwiggelaar (1998), Baret (1999), Galvão *et al.* (1999), Boegh, (2002), Thenkabail (2002), Almeida e Souza Filho (2004), Blackburn (2007), Luz (2007).

Realizou-se trabalho de campo na área de estudo em outubro de 2008, para identificação das características fisionômicas da vegetação, a qual havia sido analisada previamente apenas por fotointerpretação das imagens. Em seguida, no *software ENVI 4.5*, a imagem foi recortada, destacando-se apenas a área de interesse.

Considerando-se as informações levantadas e as características das bandas das imagens, foram realizadas operações de razões de bandas para otimizar a detecção dos pigmentos e da água foliar na vegetação da área. Foram realizadas razões de bandas para detecção de água foliar e dos pigmentos: clorofila total ( $cl\ a + cl\ b$ ), clorofila-a, clorofila-b, carotenóides, antocianina.

A água foliar indica o teor de água contida nas folhas da vegetação e pode representar a situação da hídrica desta e disponibilidade hídrica fornecida pelos solos em que a vegetação está fixada, variando tanto em função da espécie como da época do ano.

Dentre os pigmentos foliares, as clorofilas são os mais importantes, pois controlam a quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas e fazem o essencial da fotossíntese. Chapelle *et al.* (1992) ressaltam a importância do sensoriamento remoto para detecção de clorofilas como uma técnica não-destrutiva. As técnicas normalmente utilizadas envolvem a extração destes pigmentos da folha, com uso de solventes orgânicos, sendo caracterizadas como técnicas químicas destrutivas.

Os carotenóides são componentes essenciais na antena fotossintética, contribuindo na absorção da radiação incidente e na dissipação do excesso de energia absorvida, dentre outras funções. As antocianinas representam o terceiro maior grupo de pigmentos foliares e estão presentes nas folhas de todas as espécies, mas suas concentrações variam de espécie para espécie e nos diferentes estágios fenológicos da planta. Segundo Blackburn (2007), poucos estudos têm examinado as concentrações de antocianina por reflectância espectral.

Através de comparação visual e considerando-se as informações levantadas em campo e durante a pesquisa bibliográfica, foram selecionadas as razões que apresentaram melhor desempenho para a detecção das substâncias mencionadas. A Tabela 2 mostra as razões de bandas testadas para cada uma das substâncias, destacando as escolhidas para o prosseguimento do estudo.

Tabela 2. Razões de bandas testadas e selecionadas

Molécula	Razões testadas ( $\lambda$ central em nm)	Razões selecionadas
Água Foliar	834/976 e 749/976	749/976
Clorofila Total	834/550	834/550
Clorofila-a	806/663 e 777/663	806/663
Clorofila-b	806/635 e 777/635	806/635
Carotenóides	550/493, 834/493, 806/493 e 777/493	550/493
Antocianina	493/521, 806/521 e 777/521	806/521

O próximo procedimento foi a geração do NDVI (normalized difference vegetation index) para separação da vegetação das demais classes de uso do solo existentes na área. Foram adotadas as bandas 749nm e 693nm (Galvão et al., 1999).

A imagem gerada pelo NDVI foi classificada para separar vegetação de não-vegetação. A classificação foi do tipo não-supervisionada, obtida pelo método *isodata*, no *software* ENVI 4.5. (Figura 2). Após a classificação, que separou eficientemente vegetação de não-vegetação, foi gerada uma máscara (de forma Booleana) com a classe de não-vegetação. Esta foi empregada em todos os procedimentos posteriores permitindo a obtenção de informações referentes apenas à vegetação.

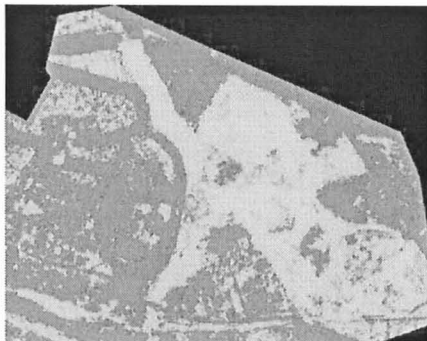


Figura 2. Resultado da classificação por isodata (Verde – vegetação / Vermelho – não-vegetação), utilizado como máscara dos dados de não-vegetação.

As razões das bandas selecionadas foram geradas novamente, mas agora com a integração da máscara. As razões foram agrupadas, a fim de se obter as estatísticas das mesmas, incluindo: valores de mínimo e máximo, desvio padrão e matriz de correlação.

A partir da realização de composições coloridas RGB, associando-se a cada uma das cores as imagens obtidas pelas razões, que destacam a água foliar e os pigmentos descritos anteriormente, pode ser procedida à análise visual destas, a qual foi relacionada com a verificação das estatísticas de correlação entre as razões de banda selecionadas.

### 3. Resultados e Discussões

As estatísticas das imagens das razões de banda geradas e a correlação entre elas estão apresentadas nas tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3. Estatísticas das razões de banda

Razões de banda	Valor min	Valor máx	média	Desvio padrão
Água Foliar	0.804270	2.499460	1.466409	0.143497
Clorofila Total	1.048916	5.925660	2.515640	0.568958
Clorofila-a	1.879756	17.269142	4.597592	1.856491
Clorofila-b	1.654100	12.829716	3.866340	1.372617
Carotenóides	0.852705	2.925561	1.430050	0.171134
Antocianina	1.127660	7.697001	3.148784	0.826610

Tabela 4. Correlação entre as razões de banda – água foliar e pigmentos foliares.

Razões de banda	Água Foliar	Clorofila Total	Clorofila-a	Clorofila-b	Carotenóides	Antocianina
Água Foliar	1.000000	0.412079	0.555901	0.530025	0.570698	0.533851
Clorofila Total	0.412079	1.000000	0.906175	0.932089	0.359017	0.973103
Clorofila-a	0.555901	0.906175	1.000000	0.993429	0.539881	0.938785
Clorofila-b	0.530025	0.932089	0.993429	1.000000	0.500995	0.952677
Carotenóides	0.570698	0.359017	0.539881	0.500995	1.000000	0.546929
Antocianina	0.533851	0.973103	0.938785	0.952677	0.546929	1.000000

Os valores das estatísticas das imagens geradas indicam a maior proximidade em ordem de grandeza dos valores nos níveis de cinza das imagens das razões das clorofilas e da antocianina. Os carotenóides e a água foliar também apresentam ordens de grandeza próximas, porém, não apresentam alta correlação entre si. Estes valores estão de acordo com os diferentes níveis de absorção em cada uma das bandas escolhidas como denominador para as razões de banda da água foliar e dos pigmentos. Verifica-se que a água foliar tem correlação média e da mesma ordem com cada um dos pigmentos foliares, entre 0.41 e 0.57. O mesmo ocorre com os carotenóides, com correlações médias com a água foliar e demais pigmentos foliares. As clorofilas, conforme esperado, apresentam correlação alta entre elas, sempre superior a 0.9. Apresentam também grande correlação com a antocianina.

As correlações encontradas neste conjunto de razões de bandas são naturalmente mais baixas que entre conjuntos de bandas originais, mas, além disto, pode-se observar nas figuras 3 e 4 que as variações nos teores destes compostos podem ser notáveis em grupos de vegetação. Esta intensa variação tonal não ocorre aleatoriamente: nas imagens da figura 3, por exemplo, a única área expressiva de cor magenta brilhante se refere à grande toceira de bambu, indicando intensa resposta de antocianina e carotenóides mas baixa de água foliar. Já nas porções em estágio de regeneração mais avançada encontra-se maior variabilidade tonal entre indivíduos, indicando maior biodiversidade, uma vez que, em áreas de histórico e solos iguais, as variações nos compostos analisados serão função da diversidade fisiológica relacionada às espécies presentes. Em outras palavras, a diversidade tonal ressalta a diversidade florística da área.

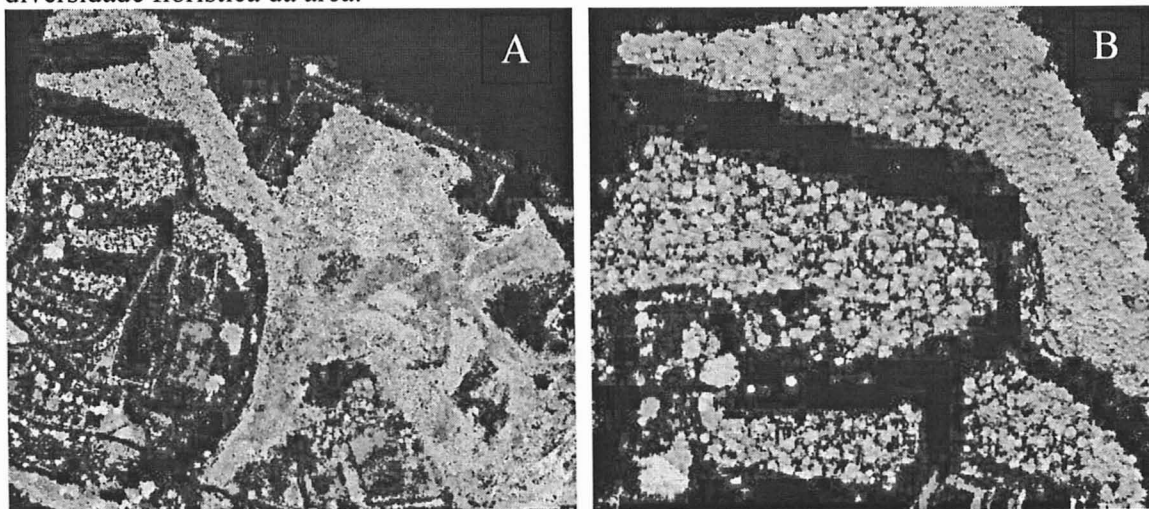


Figura 3-a) Composição colorida R:Antocianina; G:Água foliar; B:Carotenos 3-b) Ampliação da área com vegetação em diferentes estágios de regeneração e bambú.

A partir destes resultados e do levantamento de campo, foi possível reconhecer aspectos das coberturas vegetais ocorrentes na área e as correlacionar com os padrões observados nas imagens geradas e nas estatísticas.

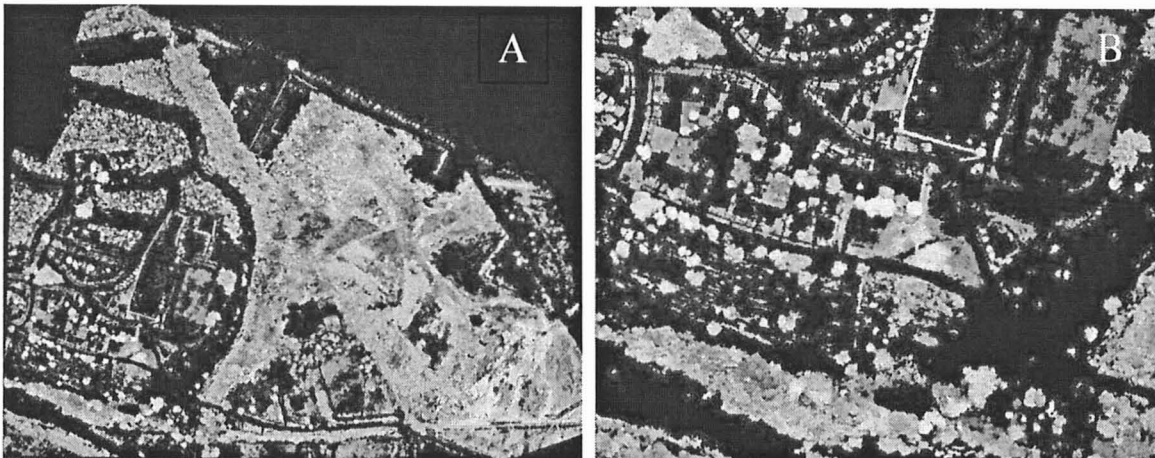


Figura 4-a) Composição colorida R:Carotenos; G:Água foliar; B:Clorofila total

4-b) Ampliação destacando a diversidade de espécies na mata ciliar do Rio Mogi-Guaçu.

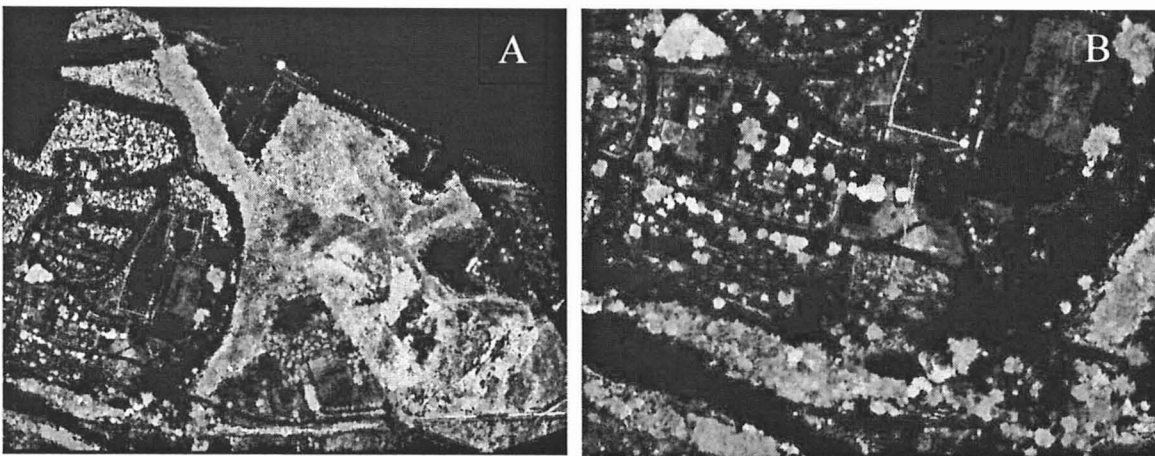


Figura 5-a) Composição colorida R:Clorofila total; G: Clorofila-a; B: Clorofila-b

5-b) Ampliação destacando variações da clorofila na mata ciliar do Rio Mogi-Guaçu.

De modo geral, podem ser observados cinco grupos fisionômicos de cobertura vegetal na área de estudo, os quais são descritos quanto à diversidade considerando-se as informações extraídas das razões de bandas:

1) - Em todo setor leste, é predominantemente encontrada vegetação em estado pioneiro e inicial de regeneração sob influência de solos encharcados, em área de várzea. Há presença acentuada de gramíneas e, em áreas restritas, como no norte deste grupo, de vegetação arbustiva e arbórea constituída de áreas de regeneração natural com presença de alguns indivíduos plantados. Mais ao centro da área há ocorrência de eucaliptos e outras espécies arbóreas e, ao sul, há campo de futebol com vegetação de gramíneas e vegetação arbórea marginal à estrada que corta o sul deste grupo. A vegetação de várzea encontra-se com tons esverdeados nas Figuras 3-a e 4-a, mostrando a influência da disponibilidade hídrica sobre a razão que destacou a água foliar. Observa-se também uma relação muito maior da água foliar com os carotenóides na área alagada (Tom cian da Figura 3-a e tons amarelos e laranjas da Figura 4-a). Isto provavelmente ocorre devido ao amarelecimento das folhas, promovido pelo excesso de água ocorrente naquele ambiente. Este processo de amarelecimento é observado pelo aumento da relação carotenóides/clorofilas. As gramíneas localizadas em ambientes mais secos, como no campo de futebol existente no sul deste grupo, estão destacadas pela presença marcada de carotenos, em azul na Figura 3-a e vermelho na Figura 4-a. Esta característica

também pode ser visualizada em vermelho na Figura 4-b, em áreas do grupo 3.

2) - No noroeste da área, encontra-se área com vegetação com espécies pioneiras e secundárias iniciais, resultado de regeneração mais avançada e mostrando maior diversidade de espécies.

Neste grupo, foram observadas espécies classificadas como pioneiras e secundárias iniciais, como, por exemplo: *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr., *Trema micrantha* e *Cecropia hololeuca* Miq., que caracterizam uma floresta secundária, ou seja, em processo de regeneração pós-distúrbio. As diferentes espécies apresentam variações na produção de pigmentos foliares e na dinâmica da água em seu interior. As Figuras 3-a e 3-b e 4-a destacam na vegetação estas variações na concentração e resposta espectral das diferentes substâncias detectadas pelas razões de bandas. Verifica-se que conforme a espécie, ela apresenta concentrações diferenciadas de antocianina, água foliar, clorofilas e carotenóides (Figura 4-a). Há presença maior de clorofilas em relação aos outros grupos, o que denuncia o estágio pioneiro e inicial, de vegetação arbórea e arbustiva em crescimento (em tons azuis e roxos na Figura 4-a). Segundo Chapelle et al. (1992), a clorofila a é fator limitante do processo de fotossíntese, é ela quem recebe a radiação solar e repassa para a clorofila b e para os carotenóides a radiação absorvida. Através das Figuras 4-a e 5-a, nota-se que ocorre uma variação não proporcional em quantidade, entre espécies, das clorofilas a e b e carotenóides fotossintetizantes, o que corrobora para a definição da antena fotossintética.

3) - No oeste, correspondendo à área urbanizada e ocupada predominantemente por residências, a vegetação é composta de gramíneas e indivíduos arbustivos e arbóreos isolados de diversas espécies. A variação nas cores é condizente com as diferentes espécies encontradas em campo nesta área. As Figuras 4-b e 5-b mostram estes aspectos.

4) - No sudeste e centro-sul da área, a vegetação é composta por mata ciliar do Rio Mogi-Guaçu e drenagem afluente de sua margem direita. Esta vegetação apresenta porte arbustivo e arbóreo e maior biodiversidade em relação aos outros grupos, como pode ser visualizado nas Figuras 4-b e 5-b, pela grande diversidade de cores entre indivíduos.

A vegetação marginal, rente ao Rio Mogi-Guaçu, também se encontra com tons esverdeados, mostrando a influência da disponibilidade hídrica sobre a razão que destacou a água foliar nas Figuras 3-a, 4-a e 4-b, assim como na área de várzea do grupo 1. Verifica-se também variação significativa entre as clorofilas na composição das Figuras 5-a e 5-b.

5) - Por último, no centro-norte da imagem, a vegetação é composta por um bambuzal de forma longitudinal, com padrão diferenciado e homogêneo na imagem. Espécies vulgarmente denominadas de Bambú (*Bambusoidea - Poaceae*) são amplamente encontradas em áreas de domínio de Mata Atlântica (Vieira et al., 2002). A colonização de uma área por estas espécies se dá em formas de touceiras. Sua cobertura no dossel promove uma barreira à chegada de luz direta ao solo, afetando a germinação, o crescimento e a sobrevivência de espécies pioneiras (Tabarelli e Mantovani, 1999), que tenderiam a colonizar ambientes abandonados e propícios à ocorrência da regeneração natural. Observa-se nas imagens, a área do bambuzal com um padrão homogêneo, com predominância, pela coloração magenta das Figuras 3-a, 3-b e 4-a, da clorofila total, antocianina e carotenos em detrimento da água foliar.

#### 4. Conclusões

A diversidade nas concentrações destas substâncias foliares foi expressiva entre as espécies e os grupos fisionômicos/fitossociológicos de vegetação identificados, sendo condizentes com as características da vegetação da área de estudo. Mesmo entre as clorofilas, houve variações significativas. Deste modo, entende-se que o método utilizado foi eficiente e o estudo atingiu seus objetivos, com a detecção visual da variabilidade de espécies. Observe-se que as correlações entre os pigmentos foliares e a água foliar tiveram padrões lógicos nas diferentes porções da área de estudo.

Para continuidade dos estudos, análises mais avançadas podem ser elaboradas incluindo, por exemplo, análise por componentes principais para testar o método apresentado em Almeida e Souza Filho (2004) e a realização de trabalho de campo mais acurado, com coleta de material botânico para análise das substâncias detectadas remotamente e para descrição de espécies. Com isso poder-se-á confirmar a potencialidade destas imagens como ferramenta de identificação de biodiversidade vegetal, aspecto relevante em estudos de recuperação e manejo florestal. Não se descarta a possibilidade de diferenciar a espécie ou gênero de indivíduos arbóreos de vegetação, devido à combinação de alta resolução espacial e espectral.

### **Agradecimentos**

À Atech - Tecnologias Críticas ([www.atech.br](http://www.atech.br)) e ao Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, por terem cedido a imagem do sensor CASI-1500 utilizada neste estudo.

### **Bibliografia**

- Almeida, T. I. R. ; Souza Filho, C. R. .Principal Component Analysys Applied to Feature Oriented Band RATios of Hyperspectral Data. A Tool for Vegetation Studies. **International Journal of Remote Sensing**, Inglaterra, v. 25, n. 22, p. 5005-5023, 2004.
- Almeida, T. I. R. **Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas tropicais e a abordagem sistêmica: uma ferramenta auxiliar no mapeamento geológico regional e na prospecção mineral**. 2005. 163p. Tese (Livre-docência em geologia sedimentary e ambiental). Instituto de Geociências, São Paulo. 2005.
- Baret, F. **Espectros de pigmentos e compostos bioquímicos foliares: planilhas com dados de reflectância**. Informação escrita enviada por Frédéric Baret, INRA Avignon, França, 1999.
- Blackburn, G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 4, p. 855–867, 2007.
- Boegh, E. et al. A. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. **Remote Sensing of Environment**. V. 81, p. 179-193, 2002.
- Chappelle, E. W., Kim, M. S., and McMurtrey, J. E, Ratio analysis of reflectance spectra (RARS): An algorithm for remote estimation of the concentrations of chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoids. ). **Remote Sensing of Environment**, v. 39, p. 239–247, 1992.
- Galvão, L. S.; Vitorello, I.; Almeida Filho, R. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannahs. **Remote Sensing of Environment**, v. 67, p. 181–193, 1999.
- Luz, B. R, Crowley, J. K. Spectral reflectance and emissivity features of broad leaf plants: Prospects for remote sensing in the thermal infrared (8.0–14.0  $\mu\text{m}$ ). **Remote sensing of environment**, v. 109, p. 393-405, 2007.
- Rocchini, D. Effects of spatial and spectral resolution in estimating ecosystem  $\alpha$ -diversity by satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 111, p. 423-434, 2007.
- Tabarelli, M.; Mantovani, W. Clareiras naturais e a riqueza de espécies pioneiras em uma Floresta Atlântica Montana. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 49, n. 2, p. 251-261, 1999.
- Thenkabail, P. S. et al. Evaluation of narrowband and broadband vegetation indices for determining optimal hyperspectral wavebands for agricultural crop characterization. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n. 6, p. 607-621, 2002.
- Vieira, R. C. et al. Leaf anatomy of three herbaceous bamboo species. **Brazilian Journal of Biology**, v. 62, n. 4b, 2002.
- Zwiggelaar, R. A review of spectral properties of plants and their potential use for crop/weed discrimination in row-crops. **Crop Protection** v. 17(3), p. 189-206, 1998