

## **Proposta de representação gráfica sintética da resposta espectral anual por município: o caso do EVI2 do MODIS.**

Alfredo José Barreto Luiz<sup>1</sup>  
Antonio Roberto Formaggio<sup>2</sup>  
José Carlos Neves Epiphani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Meio Ambiente  
Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariuna - SP, Brasil  
alfredo@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{formag, epiphani}@dsr.inpe.br

**Abstract.** This work assumes that it is possible to represent a municipality by only one or a few measures derived from spectral information obtained by remote sensing for the entire municipality during one year. Under this hypothesis, the location of the pixel within the municipality loses relevance because the goal is to build a single measure by municipality. It is also needed to gather all the images obtained during one year to build a single annual standard if we are to reconcile the spectral information to official statistics in Brazil, since most of them are available by year and county. The objective pursued was to define an algorithm that resulted in a standard chart of annual vegetation index by municipality, using EVI2 data from MOD13Q1 product of MODIS, which is related to the predominant use of land in the municipalities. We analyzed data from 2001 to 2008 for three counties in the state of Sao Paulo. Initial results have revealed that, at least between counties with strong predominance of a certain type of land use, the differences in annual EVI2 pattern are obvious and can be quantified.

**Palavras-chave:** simple statistics, temporal dynamics, filled contour plot, estadísticas básicas, dinâmica temporal, gráfico de contorno.

### **1. Introdução**

Apesar dos avanços recentes na obtenção e compreensão dos dados de sensoriamento remoto, inclusive aqueles utilizados na construção de índices de vegetação (IV), relativamente poucos estudos foram realizados abordando a identificação de padrões espectrais municipais, relacionando-os à cobertura vegetal predominante e analisando o seu comportamento espaço-temporal.

A contribuição que se pretende dar com esse trabalho é a produção de uma representação anual de vegetação municipal, obtido a partir de dados de sensoriamento remoto, que se configure como uma métrica que integre todos os valores de IV do município. Embora os limites municipais não tenham um significado per se como alvo para o sensoriamento remoto, muitas atividades humanas que alteram o uso do solo e, portanto, a resposta espectral da superfície terrestre, é influenciada pela municipalidade. Além disso, muitos dos dados obtidos de outra maneira que não pelo sensoriamento remoto, como algumas das estatísticas oficiais brasileiras, por exemplo, os dados de área plantada e produção das principais culturas agrícolas, disponibilizados pelo IBGE, são produzidos e apresentados na escala municipal e para períodos de um ano. Portanto, obter uma única representação municipal e anual para um conjunto de dados espectrais, obtidos por sensoriamento remoto orbital, pode expandir ainda mais o potencial de uso destes dados.

O objetivo geral do trabalho foi promover o uso de imagens de sensoriamento remoto e dos métodos gráficos e estatísticos para aplicações na análise da dinâmica espacial e temporal do uso predominante do solo, em escala municipal, usando como informação básica os dados do EVI2 do sensor MODIS.

Considera-se ainda a expectativa de que, no médio prazo, o Brasil venha a dispor, no âmbito do programa de colaboração com a China, nos satélites CBERS-3 e 4, de câmaras de imageamento com características novas ou aprimoradas em relação às disponíveis nos satélites CBERS-1, 2 e 2B (INPE, 2009). Entre essas características, algumas se aproximarão das que atualmente estão disponíveis nos satélites Aqua e Terra, por meio do sensor MODIS e dos seus produtos, entre eles os designados como Índices de Vegetação (IV).

O conhecimento da variabilidade espacial e temporal de grupos de vegetação (natural ou cultivada), além do interesse científico per se, pode beneficiar diversos setores da economia. Nesse contexto, o objetivo específico deste trabalho será o de avaliar a variabilidade do Índice de Vegetação obtido por sensoriamento remoto sobre municípios do Estado de São Paulo, em escala de município, utilizando-se a análise dos dados do EVI2 obtidos pelo sensor MODIS e fornecidos pelo portal da NASA (Huete et al., 2002). Dessa forma, espera-se caracterizar municípios segundo o padrão de utilização do solo e analisar o comportamento temporal do EVI2 dos municípios estudados. Adicionalmente, a confirmação da utilidade da aplicação desse tipo de dados de sensoriamento remoto poderá se configurar como mais uma aplicação das imagens dos sensores embarcados nos futuros satélites da série CBERS.

Sobre a busca de representação sintética de dados de sensoriamento remoto para determinados locais e períodos, Running e Nemani, já em 1988, elaboraram um gráfico para representar o comportamento do NDVI do AVHRR ao longo do ano em vários locais com clima diferenciado (Running & Nemani, 1988). Entretanto os limites dos locais estudados não guardavam relação com fronteiras político administrativas.

Mais recentemente, Evrendilek e Gulbeyaz (2008) também usaram análises gráficas e estatísticas da composição de 16 dias dos índices de vegetação do MODIS para analisar o comportamento espaço temporal de diferentes zonas biogeoclimáticas na Turquia, mas os limites das áreas de estudo eram definidos pelos ecossistemas terrestres naturais e não por componentes geopolíticos.

Por sua vez, Ellis et al. (2010) se apóiam em dados de sensoriamento remoto para fazer uma análise temporal do uso do solo em um município, entretanto não de forma a compor um padrão que possa ser comparável entre municípios, nem se utilizam da disponibilidade cada vez maior de múltiplas imagens no mesmo ano.

Clark et al. (2010), usando o mesmo produto MODIS deste trabalho, sobre um período de tempo semelhante, de 2001 a 2007, sobre uma eco-região chamada Chaco Seco, abranger áreas de Argentina, Bolívia e Paraguai, e trabalhando com estatísticas anuais de índices de vegetação, também buscou suporte na análise gráfica para estudar a dinâmica do uso do solo, entretanto, com foco em mapeamento temático e sem se ater aos limites geopolíticos.

Essas abordagens parecem decorrer do conceito de padrões de resposta espectral. Um padrão de resposta espectral, algumas vezes chamado de assinatura espectral, é uma descrição (frequentemente na forma de um gráfico) do grau com o qual a energia é refletida em diferentes regiões do espectro.

No início das pesquisas com SR, acreditava-se ou esperava-se que cada material apresentasse um padrão de resposta espectral distinto que lhe permitiria ser identificado com segurança por meios visuais ou digitais. Entretanto, isto na realidade não é frequente. Por exemplo, duas espécies vegetais podem ter uma coloração bastante diferente em uma época do ano e muito semelhante em outra, ou uma mesma espécie cultivada, se plantada em épocas distintas pode apresentar uma resposta espectral muito diferente em um mesmo momento, mesmo que estejam submetidas às mesmas condições de iluminação e observação.

Quando o alvo é um município, além das dificuldades já relatadas, é claro que haverá uma enorme variedade de materiais recobrando a área do município e que esses materiais sofrerão mudanças significativas ao longo de um ano. O que está por trás da busca de um “padrão” municipal, neste trabalho, é o entendimento que apesar de todas essas variações e mudanças,

se aplicarmos uma visão sintética, que resuma o comportamento anual de todos os pixels de um município, provenientes de diversas imagens obtidas em épocas diferentes ao longo de um ano, ainda assim será possível obter uma representação característica de cada município.

Tufte (2001), no seu trabalho sobre como apresentar visualmente informações quantitativas, afirma que os modernos gráficos podem fazer muito mais que simplesmente substituir tabelas de dados e estatísticas. Segundo ele, usados no seu potencial máximo, gráficos são instrumentos que permitem compreender a informação quantitativa. Ele assegura também que com frequência a maneira mais efetiva de descrever, explorar e resumir um conjunto de dados numéricos - mesmo conjuntos muito grandes - é dar uma olhada em figuras construídas a partir desses números. Além disso, continua ele, de todos os métodos para analisar e transmitir informação estatística, os gráficos bem elaborados são normalmente os mais simples e ao mesmo tempo os mais poderosos.

Assim, foi escolhida a forma de representação gráfica para resumir o comportamento do EVI2, um índice numérico derivado de dados espectrais, obtidos por sensoriamento remoto orbital, durante um ano sobre o território de um município.

## **2. Metodologia de Trabalho**

O índice EVI2 do produto MOD13Q1 do sensor MODIS corresponde à composição de 16 dias de dados coletados, corrigidos para as variações sol-alvo-sensor, redução angular e uma opção de correção pela reflectância bidirecional BRDF (Huete et al., 2002; Justice et al., 1998). Os dados do MODIS são organizados numa base “per-pixel”, a partir de múltiplas observações, para gerar um produto de IV composto a cada 16 dias. Como as órbitas se sobrepõem, é possível obter várias respostas de um mesmo pixel no período de 16 dias, de forma que as imagens compostas do produto MOD13Q1 são geradas com a resposta de melhor qualidade no período, para cada um dos pixels, embora, na prática, poucas observações estejam disponíveis para cada pixel devido à contaminação por nuvens (Gao et al., 2000; Miura et al., 2006).

A escolha dos municípios foi baseada no uso predominante do solo, em termos de área ocupada em relação à área total. As informações sobre o uso do solo foi obtida de dados secundários, recolhidos antes da coleta dos dados espectrais. Buscou-se, nesse primeiro exercício, selecionar casos extremos, ou seja, foram escolhidos três municípios bem distintos quanto ao uso predominante do solo e que apresentassem forte predominância de um determinado uso. Houve ainda uma preocupação em trabalhar com poucas classes de uso, pois o principal objetivo era estabelecer o método de construção da representação única e verificar sua aplicabilidade, e não proceder uma caracterização extensiva de municípios.

Os dados do EVI2 do produto MOD13Q1 do MODIS foram obtidos para três municípios paulistas com diferentes coberturas predominantes do solo (floresta natural, área urbanizada, floresta plantada), para os anos 2001 a 2008. A posição dos pixels dentro dos municípios não foi considerada. Como em um ano estão disponíveis 23 imagens do produto escolhido, foram criadas 23 faixas equiespaçadas dos valores de EVI2. A cada imagem (composição de 16 dias), foram calculadas as frequências relativas de pixels em cada uma das 23 faixas de valores do EVI2. Os dados foram representados em um gráfico de contorno preenchido, de forma que, para qualquer tamanho de município, o gráfico tivesse sempre a mesma dimensão, permitindo a comparação do padrão anual entre os municípios, mesmo de áreas muito diferentes.

Os municípios escolhidos foram: 1) Agudos (floresta plantada) - o município de Agudos é representado por um total de 16.845 pixels. Ele foi escolhido para representar uma classe de municípios com grande presença de florestas plantadas, pois, segundo o censo de 2006, ele era o município do Estado de São Paulo com maior percentual ocupado por esse tipo de uso do solo em relação à área total do município (39.241 ha, ou 41% do território municipal); 2)

Ubatuba (floresta natural) - o município de Ubatuba é representado por um total de 12.280 pixels. Esse município foi escolhido para representar a classe dos municípios com elevado percentual de cobertura vegetal natural. Segundo o Sistema de Informações Florestais do Estado de São Paulo (SIFESP) ([http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/inventarioFlorestal/municipio\\_maior\\_porc.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/uploads/arquivos/inventarioFlorestal/municipio_maior_porc.pdf)), Ubatuba possui o maior percentual de vegetação natural remanescente no Estado de São Paulo, com 89,9% da sua área preservada; e 3) Osasco (urbano) - o município de Osasco é representado por um total de 1.139 pixels. Município predominantemente urbano. Esse município foi escolhido para representar a classe de municípios altamente urbanizados, pois, entre aqueles que não possuíam qualquer atividade agrícola mensurável segundo o censo de 2006, ele possui o segundo menor percentual de vegetação natural remanescente (3,9%), sendo superior apenas a São Caetano do Sul (0,1%) que, entretanto, possui área total bem menor (1.536 ha) que Osasco (6.494 ha).

Os dados obtidos foram trabalhados na planilha Excel para a confecção dos gráficos e obtenção de algumas estatísticas simples. No primeiro passo, é calculada a frequência absoluta de pixels (para cada imagem composta de 16 dias) em cada faixa de EVI2 (são 23 faixas equiespaçadas). Como cada município possui área diferente e, portanto, número total de pixel diferente também, é necessário calcular a frequência relativa, dividindo-se a absoluta pelo número total de pixel. Dessa forma é obtida, para cada ano, uma matriz com 23 linhas (intervalos equiespaçados de EVI2) e 23 colunas (imagens MODIS compostas de 16 dias), em cujas células temos valores percentuais da frequência com que cada faixa de EVI2 ocorreu naquele município naquela data. A partir dessa matriz é construído o gráfico, que na planilha Excel é chamado de “Superfície”, mas com a opção de rebatê-lo até obter uma projeção plana, equivalente ao que é conhecido como gráfico de contorno preenchido.

### 3. Resultados e Discussão

Uma primeira comparação possível é entre as estatísticas simples. Foram calculadas a média, a variância a assimetria e a curtose para cada município a cada ano, entre todos os valores de EVI2 de todos os pixels. Na Figura 1 são apresentadas as representações gráficas dessas estatísticas, onde para cada município aparece uma pequena barra que compreende todos os valores observados para os anos analisados.

Como era de se esperar, dado que os municípios foram escolhidos por apresentarem predominância do uso do solo bem diferenciada, até mesmo pela média do EVI observada ao longo dos oito anos analisados é possível diferenciar os municípios. O mesmo não acontece com a variância, que apesar de não apresentar faixa de sobreposição entre os valores observados em Ubatuba e Osasco, tanto um como outro não podem ser diferenciados de Agudos, pois em alguns anos seus valores estiveram na mesma faixa de ocorrência. A diferença volta a ser expressiva no caso da assimetria, mostrando que Agudos apresenta uma distribuição de valores de EVI2 bastante simétrica em relação à média, enquanto os outros dois municípios são marcadamente assimétricos, um positivamente e outro negativamente. A curtose também revela diferenças entre Agudos e os outros dois municípios quanto à distribuição dos valores de EVI2, sendo que Agudos apresenta uma distribuição chamada de platicúrtica (pouco concentrada em torno da média) enquanto Ubatuba e Osasco são nitidamente leptocúrticas, ou seja, muito concentradas em torno da média.

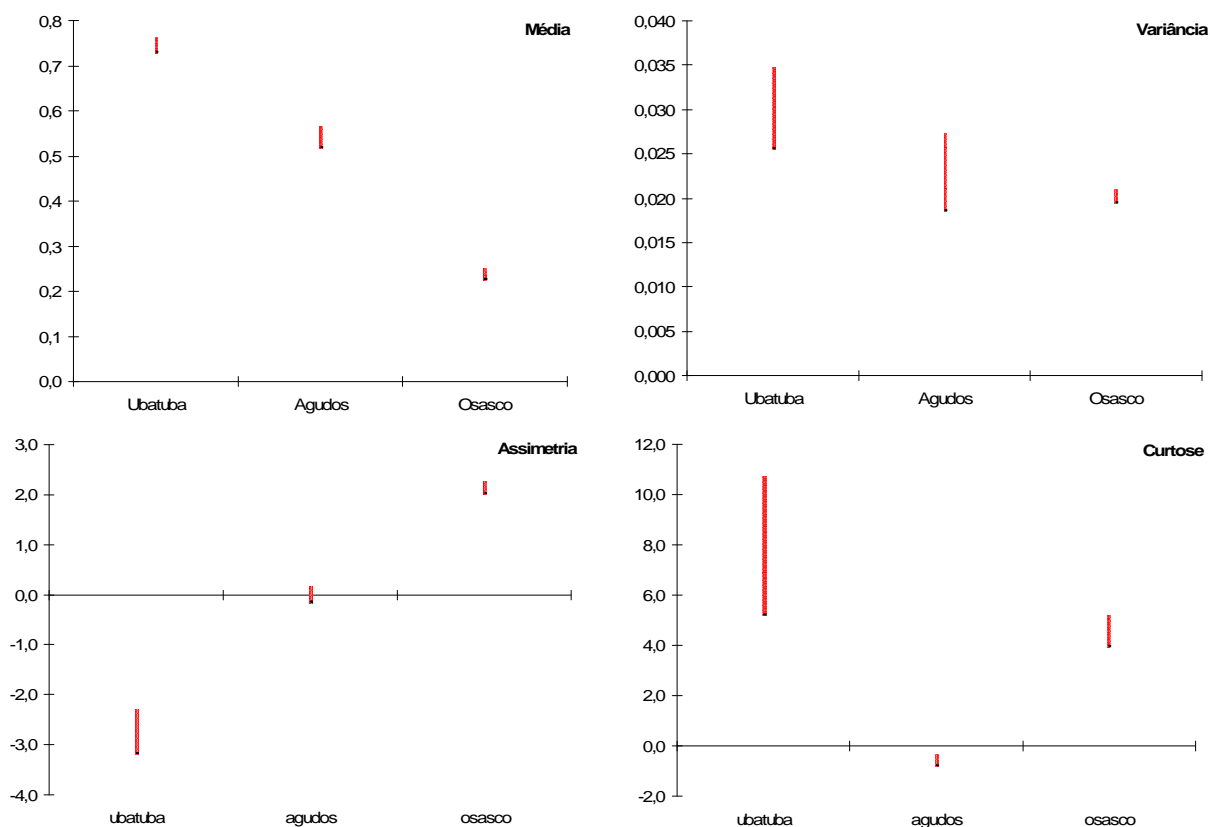


Figura 1. Valores do mínimo ao máximo observado para estatísticas dos dados de EVI2, em três municípios paulistas, de 2001 a 2008, calculados sobre 23 imagens a cada ano.

Apesar de servir para a separação entre municípios, as estatísticas apresentadas na Figura 1, mesmo representadas na forma gráfica, são consideradas muito pouco explicativas da complexidade do comportamento espectral de todo um município ao longo do ano, além de ser pouco familiar para a maioria os termos e significados utilizados na análise.

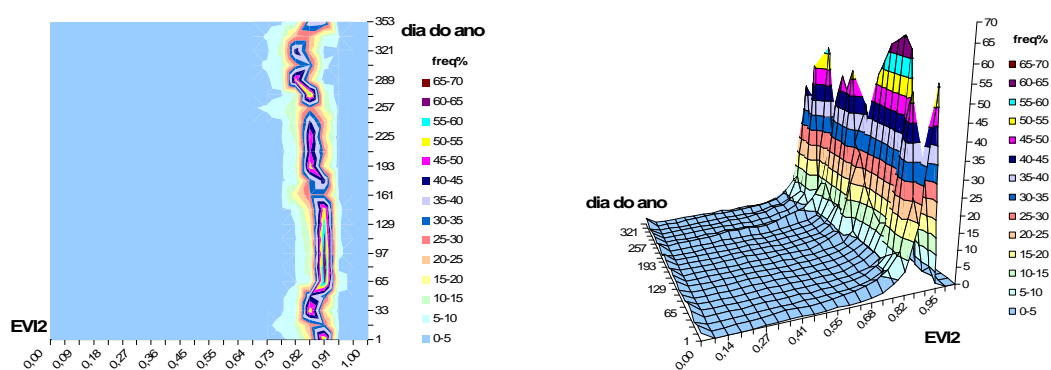


Figura 2. Frequência percentual de pixels segundo época do ano e faixa de valores de EVI2 do produto MOD13Q1 do MODIS, no município de Ubatuba/SP, em 2001. À esquerda o gráfico de contorno preenchido e à direita o gráfico de superfície, ambos representando o mesmo conjunto de dados.

Para representar de forma mais compreensível os dados, os gráficos de superfície e de contorno, apresentados na Figura 2, parecem ser mais adequados. Nesta figura é possível perceber as mesmas características já expressas pelas estatísticas, mas com uma sensibilidade maior. A concentração dos valores de EVI2 em altos níveis, ao longo de todo o ano, está

associada à presença e grande área coberta com floresta natural, sempre verde e com alto índice de área foliar. Entre os dois tipos de gráfico, o de contorno é ainda mais simples de ser compreendido e analisado.

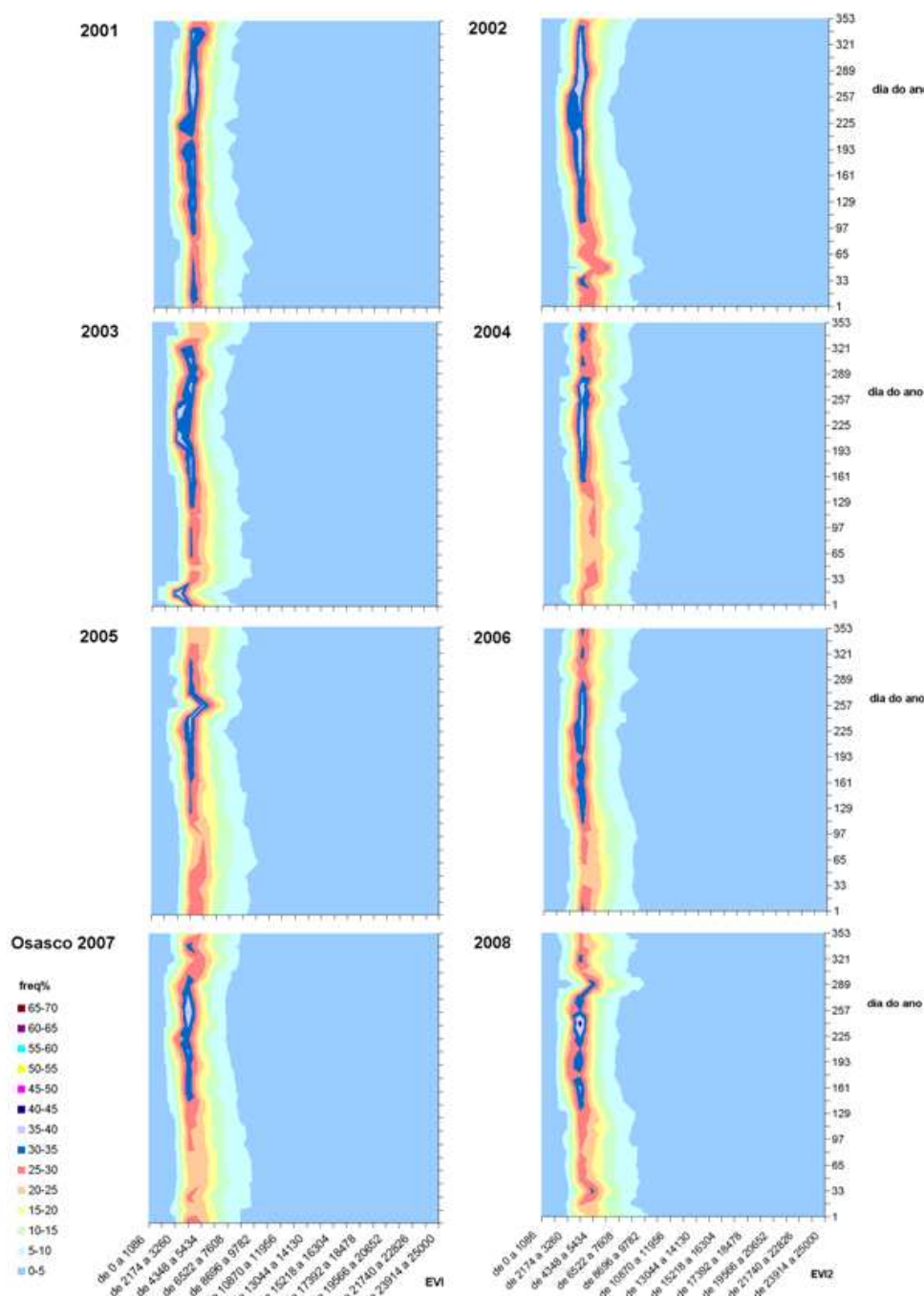


Figura 3. Frequência percentual de pixels segundo época do ano e faixa de valores de EVI2 (x25.000) do produto MOD13Q1 do MODIS, no município de Osasco/SP, de 2001 a 2008.

No caso do município de Osasco, vemos na Figura 3, que apresenta os gráficos de contorno para os oito anos em análise, que além de um comportamento similar ao longo de cada ano, esse perfil não sofreu grandes mudanças durante o período. São evidentes também as diferenças entre os padrões de Ubatuba e Osasco, sendo esse último a representação do que se esperaria de um território praticamente desprovido de vegetação.

Na Figura 4 são apresentadas imagens TM de verão e de inverno de 2008 dos três municípios. As diferenças de forma, tamanho, relevo e tipo de ocupação predominante, tornam mais difícil a comparação entre os municípios, mesmo quando olhamos para apenas duas datas de imagens. É possível perceber a vantagem que a representação em um único gráfico, sempre de mesmas dimensões e escalas, de inúmeras imagens, pode oferecer para a comparação de padrões de ocupação predominante do solo.

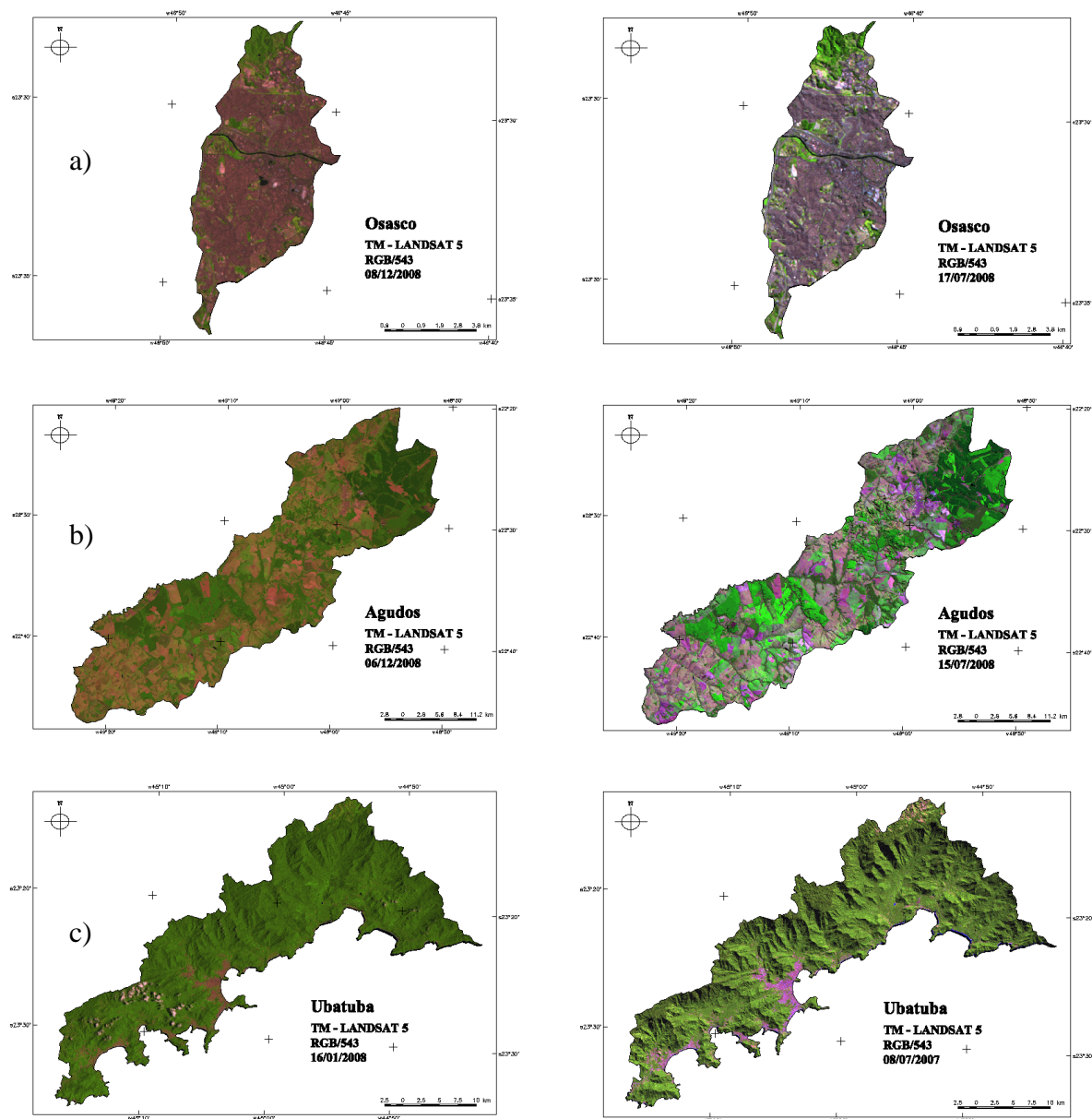


Figura 4. Imagens TM – Landsat 5, na composição RGB/453, de verão (esquerda) e de inverno (direita), dos três municípios paulistas analisados: a) Osasco, b) Agudos e c) Ubatuba.

#### 4. Conclusões

A principal vantagem do método gráfico apresentado é que ele permite resumir, em uma única figura, o comportamento espectral (nesse caso do EVI2), de toda uma região, (um município), durante um determinado período de tempo, (um ano), que pode englobar inúmeras imagens (do MOD13Q1, são 23 por ano). Dessa maneira, é possível comparar o comportamento espectral, em qualquer banda, em regiões de tamanhos e formas diferentes, durante períodos de duração variada, utilizando sempre um mesmo padrão gráfico de fácil

visualização e interpretação. É possível distinguir os padrões anuais do EVI dos municípios escolhidos, tanto por meio de representação gráfica como pelo uso de medidas estatísticas.

Especificamente, foi possível caracterizar os três municípios avaliados de forma que os gráficos eram diferentes entre municípios, semelhantes entre os anos para um mesmo município e guardavam uma coerência lógica entre a ocupação predominante do solo e o comportamento espectral observado.

Em Osasco, município predominantemente urbanizado, com pouquíssimas áreas verdes, o comportamento do EVI2 observado pelo gráfico proposto apresenta concentração muito similar ao longo dos últimos anos, durante todas as épocas do ano, e com alta frequência de pixels com valores muito baixos do EVI2.

Em Ubatuba, município ocupado em grande parte por floresta natural, com poucas áreas urbanizadas ou dedicadas à agricultura, o comportamento do EVI2, o gráfico proposto se apresenta de forma similar ao de Osasco, mas invertido, ou seja, com alta concentração de valores elevados de EVI2, e constante ao longo do ano.

De maneira distinta, em Agudos os valores de EVI2 são um pouco menos concentrados e variam em torno de valores médios, condizentes com as condições determinadas pelo manejo das florestas plantadas, que incluem o corte de porções significativas das árvores a cada ano.

### **Agradecimentos**

Aos colegas André Lima, pela obtenção dos limites municipais; Marcos Adami e Ramon Moraes de Freitas, pela cessão dos dados brutos do MODIS; Francisco Dario Maldonado, pela sugestão de utilizar o gráfico de contorno preenchido; e Magog Araújo de Carvalho, pela preparação das imagens Landsat dos municípios estudados.

### **Referências Bibliográficas**

- Clark, M.L.; Aide, T.M.; Grau, H.R.; Riner, G. A scalable approach to mapping annual land cover at 250 m using MODIS time series data: A case study in the Dry Chaco ecoregion of South America. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, p. 2816-2832, 2010.
- Ellis, E.A.; Baerenklau, K.A.; Marcos-Martinez, R.; Chávez, E. Land use/land cover change dynamics and drivers in a low-grade marginal coffee growing region of Veracruz, México. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 1, p. 61-84, 2010.
- Evrendilek, F.; Gulbeyaz, O. Deriving vegetation dynamics of natural terrestrial ecosystems from MODIS NDVI/EVI data over Turkey. **Sensors**, v. 8, n. 9, p. 5270-5302, 2008.
- Gao, X.; Huete, A. R.; Ni, W.; Miura, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.609-620, 2000.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E. P.; Gao, X.; Ferreira, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. (Special Issue) **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- INPE – CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/cbbers3-4.htm>. Acesso em: 04.mar.2009.
- Justice, D. H.; Salomonson, V.; Privette, J.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, R.; Myneni, R.; Knjazihhin, Y.; Running, S.; Nemani, R.; Vermote, E.; Townshend, J.; Defries, R.; Roy, D.; Wan, Z.; Huete, A.; Van Leeuwen, R.; Wolfe, R.; Giglio, L.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, p.1228-1249, 1998.
- Miura, T.; Huete, A.; Yoshioka, H. An empirical investigation of cross-sensor relationships of NDVI and red/near-infrared reflectance using EO-1 Hyperion data. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 223-236, 2006.
- Running, S.W.; Nemani, R.R. Relating seasonal patterns of the AVHRR vegetation index to simulated photosynthesis and transpiration of forests in different climates. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 2, p. 347-367, 1988.
- Tufte, E.R. **The visual display of quantitative information**. (2 ed.). USA: Graphics Press, 2001. 197 p.