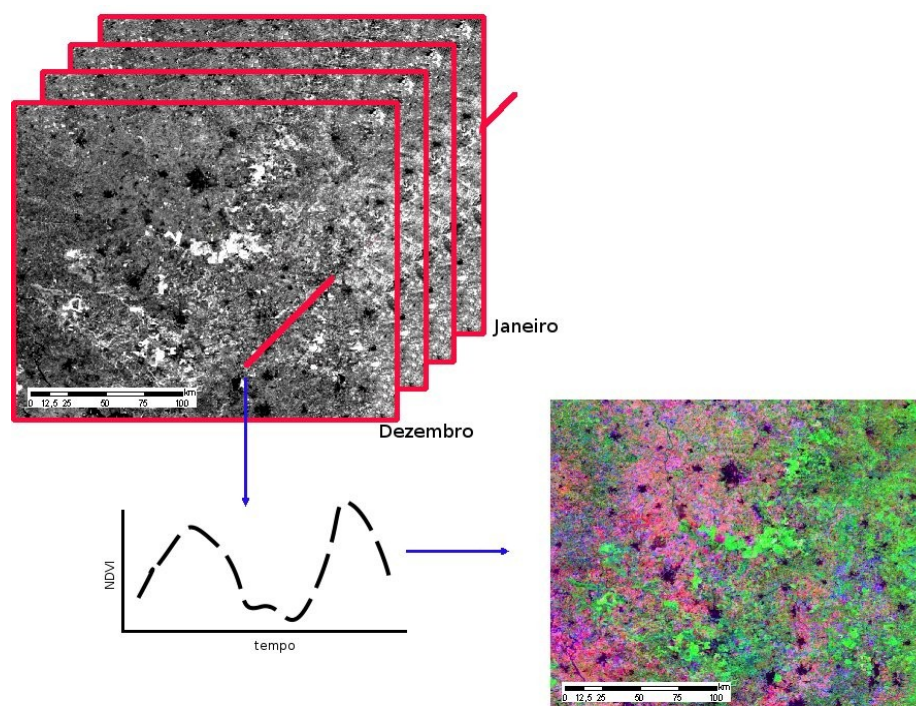


Documentos 72

On-line

ISSN 0103-78110
Dezembro, 2008

Análise Harmônica de Séries Temporais de Imagens de Satélite para identificação de atividades agrícolas: um estudo de caso de imagens NDVI/MODIS na Região de Ribeirão Preto, SP



Autores

Daniel de Castro Victoria

Engenheiro agrônomo, M. Sc. em Ecologia de Agroecossistemas, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
daniel@cnpm.embrapa.br

Aryeverton Fortes de Oliveira

Economista, Dr. em Economia Aplicada, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
ary@cnpm.embrapa.br

Célia Regina Grego

Engenheiro agrônomo, Dra. em Energia na Agricultura, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
crgrego@cnpm.embrapa.br



ISSN 0103-78110
Dezembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

***Documentos On-line* 72**

Análise Harmônica de Séries Temporais de Imagens de Satélite para identificação de atividades agrícolas: um estudo de caso de imagens NDVI/MODIS na Região de Ribeirão Preto, SP

*Daniel de Castro Victoria
Aryeverton Fortes de Oliveira
Célia Regina Grego*

Embrapa Monitoramento por Satélite
Campinas, SP
2008

Exemplares desta publicação podem ser solicitados na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP – BRASIL

Fone: (19) 3211 6200

Fax: (19) 3254-1100

<http://www.cnpm.embrapa.br>

sac@cpnm.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *José Roberto Miranda*

Secretária: *Shirley Soares da Silva*

Membros: *Adriana Vieira de Camargo de Moraes*
André Luiz dos Santos Furtado
Carlos Alberto de Carvalho
Carlos Fernando Quartaroli
Cristina Aparecida Gonçalves Rodrigues
Graziella Galinari
Mateus Batistella
Meire Volotão Stephano

1ª edição

1ª impressão (2008): formato digital

Fotos: Arquivo da Unidade

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Monitoramento por Satélite

Victoria, Daniel de Castro.

Análise Harmônica de Séries Temporais de Imagens de Satélite para identificação de atividades agrícolas: um estudo de caso de Imagens NDVI/MODIS na Região de Ribeirão Preto, SP. / *Daniel de Castro Victoria, Aryeverton Fortes de Oliveira e Célia Regina Grego*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2008

18 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 72).

ISSN 0103-78110

1. Modis 2. Séries temporais 3. Fourier 4. Cobertura do solos
I. Castro, Victoria Daniel de. II. Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas-SP) III. Título. IV. Série.

CDD 630.28

© Embrapa Monitoramento por Satélite, dez. 2008

Apresentação

Informações obtidas através de sensores remotos orbitais ou aerotransportados já provaram sua importância para o monitoramento da superfície terrestre. Com elas foram aprimorados o acompanhamento dos desmatamentos, a quantificação e a avaliação das áreas agricultadas, as estimativas da produtividade dos ecossistemas naturais e agrícolas, as indicações de riscos epidemiológicos e desastres ambientais, dentre outras aplicações que auxiliam no planejamento e gestão territorial em áreas antropizadas ou não.

A evolução dos produtos de sensoriamento remoto foi significativa, sendo o aumento da resolução espacial um dos aspectos mais notáveis no estudo da cobertura terrestre. Hoje são facilmente obtidos produtos de sensores com resoluções de poucos metros ou inferiores, como é o sensor HRC (High Resolution Camera) a bordo do satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres CBERS-2b (China-Brazil Earth Resources Satellite), que fornece imagens gratuitas com resolução espacial de 2,7 m e as imagens submétricas dos satélites EROS, QUICKBIRD e YKONOS utilizadas pela Embrapa Monitoramento por Satélite no acompanhamento das obras do PAC em todo o território nacional.

No entanto, aplicações voltadas para grandes áreas, com foco mais no uso das terras que na cobertura observada em determinado instante, reduzem a necessidade de alta resolução espacial e tornam mais significativa as informações com elevada frequência temporal, o que explica a grande evolução dos sensores de média resolução. Neste segmento, o sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é seguramente UM BOM exemplo, com resoluções espaciais variando de 250 m a 1 km e resolução temporal diária.

A média resolução espacial, juntamente com a obtenção diária de imagens e a disponibilização gratuita de produtos com elevado grau de confiabilidade, faz do sensor MODIS um candidato ideal para o monitoramento de áreas extensas com baixo custo. A elevada resolução temporal deste sensor permite aplicações que utilizem não só as informações espectrais dos alvos em questão mas também a resposta temporal destes, fornecendo informações sobre a fenologia ou o manejo das coberturas vegetais. Tais informações podem auxiliar na classificação do uso e cobertura das terras, servir de base para sistemas de estimativa e acompanhamento de safra, avaliar danos nas culturas. A informação com repetitividade temporal é de suma importância no monitoramento agrícola por imagens de satélite.

Existem diversas metodologias que utilizam a informação temporal no monitoramento da cobertura e uso das terras. Este trabalho mostra a aplicação das transformações de Fourier nas séries temporais de imagens como ferramenta para a classificação da cobertura vegetal. Outros métodos e técnicas vem sendo testados com êxito na Embrapa Monitoramento por Satélite e poderão, no futuro, fazer parte de um sistema de monitoramento agrícola das grandes culturas nacionais.

Evaristo Eduardo de Miranda
Chefe-Geral da Embrapa Monitoramento por Satélite

Sumário

Análise harmônica de séries temporais.....	7
Introdução.....	7
Obtenção e análise de séries temporais.....	7
Composição de séries temporais de imagens de satélite	9
Metodologias para análise de séries temporais.....	10
Análise Harmônica (Fourier) de séries temporais.....	10
Material e métodos.....	12
Resultados e discussão.....	12
Conclusões.....	16
Referências.....	17

Análise harmônica de séries temporais

Daniel de Castro Victoria
Aryeverton Fortes de Oliveira
Célia Regina Grego

Introdução

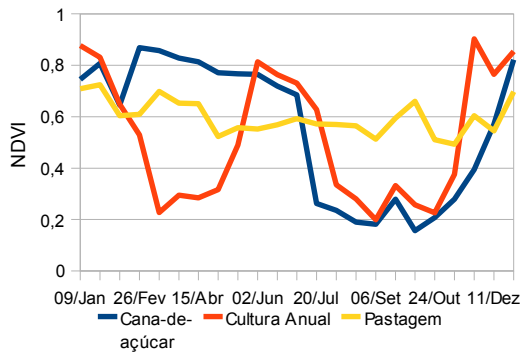
Os processos de identificação do uso e cobertura das terras para o monitoramento da agropecuária podem ser significativamente beneficiados com informações de baixo custo obtidas por sensoriamento remoto, com alta resolução espacial ou com elevada frequência temporal. O potencial desses dados amplia as possibilidades de identificação de pequenas feições no espaço e a caracterização de eventos agrônômicos de elevado interesse ao longo do tempo. Dentre esses fenômenos incluem-se mensurações da produtividade das culturas e da área plantada, o acompanhamento da evolução da colheita em tempo quase real, a identificação de sinistros, para fins de seguro agrícola, e a investigação de aspectos mais finos, como a frequência do cultivo das terras. A elevada frequência das varreduras dos satélites permite a ampliação das investigações no sentido da inclusão dos dados em modelos mais sofisticados que cruzem informações de campo com dados de sensoriamento remoto, sendo portanto uma área promissora para a investigação científica.

Este trabalho trata da aplicação de técnicas de análise de séries temporais, especificamente a análise de Fourier, a dados de alta frequência temporal obtidos em plataformas orbitais, no sentido de aproveitar dados disponíveis a baixos custos para fins de classificação do uso e cobertura das terras. Esta abordagem facilita a extração de informações relacionadas com o comportamento espectral e temporal das coberturas vegetais naturais e manejadas para fins agrícolas e potencializa a distinção das classes de interesse. A região investigada apresenta diversidade de usos agrícolas, transparente em imagem de melhor resolução, utilizada para validação. A análise dos resultados discute o potencial dos dados e dos métodos para o monitoramento da agricultura, tendo como referência o que seria uma investigação convencional, por inspeção visual, de uma cena da cobertura. Fica bastante claro que, apesar do elevado detalhamento espacial, possibilitando até a identificação de pequenas feições, estas imagens utilizadas nos trabalhos convencionais de sensoriamento remoto não são capazes de fornecer uma informação muito importante das coberturas vegetais: o comportamento temporal.

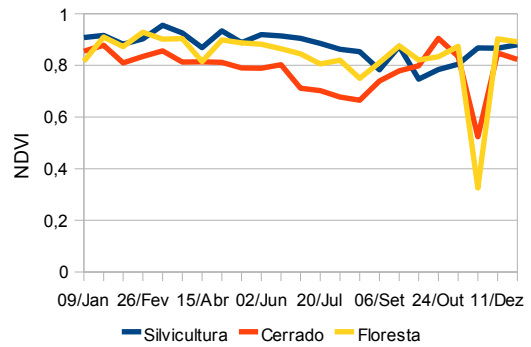
Obtenção e análise de séries temporais

As variações nas medições radiométricas por sensoriamento remoto estão atreladas a mudanças nas coberturas vegetais devido ao seu estado e vigor ao longo do tempo, devido às condições climáticas, aos estágios fenológicos sazonais e às práticas agrícolas empregadas (Figura 1). Tais variações podem fornecer diversas informações, como datas de plantio e colheita, problemas no desenvolvimento cultural, como quebras de safra, número de safras cultivadas em um ano e, principalmente, a classificação da cobertura vegetal a partir de seu comportamento temporal.

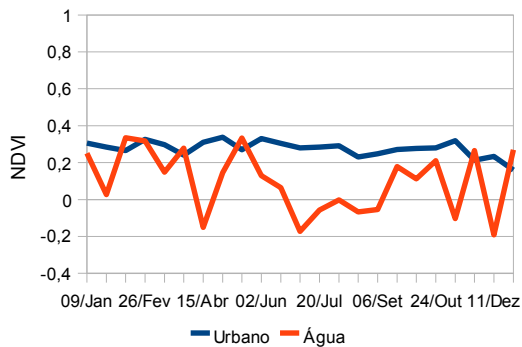
8 - Análise harmônica de séries temporais



a)



b)



c)

Figura 1. Séries temporais de NDVI para a) culturas agrícolas; b) coberturas florestais e nativas, com detalhe para descontinuidade na série próximo ao dia 11 de dezembro e c) coberturas com baixo NDVI

A partir de imagens com alta resolução temporal, como as obtidas pelos sensores AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), os comportamentos espectrais dos alvos têm sido reconhecidos por índices específicos. Imagens compostas dos índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), que utilizam diversas imagens diárias para obter uma imagem com menor interferência de nuvens, aerossóis e problemas no sensor, são comumente empregadas neste tipo de análise. Jakubauskas et al. (2002) mostraram que com o emprego da análise harmônica sobre séries temporais de imagens NDVI do sensor AVHRR era possível identificar as principais culturas agrícolas cultivadas no estado de Kansas, EUA. Também estudando as culturas agrícolas do Kansas, Wardlow et al. (2007) concluíram que a melhor resolução espacial do sensor MODIS (250 m) permite identificar a maior parte dos campos agrícolas da região, diferentemente do sensor AVHRR, com resolução espacial de 1 km. Além disso, mostraram que as séries temporais dos índices de vegetação deste sensor são capazes não só de identificar as diferentes culturas agrícolas mas também alterações no manejo, como o uso de irrigação e diferenças na época de plantio devido ao clima local. Outras aplicações de séries temporais de imagens incluem a classificação de coberturas florestais (YU et al., 2004), a detecção de desflorestamento (LACRUZ; SANTOS, 2005), a classificação de uso e cobertura (JONATHAN et al., 2007) e a extração de parâmetros fenológicos da vegetação (JONSSON; EKLUNDH, 2002). Neste âmbito, o produto MOD13Q1, do sensor MODIS, é indicado para tal aplicação, uma vez que fornece imagens dos índices de vegetação NDVI e EVI compostas de 16 dias, com correção atmosférica, georreferenciadas, resolução espacial de 250 m, além de fornecer indicadores de qualidade da imagem.

De posse da série temporal de imagens, alguns filtros podem ser aplicados com o intuito de reduzir interferências que porventura não tenham sido atenuadas pela composição temporal. Por fim, os parâmetros de interesse da série temporal são extraídos e utilizados na classificação das imagens.

Composição de séries temporais de imagens de satélite

Grande parte dos trabalhos com séries temporais de imagens utilizam índices de vegetação como o NDVI (LACRUZ et al., 2005; YU et al., 2004; JONATHAN et al., 2007; JAKUBAUSKAS et al., 2002; dentre outros) calculado pela equação 1:

$$\text{NDVI} = [(IV - V) / (IV + V)] \quad (1)$$

A partir da relação entre as bandas do vermelho (V) e do infra-vermelho próximo (IV), o NDVI tem relação direta com a biomassa da vegetação e a absorção de energia para a fotossíntese (PETTORELLI et al., 2005). O índice se baseia no fato de que a radiação vermelha é utilizada pelas plantas durante a fotossíntese enquanto que a radiação infra-vermelha é refletida, resultando em uma baixa reflectância na banda vermelha e elevada reflectância na banda do infra-vermelho. Quanto mais intensa a atividade fotossintética, maior será a diferença entre as reflectâncias.

Outros índices que podem ser utilizados são o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*), que corrige efeitos da reflectância do solo, e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), que corrige influências atmosféricas e apresenta melhores resultados em áreas com vegetação mais densa (PETTORELLI et al., 2005).

Os sensores comumente utilizados para a composição das séries são o AVHRR, com imagens diárias desde a década de 1980 e, mais recentemente, o MODIS, com imagens diárias a partir de 2000. A vantagem destes sensores é que a aquisição diária permite o uso de imagens compostas temporais, o que remove em grande parte a interferência de nuvens. O sensor MODIS apresenta ainda vantagens devido à maior resolução espacial (250 m contra 1,1 km do AVHRR) e correções geométricas e atmosféricas já incorporadas nos produtos disponibilizados.

Outros sensores com maior resolução espacial podem ser utilizados, como o TM/ETM (*Thematic Mapper / Enhanced Thematic Mapper*) do Landsat. No entanto, a menor resolução temporal destes satélites (16 dias para o Landsat) dificulta a aquisição de imagens livres da interferência de nuvens. Os dados do sensor TM/ETM do Landsat abrangem os anos de 1984 a 2003. Existe também a possibilidade de se utilizar os dados do sensor VGT do satélite SPOT, com imagens diárias, resolução de 1 km, cobrindo os anos de 1998 até o presente (PETTORELLI et al., 2005). Na Tabela 1 são apresentados detalhes dos tipos de satélites que podem ser utilizados.

Tabela 1: Fontes para a composição de séries temporais de imagens

Base de dados	Satélite	Sensor	Cobertura temporal	Resolução temporal	Resolução espacial	Website
GVI	NOAA	AVHRR	Mai/1982 – presente	Semanal, mensal e sazonal	16 km	http://www2.ncdc.noaa.gov/docs/gviug/index.htm
GIMMS	NOAA	AVHRR	Jul/1981 – presente	Bimensal (10 dias p/ África)	8 km	http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms/
MOD13	Terra	MODIS	Fev/2000 – presente	16 dias	250 m a 1000 m	http://modis.gsfc.nasa.gov/
MYD13	Aqua	MODIS	Jul/2002 – presente	16 dias	250 m a 1000 m	http://modis.gsfc.nasa.gov/
	Landsat	TM/ETM	1984 – 2003	16 dias	30 m	http://landsat.usgs.gov/
	SPOT	VGT	Abr/1998 – presente	10 dias	1 km	http://www.spot-vegetation.com/

Adaptado de Pettorelli et al., 2005.

Metodologias para análise de séries temporais

A metodologia tratada neste trabalho para a obtenção de parâmetros da série temporal consiste na utilização das séries harmônicas, também conhecida como análise de Fourier. Esta decompõe a série temporal em uma soma de harmônicos, descrevendo o comportamento da cobertura vegetal ao longo do tempo (Figura 2). Tal metodologia foi empregada na identificação de coberturas florestais (YU et al., 2004), na detecção de desflorestamento (LACRUZ et al., 2005) e na classificação de culturas agrícolas (JAKUBAUSKAS et al., 2001, 2002). Outra metodologia muito utilizada, porém não contemplada neste trabalho, consiste em empregar o ajuste de equações matemáticas sobre a série temporal a fim de extrair parâmetros como as datas de início e final do ciclo fenológico, a duração do ciclo, intensidade de ascensão e declínio do índice de vegetação durante o ciclo fenológico, dentre outros parâmetros. Neste contexto destaca-se o trabalho de Jonsson e Eklundh (2002), que desenvolveram um pacote computacional específico para o estudo de séries temporais de imagens. Metodologia semelhante foi aplicada por Jonathan et al. (2007) para a classificação do uso e cobertura do solo na região do Alto Taquari, MS/MT.

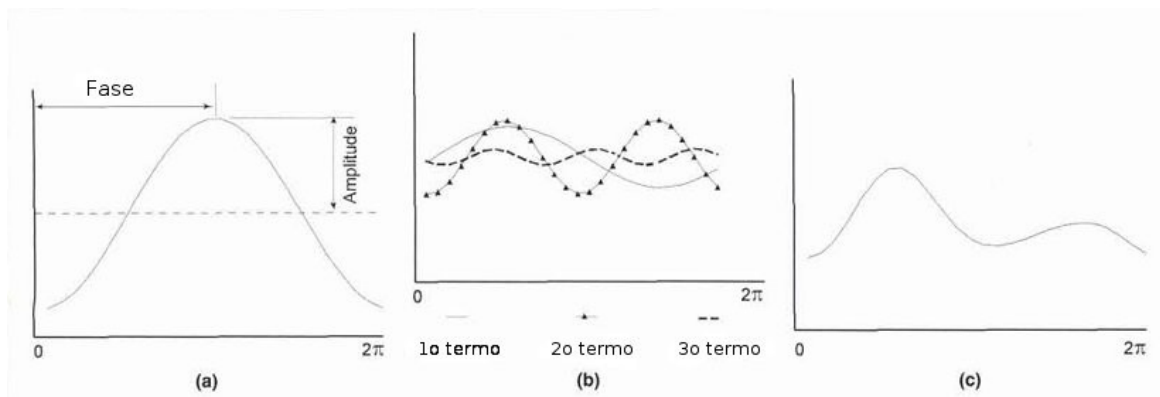


Figura 2. a) Curva representando o primeiro termo da análise harmônica e sua respectiva amplitude e fase, b) curvas dos harmônicos dos termos 1, 2 e 3 e c) soma dos três harmônicos representados da figura 2b.

Fonte: JAKUBAUSKAS, 2001.

Análise Harmônica (Fourier) de séries temporais

A análise harmônica, também conhecida como análise de Fourier, decompõe um sinal que ocorre ao longo do tempo em sinais no espaço de frequências e um termo aditivo, representado pelo valor médio da série temporal. Na prática, significa decompor a variação anual da série temporal de NDVI em termos que representem a média da série e oscilações anuais, semestrais, quadrimestrais e assim por diante. Cada termo é composto por uma função cosseno que apresenta valores distintos de amplitude e fase, indicando a magnitude dos sinais e quando estes atingem o máximo, respectivamente. A transformada discreta de Fourier é dada por (2):

$$F(u) = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{T-1} f(x) e^{-j \frac{2\pi}{T} k} \quad -2$$

onde $f(x)$ é uma série de valores amostrais; T é o número de observações na série temporal; k é um índice representando a observação atual e j é um número imaginário. Os termos real e imaginário são transformados nos valores de amplitude e fase a partir das equações (3) e (4):

$$F_{amplitude} = \left(F_{real}^2 + F_{imaginário}^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$F_{fase} = atan\left(F_{imaginário} / F_{real} \right) \quad (4)$$

Jakubauskas et al. (2001) mostraram que com apenas os primeiros termos da análise harmônica já é possível captar a maior parte da variação da série temporal e que este tipo de análise poderia ser utilizada na identificação de diferentes culturas agrícolas (Figura 3).

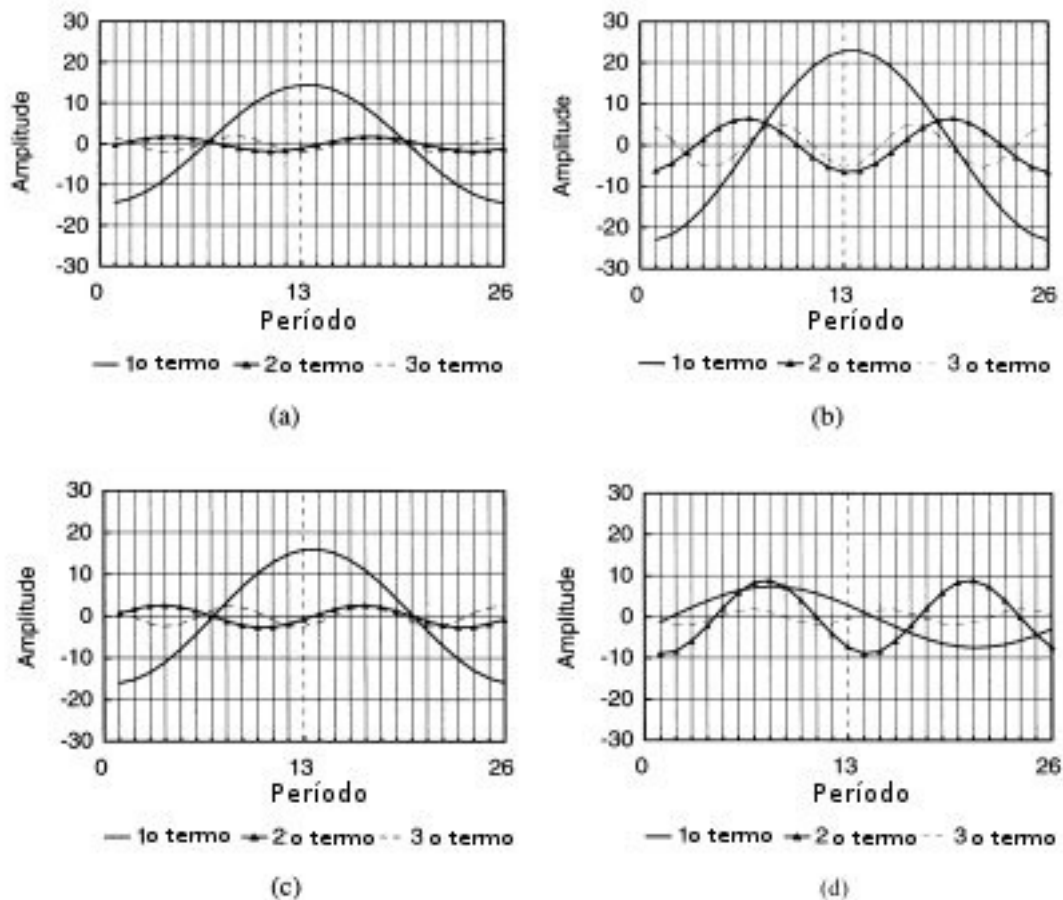


Figura 3. Primeiros três termos do índice de vegetação para a) milho, b) alfafa, c) pastagem e d) trigo de inverno para o condado de Finney, Kansas – EUA. (Fonte: JAKUBAUSKAS et al. 2001)

Considerando o comportamento das principais coberturas vegetais, temos que coberturas agrícolas com uma safra no período de um ano, como a cana-de-açúcar, apresentam um forte sinal com oscilação anual (primeira componente harmônica), enquanto que o sinal semestral (segunda componente) é baixo. Já culturas agrícolas com ciclos mais curtos, apresentam forte sinal semestral (segunda componente), principalmente quando são feitas duas safras no ano. Caso seja feita apenas uma safra curta em um ano, a análise de Fourier indicará dois sinais fortes, um anual e outro semestral. Coberturas sem grande variação de NDVI ao longo do ano, como florestas não decíduas e plantações florestais, resultam em baixos sinais anuais e semestrais (primeira e segunda componentes) com elevado sinal constante (componente harmônico zero), referente ao NDVI médio anual da cobertura. Neste caso, florestas plantadas e remanescentes florestais se confundem.

O mesmo método foi utilizado para a classificação de diferentes fisionomias florestais, identificando florestas decíduas e perenes (YU et al. 2004) e na detecção de áreas desflorestadas, bem como a identificação da época em que o desmatamento ocorreu (LACRUZ et al. 2005).

Material e métodos

A área de estudo para a classificação de séries temporais de imagens NDVI foi a região de Ribeirão Preto. Uma rotina computacional para a análise harmônica de uma série temporal de imagens foi implementada na linguagem Python (<http://www.python.org/>), com o auxílio das bibliotecas Numpy (<http://numpy.scipy.org/>) e GDAL (<http://www.gdal.org/>). A rotina possibilita a obtenção das imagens de amplitude e fase dos termos da transformação de Fourier (algoritmo *Fast Fourier Transform* - FFT) a partir de uma série temporal de imagens raster no formato GeoTiff.

A região de Ribeirão Preto, SP, (lat 21°12'S lon 47°48'O, Modis tile h13v11) foi escolhida como área teste por apresentar boa diversidade de cobertura vegetal (cana-de-açúcar, culturas anuais, silvicultura e remanescentes florestais). Foram obtidas 23 imagens da composição de 16 dias do NDVI, com resolução espacial de 250 m, sensor MODIS (produto MOD13Q1) do ano de 2005 para a composição da série temporal. As imagens, disponibilizadas no formato HDF e projeção Sinusoidal pelo *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) (<ftp://e4ftl01u.ocs.nasa.gov/>), foram convertidas para o formato GeoTiff, com sistema de coordenadas geográficas, utilizando o pacote computacional *Modis Reprojection Tool* (<http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp>)

O produto MOD13Q1 (<http://igskmncnwb001.cr.usgs.gov/modis/mod13q1v5.asp>) fornece imagens compostas de 16 dias dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS, com 250 m de resolução, a bordo do satélite TERRA. Além de georreferenciadas e com correções atmosféricas, o produto também apresenta informações de qualidade da imagem como contaminação por nuvens, sombras, falhas no sensor etc. O mesmo produto também é fornecido para o sensor a bordo do satélite AQUA, sendo designado MYD13Q1. Uma particularidade dos produtos de 16 dias do sensor MODIS a bordo dos satélites TERRA e AQUA é que a data inicial da composição entre os satélites é defasada, ou seja, as composições TERRA se iniciam do dia 1° enquanto que as AQUA, no dia 9. Assim, é possível mesclar os dados do TERRA e AQUA e obter uma série temporal mais completa.

A série temporal utilizada foi de um ano, portanto, as imagens de amplitude e fase da primeira componente harmônica de Fourier representam a oscilação anual. Já a segunda e terceira componentes representam as oscilações semestrais e quadrimestrais. Caso a série temporal utilizada fosse mais longa, as componentes representariam outras frequências. A imagem amplitude da componente 0 representa a média da série temporal, enquanto sua imagem fase é, por definição, igual a 0.

Foram geradas as imagens de amplitude e fase dos três primeiros termos (ou componentes), além da imagem amplitude do termo 0 (termo aditivo). Neste trabalho apenas as imagens de amplitude foram consideradas.

Resultados e discussão

O comportamento oscilatório dos termos associa-se aos ciclos produtivos, determinados pelo manejo das coberturas vegetais e pela flutuação estacional da atividade fotossintética. Nas imagens de amplitude apresentadas, valores elevados, que representam grande variação do NDVI, estão representados em branco. Áreas com baixa amplitude aparecem em tons escuros e preto. Na imagem de amplitude da componente 0 são identificadas diversas feições, como as áreas urbanizadas e extensas superfícies com água, com valores baixos de NDVI. Também são identificadas áreas de silvicultura e remanescentes florestais, onde o NDVI se mantém elevado ao longo do ano. Já áreas com culturas agrícolas aparecem com um valor de NDVI intermediário pois estão cobertas com vegetação em apenas uma parte do ano (Figura 4). A imagem composta do sensor TM, satélite Landsat 5, da mesma área é apresentada a fim de facilitar a compreensão (Figura 5).

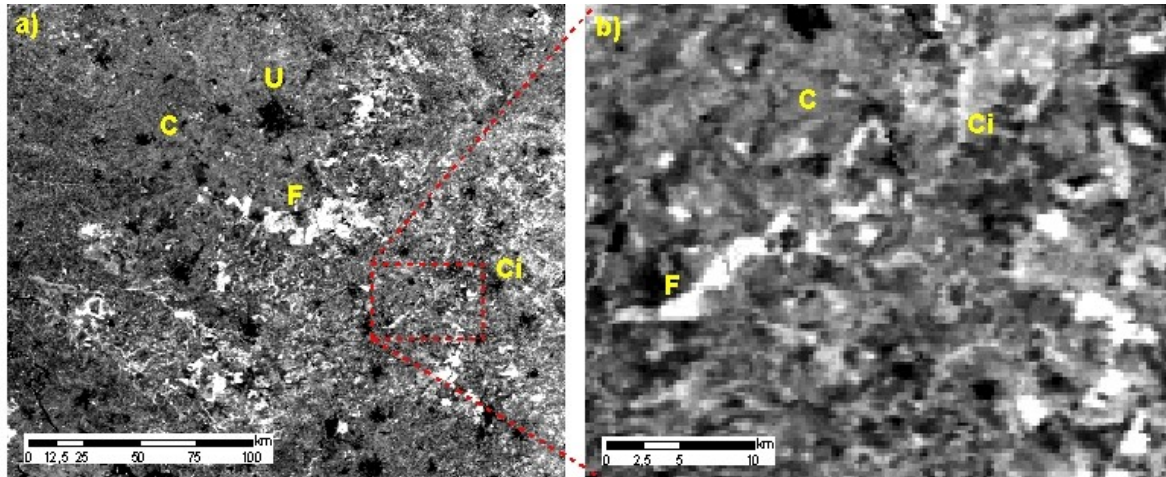


Figura 4. a) Amplitude da componente 0, correspondente a média anual do NDVI para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F) aparecem com baixa amplitude anual, bem como culturas irrigadas (Ci), com oscilação semestral. Áreas com cana-de-açúcar (C) aparecem em destaque.

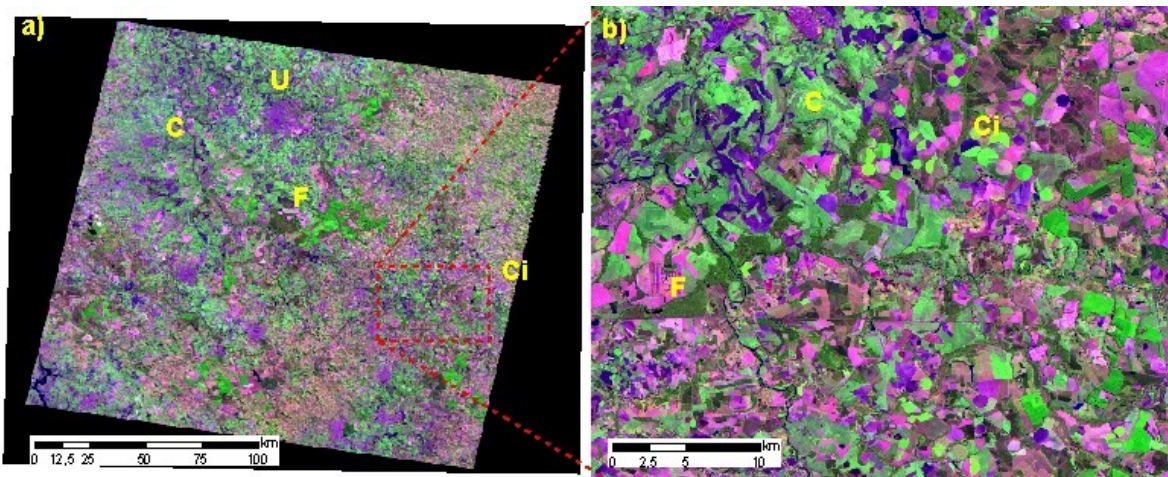


Figura 5. a) Imagem composta colorida (5,4,3), Landsat TM5, para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar.

Na primeira componente temos a representação dos fenômenos com oscilações anuais (Figura 6). Coberturas com pouca ou nenhuma variação do NDVI ao longo do ano aparecem com valores muito baixos, independentemente do valor médio de NDVI. Desta forma, tanto áreas urbanizadas e superfícies de água, quanto remanescentes florestais e silviculturas apresentam baixa amplitude. Áreas agrícolas com variação anual de NDVI apresentam amplitude mais elevada, como pode ser visto nas áreas de cana-de-açúcar.

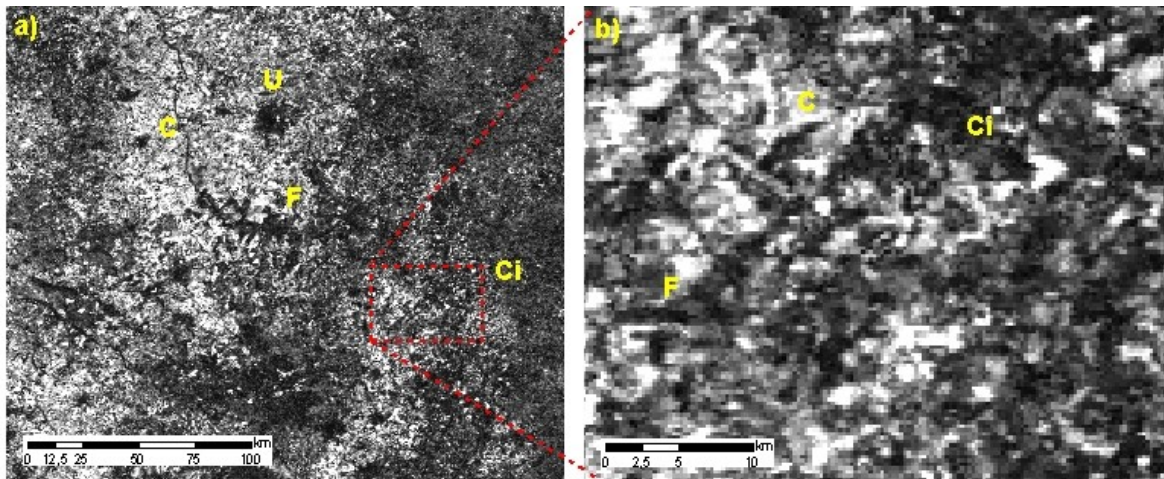


Figura 6. a) Amplitude da componente 1, correspondente a oscilação anual do NDVI para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F) aparecem com baixa amplitude anual, bem como culturas irrigadas (Ci), com oscilação semestral. Áreas com cana-de-açúcar (C) aparecem em destaque.

A segunda componente harmônica representa oscilações semestrais (Figura 7). Nesta, áreas com baixa variação de NDVI ao longo do ano ou apenas variação com ciclo longo (12 meses) apresentam baixa amplitude. É o caso das áreas com cana-de-açúcar que apresentam apenas uma variação anual de NDVI. Coberturas com oscilações de NDVI de seis meses apresentam maior amplitude, identificando outras culturas anuais como soja, milho, feijão etc. É importante ressaltar que, caso a cobertura apresente dois ciclos regulares (duas safras no ano), a maior parte da variação do NDVI será captada na segunda componente, sendo que a amplitude da primeira componente será baixa. Porém, caso a cobertura apresente apenas um ciclo curto (uma safra de seis meses seguida de pousio), serão identificados sinais na primeira e segunda componentes. Isto porque um sinal com apenas uma oscilação curta no ano é decomposto pela transformação de Fourier em uma oscilação anual e uma semestral, enquanto que duas oscilações ao longo do ano é explicado apenas pela segunda componente.

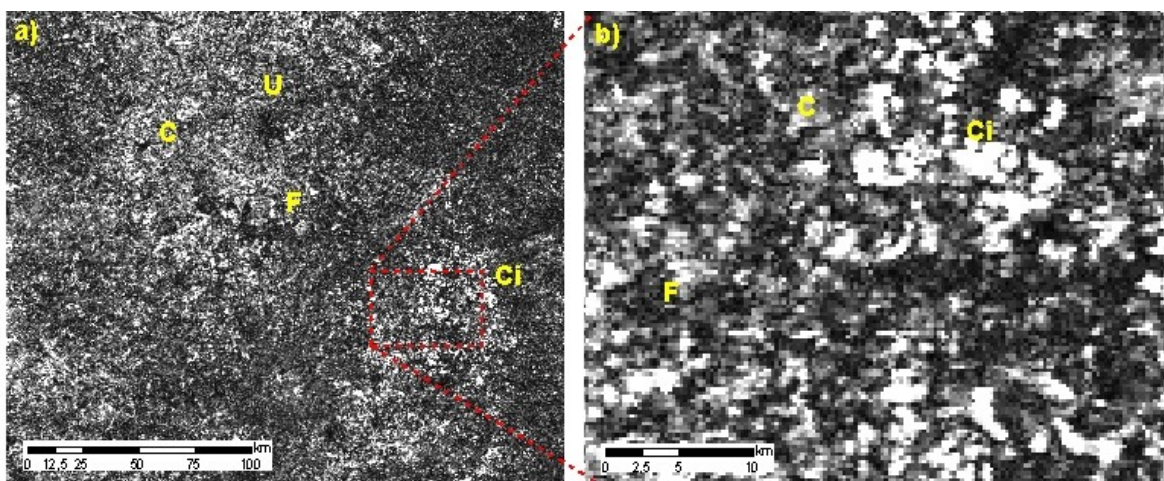


Figura 7. a) Amplitude da componente 2, correspondente a oscilação semestral para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e áreas florestais (F) aparecem com baixa amplitude anual e áreas com cana-de-açúcar (C) com valores intermediários. Áreas com culturas irrigadas (Ci) aparecem em destaque.

A terceira componente representa oscilações mais curtas (quadrimestrais). Como coberturas vegetais raramente apresentam oscilações curtas e constantes, esta componente não traduz nenhum fenômeno natural comum. No entanto, a análise de Fourier se baseia na decomposição de uma série temporal em séries harmônicas, e a

terceira componente tem papel importante no ajuste da série temporal, quando esta é recomposta a partir dos diversos harmônicos.

A composição colorida RGB a partir das amplitudes das componentes 1, 0 e 2 auxilia na compreensão (Figura 8). Locais escuros na imagem significam áreas em que o NDVI se manteve baixo e sem oscilações durante toda a série temporal (urbanizações e superfícies de água). Tons verdes mostram áreas em que o NDVI se manteve elevado durante toda a série temporal porém com pouca variação (remanescentes florestais e silvicultura). Culturas com um ciclo longo, como a cana-de-açúcar, aparecem em tons de rosa enquanto que áreas onde são feitas duas safras no ano aparecem em cores azuis intensas (regiões com irrigação por pivô central, por exemplo). Áreas com culturas com um ciclo curto no ano apresentam tonalidades intermediárias entre vermelho e azul (componentes 1 e 2). Coberturas como pastagem, em que a variação do NDVI não é tão intensa ao longo do ano, também apresentam coloração intermediária entre os harmônicos 0 e 1.

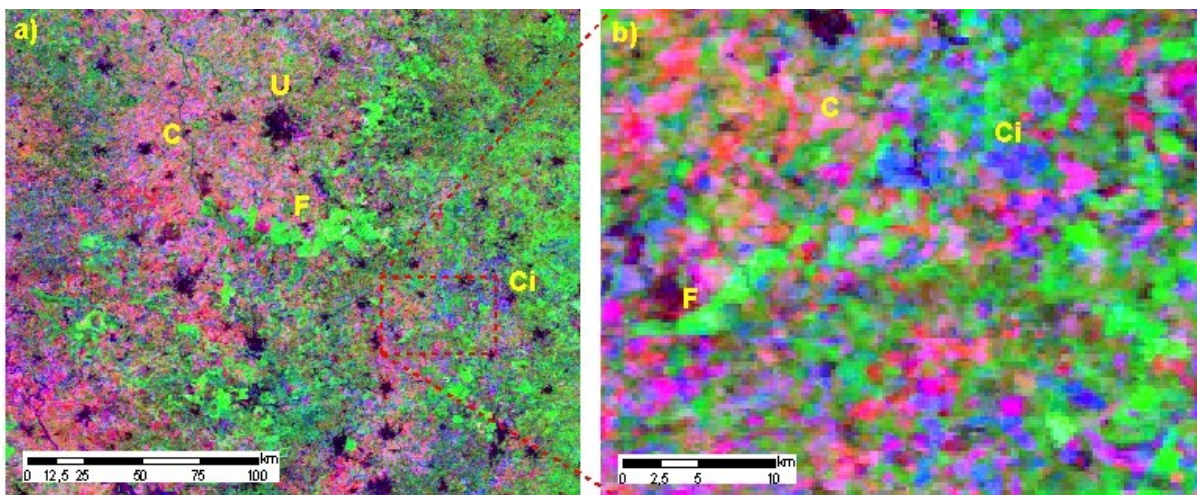


Figura 8. a) Composição colorida RGB com as amplitudes 1, 0, 2 para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. Urbanizações (U) e superfícies de água aparecem escuras. Áreas florestais (F) aparecem em tom verde brilhante, enquanto tonalidades menos acentuadas de verde representam pastagens e pixels com mistura espectral. A cana-de-açúcar (C) sobressai em tons avermelhados. Culturas irrigadas (Ci) aparecem em tonalidade azul.

A partir de imagens de apenas uma data, dificilmente são identificadas a cobertura vegetal das áreas que estão com solo exposto no momento de aquisição da imagem. A utilização de séries temporais não está sujeita a este problema pois a informação utilizada não se trata da cobertura em um instante no tempo, mas sim de sua variação ao longo do período de estudo, mais associada ao uso que a uma condição momentânea da cobertura vegetal.

As imagens de amplitude foram utilizadas em uma classificação supervisionada exploratória, a fim de identificar as principais dificuldades. Por usarmos apenas informações de NDVI, algumas confusões são esperadas, como urbanização com superfície de água e remanescentes florestais com silvicultura e cerrados fechados. A identificação de pastagens também se mostrou difícil e sujeita à confusão com pixels de mistura espectral, porém isso pode ser devido à baixa resolução espacial do sensor ou ao pequeno número de amostras de treinamento utilizadas na classificação exploratória (Figura 9).

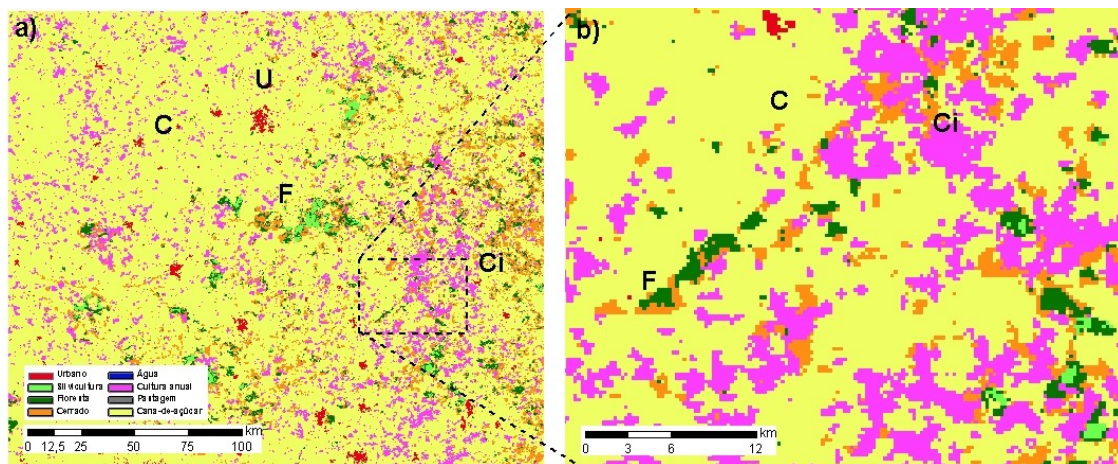


Figura 9. a) Classificação supervisionada das imagens de amplitude e fase para a região de Ribeirão Preto e b) detalhe em área com culturas anuais irrigadas, silvicultura e cana-de-açúcar. As principais confusões na classificação ocorreram em áreas com remanescentes florestais, cerrados e silvicultura.

Conclusões

As séries temporais de imagens de satélite, principalmente dos índices de vegetação NDVI e EVI, permite utilizar a expressão temporal das características fenológicas e de manejo das coberturas vegetais na classificação do uso e cobertura da terra.

As imagens do sensor MODIS se mostram adequadas a esta aplicação pois apresentam baixo custo de aquisição, elevada resolução temporal, boa espacial espacial, quando utilizada para grandes regiões, e elevado controle de qualidade.

A metodologia de Fourier foi capaz de identificar os diferentes ciclos agrícolas, separando as culturas de curta duração (culturas anuais) das de longa duração (cana-de-açúcar). No entanto, a identificação das áreas de floresta nativa, silvicultura e pastagens mostrou-se mais difícil. O uso de metodologias que calculem índices fenológicos, como início de ciclo, taxa de crescimento, duração do ciclo entre outros, pode solucionar tais problemas.

As imagens de fase não foram tratadas neste trabalho, porém estas também contêm informações úteis. A fase identifica o instante no tempo em que os harmônicos de cada componente atingem o valor máximo e mínimo, o que pode ser um indicativo da época de maturação e colheita da cultura.

O uso de séries temporais de imagens de satélite apresenta uma alternativa na classificação do uso e cobertura do solo. Tal abordagem pode contar com considerável grau de automação, possibilitando o mapeamento de áreas extensas, principalmente quando se leva em consideração o baixo custo de aquisição das imagens.

Além da classificação da cobertura, as séries temporais permitem obter informações quanto ao desenvolvimento fenológico das culturas, que podem ser utilizados como indicadores de produtividade ou na avaliação de danos e estimativa de quebra de safra. Tal ferramenta seria parte indispensável em um sistema de monitoramento da produção agrícola nacional.

Referências

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, VA, v. 67, n. 4, p. 461-470, 2001.

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, US, v. 37, p. 127-139, 2002.

JÖNSSON., P; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, US, v. 40, n.8, p. 1824-1832, 2002.

JONATHAN, M.; MEIRELLES, M. S. P.; BERROIR, J. P.; HERLIN, I. Considerações para o monitoramento do uso do solo com dados modis para longos períodos e em escala regional, e sua aplicação na bacia do Alto Taquari, ms/mt. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, RJ, n. 59, abril, 2007.

LACRUZ, M. P.; SANTOS, J. R.; CONFORTE, J. C. Utilização de séries temporais de imagens MODIS/TERRA e análise harmônica para o monitoramento de corredores ecológicos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 12, 2005. Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3223-3228. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2005/02.12.16.31/doc/capa.htm>>. Acesso em: 6 nov. 2008

LACRUZ, M.P., SANTOS, J.R. Monitoramento da paisagem de unidades de conservação. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007. p.173-183.

PETTORELLI, N.; VIK, J. O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J. M.; TUCKER, C. J.; STENSETH, N. C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. **TRENDS in ecology and evolution**, Amsterdam (NL), v. 20, n. 9, 2005.

WARDLOW, B.D.; EGBERT, S.L.; KASTENS, J.H. Analysis of time-series MODIS 250 m vegetation index data for crop classification in the U.S. Central Great Plains. **Remote Sensing of Environment**, New York, US, v. 108, p 290-310, 2007.

YU, X.; ZHUANG, D., CHEN, H. HOU, X. Forest classification based on MODIS time series and vegetation phenology. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, **IGARSS'04**. 2004, [S.I.]. **Proceedings...** [S.I.]: **IGARSS**, v. 4, set. 2004. p. 2369-2372.



Monitoramento por Satélite

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Av. Soldado Passarinho 303 Fazenda Chapadão
13070 115 Campinas SP
Telefone (19) 3211 6200 Fax (19) 3211 6222
www.cnpm.embrapa.br sac@cnpm.embrapa.br