

Composições multitemporais NDVI baseadas em imagens MODIS para detecção da colheita da cana-de-açúcar

Daniel Alves de Aguiar¹; Bernardo Friedrich Theodor Rudorff¹; Wagner Fernando da Silva¹; Yosio Edemir Shimabukuro¹; Rodrigo Rizzi²

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR - Av. dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja São José dos Campos, São Paulo - 12.227-010 - Brasil
{daniel, bernardo, wagner, yosio}@dsr.inpe.br

² Universidade Federal de Pelotas – UFPel Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – FAEM, Departamento de Engenharia Rural – DER Campus Universitário - Capão do Leão, RS – 96.160.000
drrizzi@gmail.com

Palavras chave: sensoriamento remoto; MODIS; índices de vegetação; pixels puros.

O produto MOD13Q1 do sensor MODIS contém dois índices de vegetação produzidos globalmente: *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Os dados de entrada para geração destes índices são os produtos MOD09A. O critério de composição dos *pixels* do produto MOD13Q1 varia em função do número de imagens livres de nuvens disponíveis dentro do período da composição. Um dos métodos faz uso do modelo *Bidirectional Reflectance Distribution Function*, enquanto o método alternativo (*backup*) é denominado *Constraint View angle Maximum Value Composite* (CV MVC). Em termos práticos, a seleção dos *pixels* em regiões tropicais e subtropicais é condicionada ao método CV – MVC, devido à presença constante de nuvens, pois mesmo que para o cálculo da refletância seja levado em consideração o modelo BRDF, os *pixels* com maior valor de NDVI dentre as observações disponíveis são eleitos na etapa final de composição. Como consequência, a identificação das áreas com baixos valores de índices de vegetação é prejudicada. As áreas de cana-de-açúcar colhida apresentam baixos valores de NDVI e a criação de uma metodologia de monitoramento da colheita prevê a rápida identificação destas áreas. Este trabalho apresenta um algoritmo de seleção dos *pixels* de composições multitemporais para detecção da colheita da cana (MODCSH). Foram utilizadas imagens NDVI diárias e composições 16 dias para criação de novas composições sobre as quais foram aplicadas técnicas de processamento de imagens. Para validação dos resultados foram utilizadas imagens de média resolução espacial e dados de campo. Os melhores resultados da estimativa de área colhida foram obtidos com a subtração entre as composições MODCSH em datas subseqüentes, que estimou 95,2% da área de referência com $r = 0,95$ (para regressão entre as datas de colheita reais e as datas de colheita estimadas). Por fim, a metodologia apresentada para detecção da colheita da cana foi satisfatória.

INTRODUÇÃO

A diferença espectral entre áreas díspares pode ser nítida ou sutil em imagens de sensores orbitais. Em particular as áreas agrícolas podem apresentar uma vasta gama de particularidades que influenciam na resposta espectral, como diferentes tipos de culturas, tipos de plantio, estágios de desenvolvimento e modos de manejo. Fatores como resolução espacial e condições de iluminação também influenciam diretamente a distinção de áreas agrícolas em imagens de sensoriamento remoto. Diversas técnicas são utilizadas para facilitar a identificação de alvos em imagens orbitais, entre as quais estão os índices de vegetação. O índice de vegetação mais utilizado é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

O produto MOD13Q1 do sensor MODIS disponibiliza, além do NDVI, o *Enhanced Vegetation Index* (EVI). Esses índices são gerados a partir dos dados de refletância de superfície, produto MOD09A, e usa-se um critério de seleção de *pixels* em imagens obtidas diariamente num período regular de 16 dias. O critério de composição dos *pixels* do produto MOD13Q1 varia em função do número de imagens livres de nuvens disponíveis dentro do período da composição. O principal método faz uso do modelo *Bidirectional Reflectance Distribution Function* (BRDF), enquanto o método alternativo

(*backup*) é denominado *Constraint View angle Maximum Value Composite* (CV-MVC; LEEUWEN *et al.*, 1996). Em termos práticos, quando no período da composição há cinco ou mais imagens com nuvens, usa-se o método CV-MVC (Huete *et al.*, 1999). Dessa forma, as regiões tropicais e subtropicais ficam praticamente condicionadas a este método (MIURA *et al.*, 2000; GAO e HUETE, 2003; CHUVIECO *et al.*, 2005; ANDERSON *et al.*, 2005; JIN e SADER, 2005).

A produção de cana-de-açúcar caracteriza-se por uma estreita relação agricultura-indústria e a informação sobre a área de cana colhida tem fundamental importância neste contexto. A programação de funcionamento das usinas é determinada pela evolução da colheita e pela quantidade de cana ainda disponível no campo. Chuvas contínuas e longos períodos de seca podem impedir a colheita e influenciar a disponibilidade de matéria prima para a produção de açúcar e de álcool e, por consequência, os estoques destes produtos para comercialização no mercado interno e externo. Devido às condições favoráveis de relevo e tipo de solo, o cultivo da cana-de-açúcar no Brasil está concentrado nas regiões tropicais e subtropicais. Assim, a composição dos produtos MOD13Q1 fica condicionada ao método CV-MVC, que prioriza os maiores valores de NDVI nas imagens disponíveis. Áreas de cana colhida apresentam baixos valores de NDVI, independente do modo de colheita, o que torna difícil a sua identificação nas imagens NDVI do produto MOD13Q1 em decorrência do modo de seleção dos *pixels*.

Neste contexto, este trabalho propõe uma alteração na metodologia de escolha dos *pixels* das composições NDVI, com base nas imagens MODIS, para a detecção da colheita da cana-de-açúcar a fim de possibilitar o monitoramento da colheita ao longo da safra.

MATERIAIS E MÉTODOS

O Estado de São Paulo localiza-se aproximadamente entre os paralelos 19° 50'S e 24° 30'S. e os meridianos 44° 00'O e 53° 30'O, na região o sudeste do Brasil, e tem uma área de 248.209,4km². A cana-de-açúcar está concentrada na região centro-norte e oeste do Estado, com maior área ao longo dos meridianos 46° 30'O e 49° 30'O e dos paralelos 20° 00'S e 21° 50'S, 22° 20'S e 23° 20'S.

Neste trabalho foram utilizadas as composições multitemporais de NDVI oriundas do produto MOD13Q1 (aqui denominadas MODC) para toda a época de colheita a partir do dia do ano 81 até o dia 353. Para este mesmo intervalo de dias foram adquiridas as imagens de refletância de superfície diária (MOD09GQK; bandas 1 e 2) com o intuito de criar as novas composições NDVI propostas neste trabalho, denominadas MODCSH.

Um mapa temático produzido por Rudorff *et al.* (2004), foi utilizado para restringir o monitoramento das áreas de cana colhidas às áreas de cana disponíveis para colheita na safra de 2004.

As imagens MODCSH, para detecção e monitoramento do corte da cana, foram geradas com o uso das imagens MODC e de refletância diária. Na geração dessas imagens substituiu-se um dos critérios de seleção dos *pixels* adotados pela NASA na composição dos produtos MOD13Q1. Em vez de selecionar os *pixels* com os maiores valores de NDVI (CV - MVC), foram selecionados os *pixels* de uma faixa de valores de NDVI que representavam as áreas de cana-de-açúcar colhida, contidos em uma janela temporal móvel. A definição desta faixa de valores foi baseada na análise de *pixels* "puros", ou seja, *pixels* com sua área ocupada inteiramente por cana e compreendidos, em sua totalidade, dentro de um único talhão. A avaliação do comportamento do NDVI de cada um destes *pixels* durante toda a safra permitiu o estabelecimento da faixa de valores que representavam a cana colhida.

Para evitar que *pixels* com valores de NDVI espúrios (ruídos, presença de nuvens e faixas não imageadas) fossem selecionados, optou-se por considerar também, no momento da escolha, os valores do *pixel* em datas subseqüentes (Figura 1). Vale ressaltar que o tamanho da janela temporal móvel (3x1) utilizada para a composição das imagens MODCSH foi definido por meio da análise dos valores diários de NDVI. A

freqüência dos ruídos e dos valores espúrios de forma geral foi um dos critérios, bem como a taxa de aumento nos valores de NDVI para as áreas colhidas.

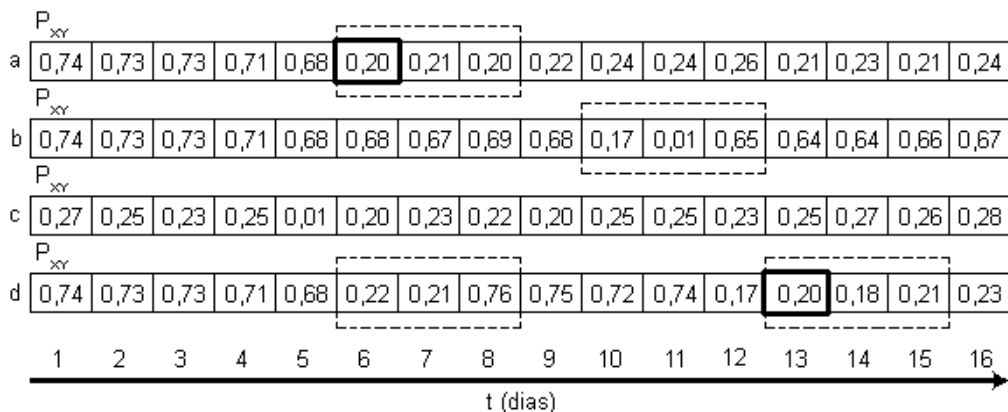


Figura 1. Janela temporal utilizada como critério para seleção de pixels na composição MODCSH.

A área colhida de cana foi estimada pela subtração de imagens NDVI de datas posteriores e dadas anteriores, tanto para as imagens MODC quanto para as MODCSH. Para facilitar a interpretação, as imagens resultantes foram transformadas em imagens de diferença percentual, nas quais os valores dos *pixels* correspondem, em porcentagem, à diminuição ou aumento de NDVI e, em última instância, a perda ou ganho de biomassa pela cultura, como consequência da senescência ou da colheita propriamente dita. A criação das *imagens diferença percentual* teve como objetivo evitar que talhões de cana não colhidos, mas com pouca biomassa e com baixos valores de NDVI, fossem erroneamente selecionados como talhões já colhidos.

Por fim, foi estabelecido um limiar de queda de NDVI, que representasse a colheita da cana-de-açúcar, e aplicado às imagens diferença percentual, gerando os mapas de cana colhida para cada uma das datas/composições. Após a criação destes mapas foi elaborado um único mapa temático (mosaico), onde as classes representaram a cana colhida nos diferentes períodos de análise. O somatório dos pixels de cada classe determina a área colhida em cada período.

Validação e comparação da técnica de estimativa de área

Para validar a técnica de estimativa de área aplicadas sobre as imagens MODC e MODCSH foram utilizados os dados da usina Catanduva e um conjunto de 51 *pixels puros* selecionados, além da área de cana colhida apontada por Rudorff *et al.* (2004) em escala estadual e municipal. Os talhões de responsabilidade desta usina concentram-se na região centro-norte do Estado de São Paulo. Todos os talhões estão georreferenciados e possuem dados referentes às datas de plantio e de colheita. Dentre os 51 *pixels* selecionados, 9 foram excluídos da validação por não conterem informação sobre a data da colheita, restando 42 *pixels*.

As datas de colheita foram divididas em classes a fim de ajustá-las à escala de análise da técnica/resolução temporal das composições (Tabela 1). As datas estimadas para os *pixels* analisados foram comparadas às datas de referência da Usina Catanduva, tornando possível avaliar e comparar a qualidade das estimativas.

Tabela 1. Ajustes das escalas para validação das técnicas de estimativa.

Data de colheita (dia do ano)	Período	Data de colheita (dia do ano)	Período	Data de colheita (dia do ano)	Período
097-112	1	193-208	7	289-304	13
113-128	2	209-224	8	305-320	14
129-144	3	225-240	9	321-336	15
145-160	4	241-256	10	337-352	16
161-176	5	257-272	11		
177-192	6	273-288	12		

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação das composições MODCSH

Os valores mínimos e máximos de NDVI para o conjunto de *pixels* das imagens diárias estão ilustrados na Figura 2. Os valores mínimos correspondem às áreas onde a cana foi colhida, com NDVI entre 0,15 e 0,40. Os valores máximos indicam áreas de cana em pé com altos valores de NDVI, em torno de 0,75 e 0,90. A análise deste gráfico permitiu estabelecer a faixa de valores de NDVI (entre 0,15 e 0,40) à qual os *pixels* das imagens diárias deveriam pertencer para substituir os *pixels* da composição MODC no processo de composição da MODCSH.

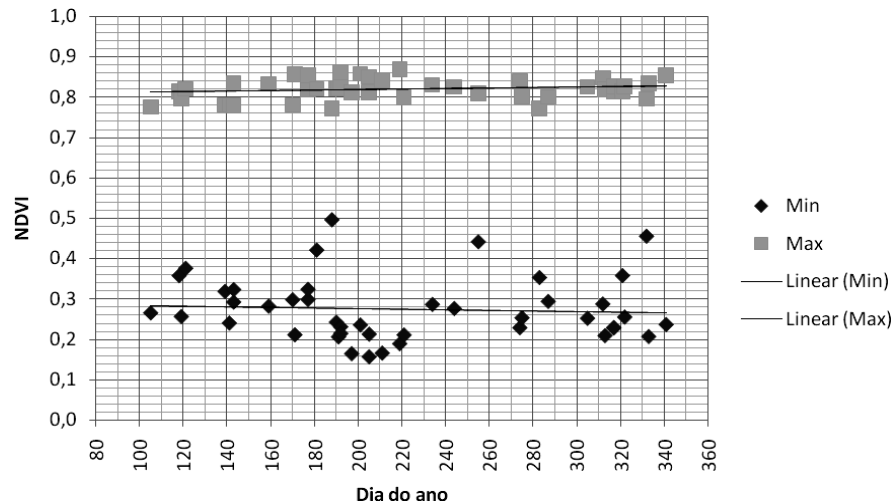


Figura 2. Valores máximos e mínimos de NDVI dos 42 *pixels* puros avaliados na safra de 2004.

O critério de seleção dos *pixels* para composição das imagens MODCSH permite formar uma imagem diferente das imagens MODC, disponibilizadas pela NASA. A mudança de critério para seleção dos *pixels* permite melhorar a precisão temporal das estimativas de área de cana colhida, pois, permite-se a seleção de *pixels* com valores de NDVI dentro de uma faixa de interesse, evitando que somente os *pixels* com altos valores de NDVI, nas imagens diárias, sejam selecionados, como ocorre nas composições de 16 dias das imagens MODC.

A Figura 3 ilustra parte da área do Escritório de Desenvolvimento Regional (EDR) de Ribeirão Preto na composição MODC (Figura 3a) iniciada no dia do ano 225 (12/08/2004), a correspondente composição MODCSH (Figura 3b) e a área em que os valores dos *pixels* foram substituídos, representadas em hachura (Figura 3c).

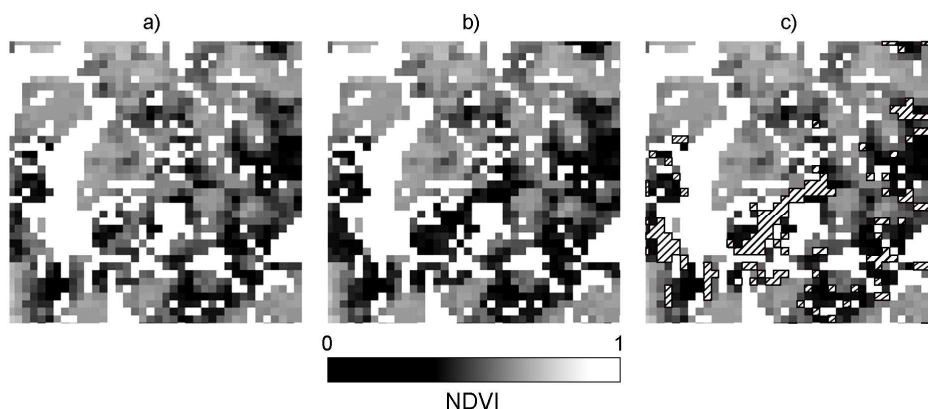


Figura 3. Diferença entre as composições de NDVI. (a) composição MODC; (b) composição MODCSH; e (c) *pixels* alterados (hachura) com sobreposição do tema *não cana* (branco).

As áreas mais escuras correspondem aos menores valores de NDVI, i. e., áreas colhidas. Nota-se que os *pixels* alterados, em geral, circundam estas áreas. Este fato foi verificado na maioria das áreas das imagens analisadas e indica que a colheita da área de cana

coberta por tais *pixels* se deu em dias subseqüentes aos dias de colheita das áreas mais escuras indicadas na imagem MODC. Esta mesma ordem de idéias é apresentada por Chuvieco *et al.* (2005) em seu trabalho de mapeamento de áreas queimadas, no qual alertam para a escolha de *pixels* de áreas de contato entre queima e não queima, de *pixels* de dias anteriores à queima e até mesmo para seleção de *pixels* contaminados com nuvens (baixos valores de NDVI) em detrimento aos *pixels* de áreas queimadas.

Alguns exemplos que demonstram a capacidade de identificar talhões colhidos nas imagens MODCSH são ilustrados na Figura 4. A diminuição brusca de valores de NDVI indica a colheita da cana. Observa-se, em todos os casos, que para as composições MODCSH, a identificação da colheita da cana ocorreu em datas anteriores em relação às imagens MODC, o que está de acordo com as datas de colheita fornecidas pela usina. Para outra série de *pixels* analisados (15 *pixels*) não houve substituição de valores e o comportamento foi o mesmo para as duas composições em questão.

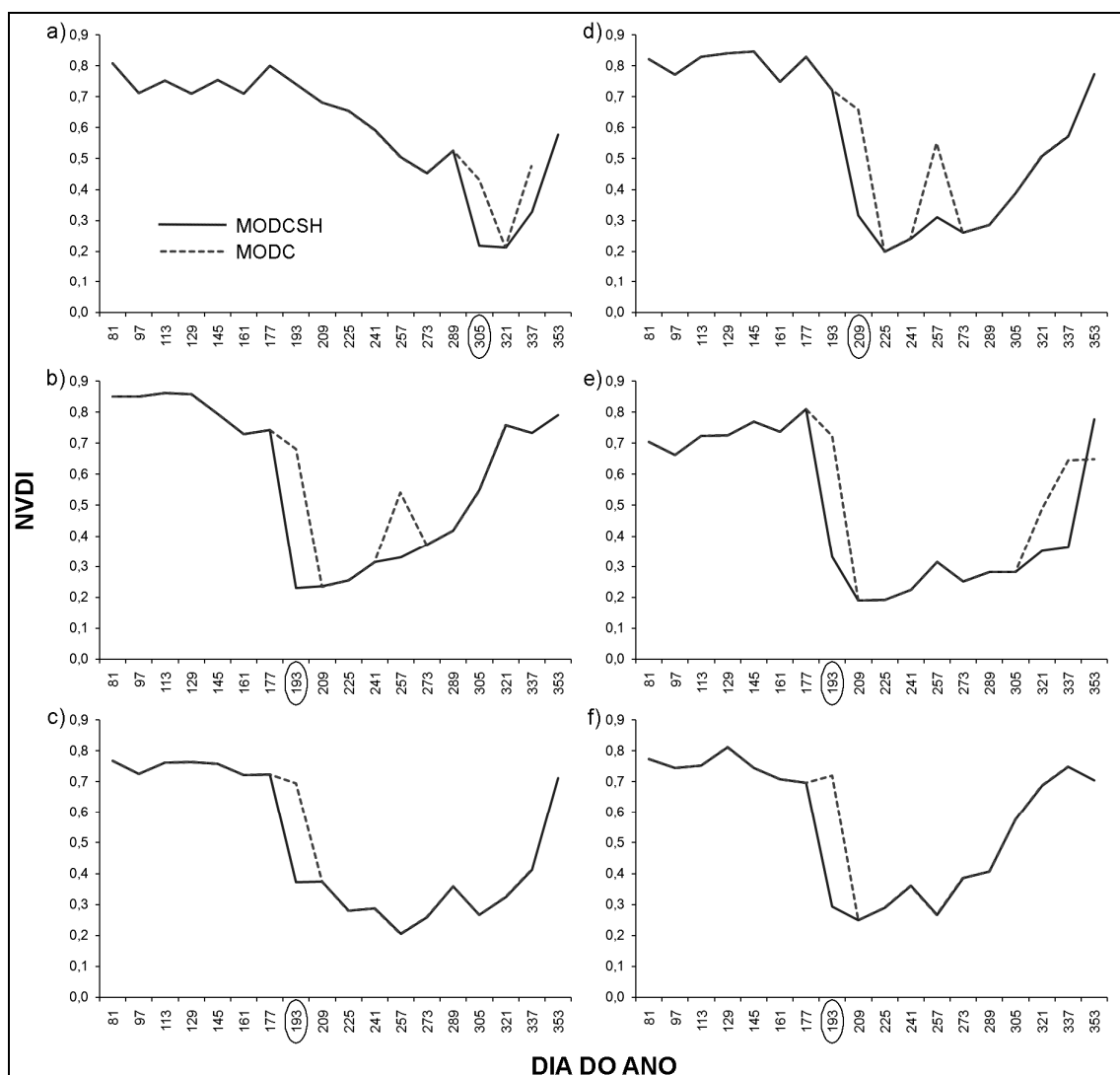


Figura 4. Evolução temporal do NDVI de *pixels* puros de cana em imagens MODCSH e MODC na safra 2004. Na abscissa os dias do ano correspondem à data de início da composição. Os círculos indicam a data de colheita apontada pela usina.

A análise da Figura 4 permitiu enfatizar outro ponto importante no processo de composição das imagens MODCSH, a saber: a janela temporal móvel impediu que valores espúrios fossem selecionados para substituir valores fora da faixa de interesse. Todas as curvas correspondentes às imagens MODCSH foram sobrepostas às curvas das imagens MODC até o momento da colheita e, além disto, picos de valores de NDVI ocorridos após a colheita foram eliminados (Figura 4b e Figura 4d).

Avaliação da estimativa de área

Para avaliar as imagens de perda percentual de biomassa, foram estabelecidos dois limiares de fatiamento: >25% e >23%. Estes limiares indicam a queda de biomassa que determina o momento da colheita e foram estabelecidos ao analisar a diferença percentual entre composições NDVI de áreas de cana sabidamente colhidas com base no dado de referência. Estes limiares diferem do percentual médio de perda de biomassa de pixels puros, que foi de aproximadamente 48%. Essa diferença se justifica porque a maior parte dos pixels da imagem não são puros, pois a baixa resolução espacial das imagens do MODIS faz com que os pixels contenham informação da radiância, tanto de cana colhida, quanto de cana não-colhida, em diferentes proporções, por exemplo, pixels localizados nas bordas dos talhões (LOBELL e ASNER, 2004; JIN e SADLER, 2005; TAN et al., 2006).

Ao avaliar o mosaico final que determina a área colhida em cada período, foram identificados três fases distintas na atividade de colheita, a saber: um período inicial, do início de abril (dia 97 – período 1) até final de julho (dia 208 – período 7), caracterizado pelo aumento gradual da atividade de colheita; uma fase intermediária, do final de julho (dia 209 – período 8) até final de agosto (dia 241 – período 10), caracterizada pelo aumento expressivo da atividade de colheita e uma última fase, iniciada em meados de setembro (dia 257 – período 12), caracterizado pela queda brusca da colheita (Figura 5).

A fase intermediária coincide com a época seca, onde as chuvas de longa duração são escassas. Nesta fase, para as atividades de colheita, as máquinas e os trabalhadores têm acesso facilitado aos talhões. Nos meses de outubro, novembro e dezembro a frequência das chuvas de longa duração é maior dificultando o acesso aos talhões. Na safra em questão, o aumento das precipitações de longa duração na segunda quinzena de setembro impediu a colheita (AGUIAR et al., 2007).

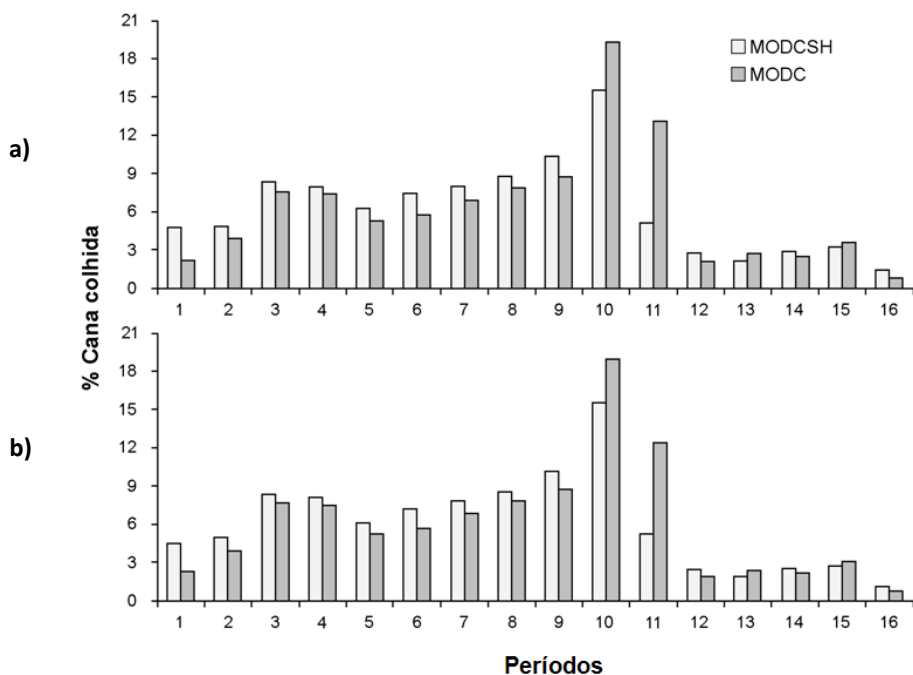


Figura 5. Porcentagem de área de cana colhida determinada pelo fatiamento com limiar de 25% (a) e 23% (b), aplicado sobre composições e imagens proporção MODCSH e MODC.

Esta periodicidade é constatada em ambas as composições multitemporais, todavia, nas estimativas baseadas nas composições MODCSH o percentual de área de cana colhida no período intermediário é menor. A maior possibilidade de encontrar *pixels* com altos valores de NDVI no início da safra causou a identificação tardia dos talhões de cana colhida nas imagens MODC e, conseqüentemente, o acúmulo da área colhida em curtos intervalos de tempo.

Quanto às composições, é perceptível a diferença entre os percentuais intervalares de área de cana colhida. Até o final de agosto (período 10), o percentual destas áreas foi maior para as estimativas baseadas nas composições MODCSH (Figuras 5a e 5b). Nos dois períodos seguintes houve uma inversão destes valores e em seguida um equilíbrio até o final da safra. Este comportamento foi similar para os dois limiares de fatiamento. Novamente, a capacidade de tornar evidente o contraste entre as áreas *colhidas* e *não colhidas* em diferentes datas foi o fator preponderante para o aumento da área estimada e a distribuição destas áreas ao longo da safra nas composições MODCSH.

A evolução da colheita teve o mesmo comportamento com base nas duas composições, contudo os montantes de área colhida foram ligeiramente maiores para o limiar de 23%, já que tal limiar é mais abrangente. Ao aplicar este limiar nas composições MODCSH, os montantes de área colhida por período não ultrapassaram 15,5%. Entretanto para composições MODC, o montante do final de agosto e início de setembro chegou a aproximadamente 19%.

O período compreendido entre os dias do ano 257 e 272 (setembro – período 11) apresentou maior discrepância entre as estimativas baseadas nas diferentes imagens, alcançando 12,33% para as composições MODC e apenas 5,21% para as composições MODCSH. A diferença de área colhida está diluída em períodos anteriores e indicou, de acordo com a UNICA (2004) e o CTC (2004), uma evolução da colheita mais condizente com a realidade da safra em questão.

Para a análise em nível municipal tomou-se como dados de referência os valores de área colhida de cana apontada por Rudorff *et al.* (2004). Neste nível de análise percebe-se maior discrepâncias entre as áreas estimadas pelas composições e a referência, do que a nível estadual. A Figura 6 ilustra o erro relativo porcentual por município, entre a área de referência e a área estimada na composição MODCSH fatiada com limiar de 25%. É possível observar uma relação direta entre a área de referência e a área estimada e uma relação inversa entre a área de referência e o erro da estimativa, ou seja, quanto menor a área de cana no município, maior o erro relativo da estimativa de área de cana colhida.

A Figura 6 também evidenciou que os erros de estimativa não ultrapassaram, em média, 15% em municípios com áreas cultivadas maiores que 2.000ha. O desvio padrão (DP) das estimativas de área de cana colhida em municípios com áreas cultivadas menores que 200ha foi de 33 ha. Em municípios com áreas cultivadas menores que 300ha não ultrapassou 17ha. E em municípios com áreas cultivadas menores que 1.000ha o DP não chegou a 10ha.

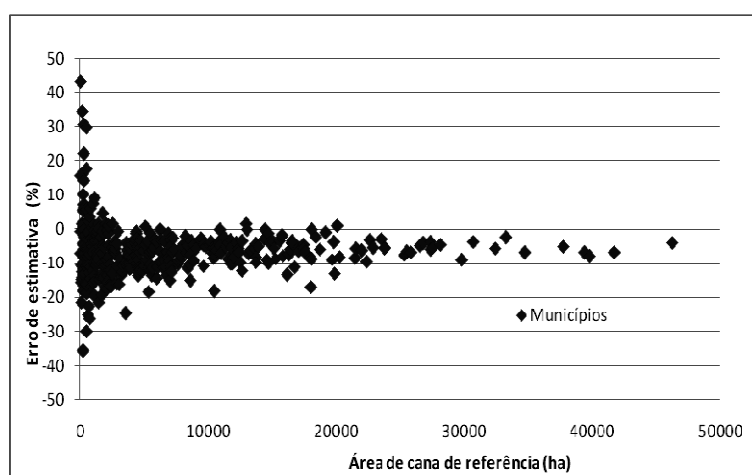


Figura 6. Erros na estimativa de área de cana-de-açúcar colhida obtida por meio da composição MODCSH em relação aos dados de referência, para os municípios do Estado de São Paulo.

Nota-se também que há tendência à subestimação de área, já que 88,2% dos municípios tiveram sua área de cana colhida subestimada pela composição MODCSH. Em contrapartida, alguns municípios tiveram sua área de cana colhida superestimadas em até 100%. Estudos anteriores também sugeriram que mapeamentos de áreas com

imagens de sensores de baixa resolução espacial (p. ex., MODIS/Terra) tendem à subestimação (PAX-LENNEY e WOODCOCK, 1997), em decorrência do efeito de cisalhamento das bordas e da mistura entre as respostas espectrais de áreas menores que o tamanho do *pixel* (PAX-LENNEY e WOODCOCK, 1997; LOBELL e ASNER, 2004; JIN e SADER, 2005).

As Tabelas 2 e 3 resumizam os principais resultados quanto às estimativas de área colhida e permitem uma fácil comparação entre as técnicas de estimativa. Sabidamente sobraram 4% de cana não colhida ao final da safra (cana bisada) em decorrência das chuvas de longa duração (CTC, 2004; UNICA, 2004; AGUIAR et al., 2007). Este percentual foi considerado para avaliação das estimativas, ou seja, subtraído do dado de referência que se refere à área de cana disponível para colheita.

No que tange as composições utilizadas, a maior diferença entre as estimativas de áreas colhidas em relação aos dados de referência, foi encontrada para o limiar de 25% de perda de biomassa, em que a estimativa resultante do uso das composições MODCSH foi aproximadamente 7% maior em relação ao uso das composições MODC. A aplicação do limiar de 23% de perda de biomassa sobre as composições MODCSH subestimou a área em apenas 0,76%, quando foi considerado os 4% de cana bisada.

O teste-t confirmou que todas as estimativas foram consideradas estatisticamente iguais aos dados de referência. Os valores p não foram significativos para $\beta_0 = 0$ e para $\beta_1 = 1$ (1% de nível de significância), conseqüentemente, a hipótese nula foi aceita em ambos os testes. Os valores p do teste de significância da regressão foram aceitos para ambos os limiares, a 1% de nível de significância, rejeitando a hipótese nula.

Tabela 2. Estimativas de área com o uso das imagens MODC e MODCSH.

Limiar	MODCSH			MODC		
	Área estimada (ha)	Diferença quanto à referência (%)	sem cana bisada (%)	Área estimada (ha)	Diferença quanto à referência (%)	sem cana bisada (%)
25%	2.708.967	-6,24	-2,24	2.499.605	-13,50	-9,50
23%	2.751.609	-4,76	-0,76	2.589.869	-10,40	-6,40

Tabela 3. Precisão temporal das técnicas de estimativa de área.

Limiar	Imagem	Estimativas			Total	Pixels não estimados	% acertos	R
		Acertadas	Prévias	Tardias				
23%	MODCSH	20	7	14	41	1	48,8	0,94
	MODC	8	9	21	38	4	21,1	0,93
25%	MODCSH	20	7	13	40	2	50,0	0,95
	MODC	11	9	19	39	3	28,2	0,93

A Tabela 3 permite avaliar a precisão temporal da técnica de estimativa de área. Para a composição MODCSH houve 20 acertos para ambos os limiares utilizados, o que representa 48,8% e 50% dos pixels estimados com os limiares de 23% e 25%, respectivamente. O limiar de 23% aplicado sobre as composições MODC resultou na não estimativa da data de colheita de 4 *pixels* e obteve apenas 21,1% de acertos. Os maiores coeficientes de correlação foram obtidos pelos limiares de perda de biomassa aplicados sobre as composições MODCSH, sejam eles: 0,95 e 0,94, para 25% e 23%, respectivamente.

As composições MODCSH possibilitaram, independentemente do limiar empregado, maiores percentuais de acerto das datas de colheita. Este resultado aponta para o uso futuro destas composições em um sistema operacional de monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. A metodologia desenvolvida para criação de tais composições é simples e está atrelada à disponibilidade das imagens diárias de refletância e composições 16 dias de NDVI do sensor MODIS, bem como do mapa da área plantada da safra em questão. A gratuidade de distribuição destas imagens e o uso de softwares com o mesmo status garantem o baixo custo da metodologia.

CONCLUSÕES

- 1) É possível monitorar a colheita de cana-de-açúcar com imagens do sensor MODIS desde que se tenha um mapa com as áreas de cultivo;
- 2) As composições MODCSH se mostraram apropriadas para a detecção da colheita da cana-de-açúcar, pois evidenciaram as áreas colhidas ao longo da safra e aumentaram a precisão das estimativas das datas de colheita.
- 3) A aplicação do limiar de perda de biomassa sobre as composições MODCSH resulta nas melhores estimativas da área de cana colhida. O limiar de 25% resulta na melhor estimativa das datas de colheita, enquanto o limiar de 23% obtém a melhor estimativa da área colhida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; FEITOSA, F. F.; GONÇALVES, F. G.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R. Análise espacial da colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: a influência da precipitação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIII, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos, 2007, INPE.
- ANDERSON, L.O.; SHIMABUKURO, Y.E.; ARAÍ, E. Multitemporal fraction images derived from Terra MODIS data for analyzing land cover change over the Amazon region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 11, p. 2251-2257. June 2005.
- CHUVIECO, E.; VENTURA, G.; MARTÍN, M.P.; GÓMEZ, I. Assessment of multitemporal compositing techniques of MODIS and AVHRR images for burned land mapping. **Remote Sensing of Environment**, v. 94, p. 450-462. Feb. 2005.
- Centro de Tecnologia Canaveira (CTC). **Notícias**. Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.ctcanaveira.com.br>>. Acesso em: 25 de Out. de 2005.
- GAO, X.; HUETE, A. R. Multisensor comparisons and validation of MODIS vegetation indices at the semiarid jornada experimental range. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, n. 10. Oct. 2003.
- HUETE, A; JUSTICE. C.; LEEUWEN, W. V. **MODIS Vegetation Index (MOD 13) Algorithm Theoretical Basis Document**, 1999. Disponível em:<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf> Acesso em: Jan. 2006.
- JIN, S.; SADER, S. A. MODIS time-series imagery for forest disturbance detection and quantification of patch size effects **Remote Sensing of Environment**, v. 99, n 4, p. 462-470. Dec. 2005.
- LEEUWEN, W. J. D.; HUETE, A. R.; JIA, S.; WALTHALL, C. L. Comparison of vegetation index compositing scenarios BRDF versus maximum VI approaches. In: **IEEE-IGARSS**. Lincoln, Nebraska, p. 1423-1425. 1996.
- LOBELL, D. B.; ASNER, G. P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n 3, p. 412 – 422. Nov. 2004.
- MIURA, T.; HUETE, A. R.; YOSHIOKA, H. Evaluation of sensor calibration uncertainties on vegetation indices for MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 38, n. 3, p?. May. 2000.
- PAX-LENNEY, M.; WOODCOCK, C. E. Monitoring agricultural lands in Egypt with multitemporal Landsat TM imagery: how many images are needed? **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 522-529. Mar. 1997.
- RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C. **Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005**. São José dos Campos. INPE, 2004. 54 p. (INPE-11421-RPQ/762).
- TAN, B.; WOODCOCK, C. E.; HU, J.; ZANG, P.; OZDOGAN, M.; HUANG, D.; YANG, W.; KNYAZINKHIN, Y.; MYNENI, R.B. The impact of gridding artifacts on the local spatial

properties of MODIS data: Implications for validation, compositing, and band-to-band registration across resolutions. **Remote Sensing of Environment**, v. 105, n. 2, p. 98-114. Nov. 2006.

União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA). **Estatísticas agrícolas**. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br>>. Acesso em: 17 de Nov. de 2005.