

MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DO VIGOR RELATIVO DE FITOMASSA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO MUNICÍPIO DE RIO CLARO (SP) POR MEIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Tatiana PILACHEVSKY¹

Sergio dos Anjos Ferreira PINTO²

Resumo

O presente trabalho discute acerca da utilização de imagens de Sensoriamento Remoto e ferramentas de processamento digital de imagens para o mapeamento e a avaliação do vigor relativo de fitomassa da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP). Foram utilizadas imagens orbitais do satélite CBERS-2B nas passagens de 23/09/08 e 19/04/2009, compreendendo, respectivamente, aos estágios em que a cana-de-açúcar se apresentava em fase de crescimento e estágio adulto pré-colheita. Nessas imagens, foram aplicados procedimentos de processamento digital envolvendo as opções de ampliação linear de contraste, normalização radiométrica, Índice de Vegetação Normalizada (NDVI), e classificação pixel a pixel através do ISOSEG, disponíveis no software SPRING. Como resultado obteve-se o mapeamento da cana-de-açúcar e o mapeamento do vigor relativo de fitomassa no município de Rio Claro em dois cenários distintos. Portanto, o método utilizado para a avaliação do vigor relativo de fitomassa mostrou-se eficiente, no entanto, imagens de média resolução não são as mais adequadas para o mapeamento desta cultura.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Sensoriamento Remoto. Índice de Vegetação. Sistemas de Informações Geográficas.

Abstract

Mapping and evaluation of biomass in force on the culture of sugar cane in the city of Rio Claro (SP) by means of remote sensing techniques

This paper discusses about the use of remote sensing images and digital image processing tools for mapping and assessing the effect of biomass on the sugar cane culture in Rio Claro (SP). Were used satellite images from CBERS-2B-crossing 23/09/08 and 19/04/2009, comprising, respectively, the stages in that the cane sugar is presented in the growth stage and adult stage pre-harvest. In these images, were applied digital processing procedures involving the options of linear expansion contrast, radiometric normalization, Normalized Vegetation Index (NDVI), and classification pixel by pixel by ISOSEG available in the software SPRING. As result, were obtained the mapping of cane sugar and the mapping of effect on biomass in the municipality of Rio Claro in two different scenarios. Therefore, the method used to evaluate the effect on biomass was effective, however, images of medium resolution aren't the most suitable for the mapping of this culture.

Key words: Sugar cane. Remote sensing. Vegetation Index. Geographic Information System.

¹ Geógrafa. Mestranda em Geociências e Meio Ambiente na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - E-mail: tatiana@rc.unesp.br

² Docente do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - E-mail: sanjos@rc.unesp.br

INTRODUÇÃO

O Brasil tem apresentado, nas últimas décadas, grande expansão do setor sucroalcooleiro devido, principalmente, a ampliação da participação do álcool na matriz energética e a construção de novas usinas. Essa expansão passou de 6,8% em 1978 para 13,5% em 2004, fazendo do país o maior produtor e exportador mundial de álcool.

Apesar da expansão das áreas cultivadas com cana-de-açúcar e o desenvolvimento tecnológico do setor sucroalcooleiro, a queimada que antecede o corte manual ainda é uma prática comum no manejo dessa cultura agrícola em diversos setores do território paulista. A justificativa para tal prática concentra-se, principalmente, no fato da agilização do corte manual, na melhoria da segurança do trabalhador rural, na redução de custos com transportes e equipamentos, e até mesmo na melhoria da produtividade (ARBEX, 2001).

As substâncias lançadas na atmosfera com a queima do palhicho da cana são, basicamente, o dióxido de carbono (CO_2); o monóxido de carbono (CO - gás venenoso que não ocorre naturalmente na atmosfera); e o metano (CH_4); e o ozônio (O_3 - que ocorre naturalmente na atmosfera formando uma camada que auxilia na filtragem da radiação ultravioleta, mas que em altas concentrações pode ser nocivo à saúde animal e vegetal).

Observando esses aspectos, Ometto et al. (2005) afirma que "apesar dos benefícios econômicos apresentados pelo setor sucroalcooleiro, alguns aspectos ambientais precisam ser melhorados, sendo que um dos mais importantes é a prática da queimada antes do corte" (p. 2297).

Com os dados expostos acima, e considerando que o Estado de São Paulo é tido como o maior produtor de cana do país segundo dados da safra de 2008/2009 (produção de 346.292.969 toneladas de cana em uma área de 4.445.281 ha - ÚNICA, 2009), tem-se a crescente necessidade de estudos específicos acerca das conseqüências do plantio da cana-de-açúcar para a população, assim como para o meio ambiente.

Para tanto, a utilização de dados de Sensoriamento Remoto e de técnicas de Geoprocessamento, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), tem propiciado mais precisão e agilidade na caracterização e monitoramento da cultura da cana-de-açúcar, possibilitando a identificação, o mapeamento e o monitoramento dos recursos terrestres, dedicados a estudos ambientais (GARCIA, 1982).

Os SIGs apresentam como potencialidades, a geração de mapas com maior agilidade, a criação de representações em 3D; a agilidade na manipulação de dados e sobreposições de mapas temáticos para a elaboração de mapas de síntese; a análise da distribuição espacial de dados e fenômenos, entre outros.

Já no âmbito do Sensoriamento Remoto, várias técnicas estão disponíveis para o tratamento das imagens, destacando-se a aplicação dos índices de vegetação na caracterização da cobertura vegetal. Conforme Campbell (1996) esses índices são valores associados à quantidade de biomassa ou ao vigor vegetativo da cobertura, baseados na intensidade eletromagnética refletida ou emitida pela superfície terrestre, medida por um sistema sensor.

Jensen (2000), afirma a esse respeito que o cálculo dos Índices de Vegetação são importantes em determinadas pesquisas, pois são capazes de maximizar a sensibilidade das plantas a parâmetros biofísicos; normalizar efeitos externos (como ângulo solar, interferências atmosféricas, etc.) a fim de permitir comparações; normalizar efeitos internos; e ser associável a algum parâmetro biofísico mensurável, como a biomassa e o índice de área foliar (IAF).

Considerando os aspectos acima indicados, este trabalho tem como objetivo, mapear e indicar a quantidade de área plantada por cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP), e avaliar o vigor relativo de fitomassa dessa cultura em dois estágios fenológicos, por meio das técnicas de Sensoriamento Remoto e de SIG.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho selecionou-se a área do município de Rio Claro – SP, localizado na porção centro-leste do estado de São Paulo (figura 1). A dominância da cana-de-açúcar como principal atividade agrícola motivou a escolha desse município.

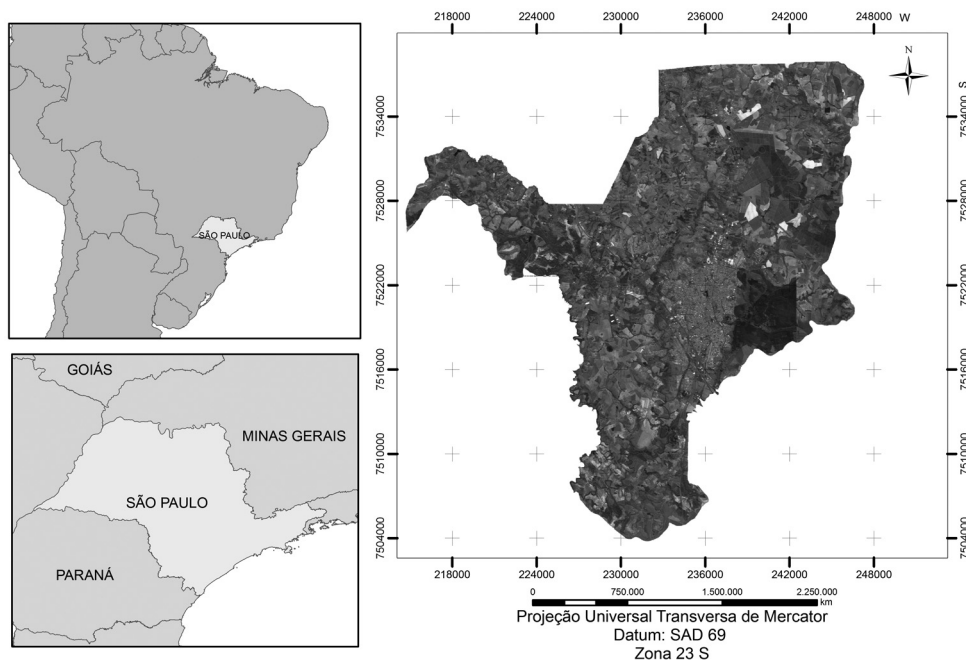


Figura 1 - Localização da área de estudo

Em termos de abordagem metodológica e materiais utilizados, esse trabalho foi estruturado em cinco fases, compreendendo:

- a) Revisão bibliográfica e aquisição de materiais cartográficos e produtos de Sensoriamento Remoto

Como base para o desenvolvimento do trabalho, foram selecionadas imagens de Sensoriamento Remoto do satélite CBERS, nas bandas 2, 3 e 4 da câmera imageadora CCD com resolução espacial de 20 metros, nas passagens de 23/09/08 e 19/04/2009, que correspondem, respectivamente, ao estágio da cana-de-açúcar em fase de crescimento e estágio adulto pré-colheita. Esses produtos foram inseridos em um banco de dados no ambiente do software SPRING.

Além disso, as folhas das cartas topográficas 1:50.000 do ano de 1969 do IBGE (SF-23-Y-A-I-2; SF-23-Y-A-II-1; SF-23-Y-A-I-3; SF-23-Y-A-I-4; SF-23-Y-A-IV-3; SF-23-Y-A-IV-2), foram utilizadas como base cartográfica do estudo.

- b) Pré-processamento das imagens de Sensoriamento Remoto

No ambiente SPRING a fase de pré-processamento consistiu no georreferenciamento e registro das imagens orbitais com base nas cartas topográficas do IBGE (1:50:000) e na

delimitação do município de Rio Claro (SP). Além disso, foi necessária a aplicação dos procedimentos de ampliação linear de contraste e normalização radiométrica.

c) Processamento digital das imagens de Sensoriamento Remoto

- Classificação das imagens e mapeamento das glebas de cana

A classificação da cultura da cana-de-açúcar foi realizada nos dois estágios fenológicos em análise. Para o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar foram feitos diversos testes com os classificadores disponíveis no software SPRING, no entanto, melhores resultados foram obtidos com a classificação através da interpretação visual da cana-de-açúcar, pela qual a extração de dados temáticos das imagens foi conduzida em meio digital, aplicando procedimentos de edição manual, considerando particularmente as características de comportamento espectral dos alvos de interesse, no contexto das bandas analisadas, utilizando-se da segmentação por crescimento de regiões com similaridade 5 e área (pixels) 30. Como resultado, foi obtido o mapeamento preliminar das glebas de cana no município de Rio Claro.

- Aplicação do processamento NDVI para caracterização do estado da cana mapeada em termos do seu vigor relativo

Com base no mapeamento da área plantada por cana-de-açúcar, foi utilizado o Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) para a caracterização do vigor relativo de fitomassa nessa cultura. Na seqüência, as imagens processadas pelo aplicativo NDVI foram submetidas à classificação do vigor relativo de fitomassa por meio do classificador pixel a pixel ISOSEG, que leva em consideração apenas a refletância dos alvos, registrada nas imagens em valores de níveis de cinza. Esse classificador foi selecionado, pois se partiu do pressuposto que o vigor relativo de fitomassa da cana-de-açúcar pode ser obtido com a simples associação da refletância dessa cultura. Para a visualização e confirmação do vigor obtido por esse classificador foi necessária a interpretação das imagens com NDVI.

d) Trabalho de campo – verificação da precisão do mapeamento da área plantada por cana

A fase da realização do trabalho de campo baseou-se na metodologia de estimativa da exatidão da classificação de mapas temáticos proposta por Valeriano (1985). A escolha dos pontos amostrais dessa pesquisa ocorreu através do método aleatório estratificado. Para tanto, foi construída uma malha de quadrículas, de dimensão 1x1cm, sobreposta ao mapa preliminar da cultura de cana-de-açúcar, sendo cada cela numerada contemplando toda a área mapeada. Os pontos de amostragem de campo foram selecionados por sorteio aleatório, sendo identificados 30 pontos amostrais de áreas preliminarmente mapeadas como cana de açúcar.

A escolha do número da amostragem; $n=30$ foi feita com base nos trabalhos de Van Genderen (1977) e Valeriano (1985). Este último, utilizando os procedimentos de Ginevan (1979), aplicou o método de Amostragem por Nível de Aceitação.

Desta forma, com a adoção de $n=30$, a exatidão mínima do mapeamento é de 0,85% e o risco do consumidor receber um mapa abaixo das especificações é menor do que 0,05%, condicionantes que especificam a verificação de qualidade do mapeamento.

Para auxiliar o acesso aos pontos de amostragem no campo, foram utilizadas imagens ALOS (2008), imagens do Google Earth, bem como GPS de navegação.

e) Geração dos mapas finais e análise dos resultados obtidos

Por fim, foram gerados os mapas finais e com base nesses produtos foram realizadas análises em conformidade com os objetivos propostos. A edição e apresentação final dos produtos cartográficos foram realizadas utilizando ferramentas no ambiente SIG dos softwares SPRING e ArcGIS.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando os procedimentos adotados, foi realizado o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar, para seus estágios fenológicos em conformidade com as datas das imagens selecionadas. As figuras 2 e 3 referem-se aos mapeamentos realizados e a tabela 1 aos resultados obtidos em termos da área ocupada pela cultura da cana, para as duas situações selecionadas.

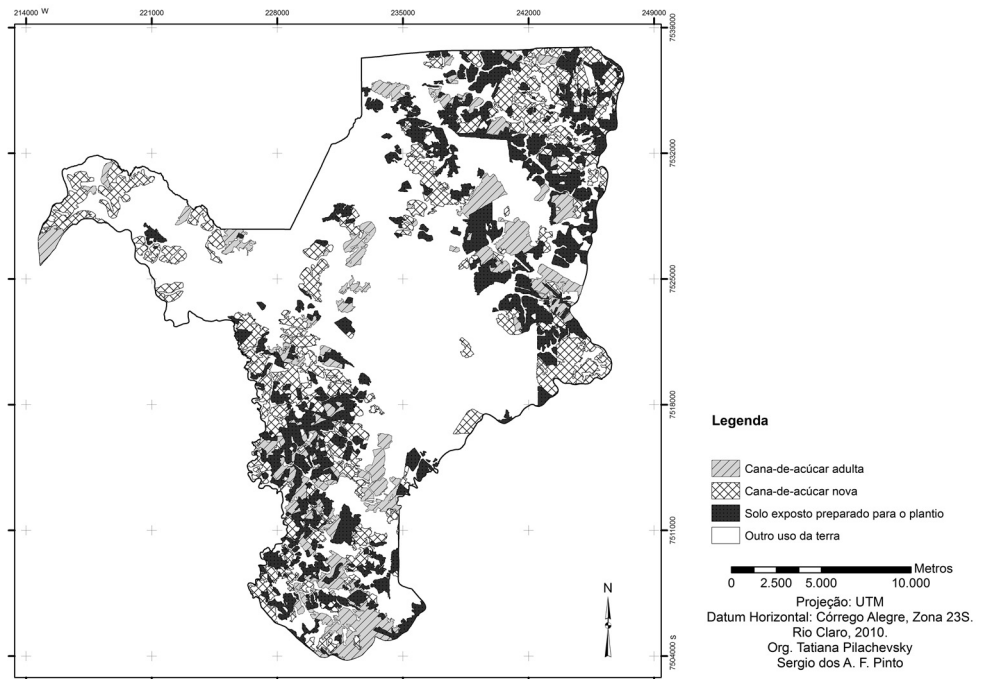


Figura 2 - Estágio de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) em 23/09/2008

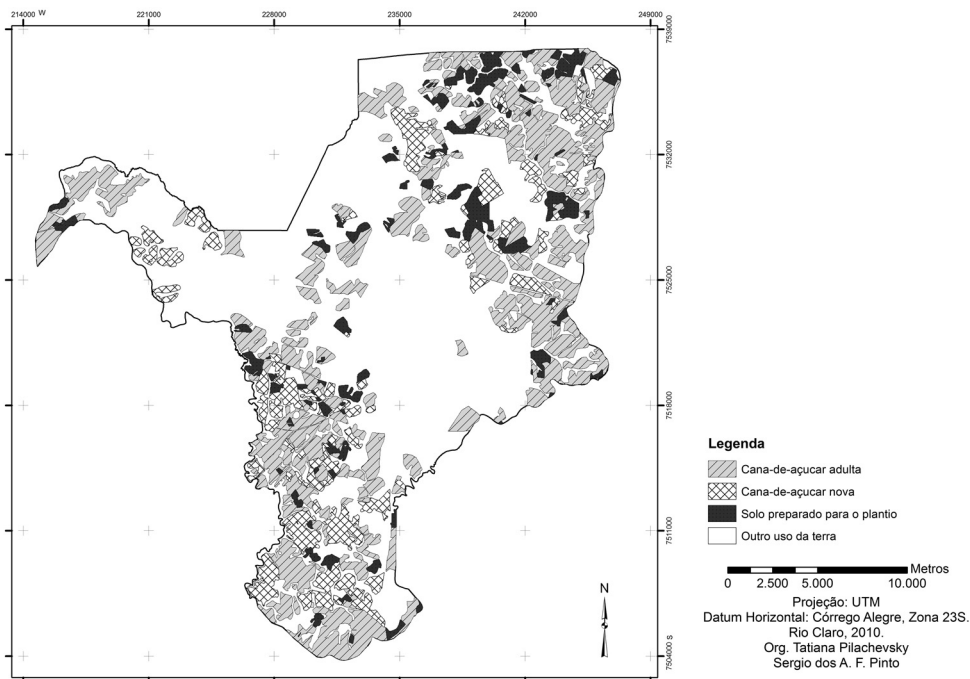


Figura 3 - Estágio de desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar no município de Rio Claro (SP) em 19/04/2009

Tabela 1 - Porcentagem da área ocupada pela cana conforme seus estágios fenológicos (cenários 23/09/08 e 19/04/09)

Estágios fenológicos da cana-de-açúcar	Porcentagem de área ocupada	
	23/09/08	19/04/09
Solo Exposto Preparado	40%	17%
Cana-de-açúcar em estágio de crescimento	38%	23%
Cana-de-açúcar adulta	22%	60%

Comparando os resultados dos pontos amostrais de campo com o mapeamento realizado, observou-se que seis áreas foram mapeadas incorretamente, representando um erro de 19% no mapeamento e, portanto, uma exatidão cartográfica de 81%. De acordo com a literatura consultada, o mapeamento realizado foi considerado representativo do cenário analisado, entretanto, conforme Valeriano (1985) o resultado obtido não se configura como um mapa de precisão cartográfica.

No que concerne às análises da representação dos índices relativos de fitomassa, obtidos através das imagens com NDVI e da aplicação do classificador ISOSEG, as figuras 4 e 5 demonstram, respectivamente, o vigor relativo de fitomassa nas datas de 23/09/2008 e 19/04/09 das culturas agrícolas presentes no município de Rio Claro.

Através da análise interpretativa dos produtos gerados, foi possível verificar que no cenário de 23/09/2008, o cultivo de cana-de-açúcar, em geral, encontrava-se no estágio de solo preparado ou no estágio inicial de crescimento.

Com o auxílio do classificador ISOSEG, foram delimitadas 5 classes representativas do vigor de fitomassa, sendo elas: muito forte, forte, média, fraca e nula. Para a imagem de 23/09/08 a classe de vigor de fitomassa muito forte foi destinada pelo classificador ISOSEG para os alvos com valores de níveis de cinza acima de 165 NC, sendo eles, principalmente a mata ciliar, o cultivo de citrus, a floresta nativa, e o reflorestamento; a classe de forte vigor relativo de fitomassa compreendeu os níveis de cinza entre aproximadamente 165 até 135 e representou essencialmente, o reflorestamento, o citrus, e poucas áreas de pasto; o vigor de fitomassa médio foi destinado aos níveis de cinza entre cerca de 135 a 110, correspondendo as culturas de cana-de-açúcar e pasto; o vigor de fitomassa fraco abrangeu níveis de cinza entre 110 e 70, classificando basicamente o alvo cultura de cana-de-açúcar; e o vigor de fitomassa nulo foi associado aos alvos que apresentaram níveis de cinza inferiores a 70, sendo eles, principalmente associados aos corpos d'água, que de acordo com a literatura possuem refletância tendendo a zero, e as áreas com atividades de mineração.

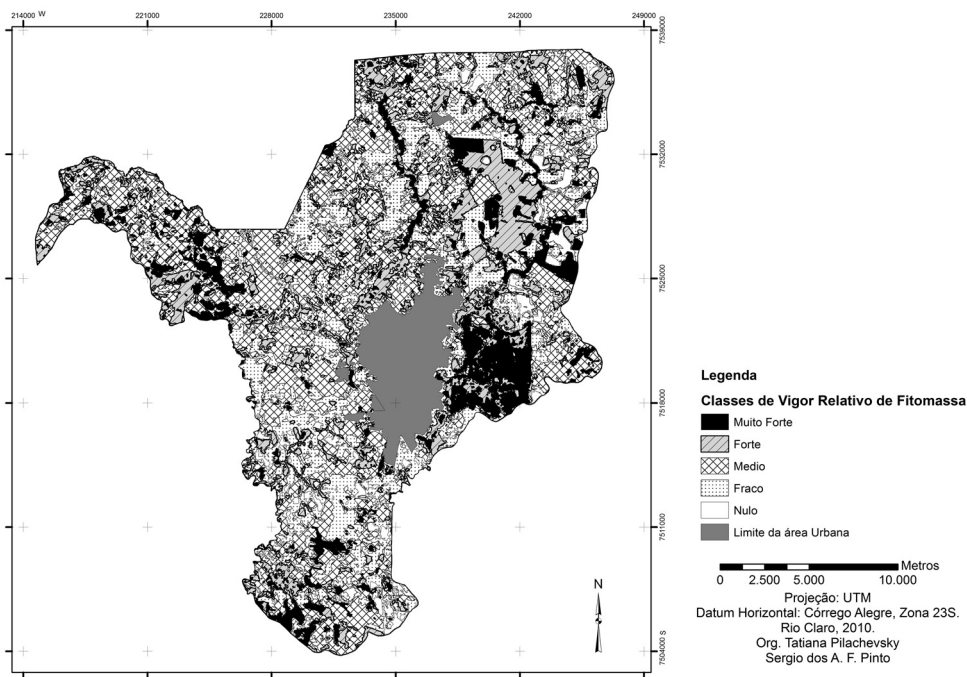


Figura 4 - Vigor relativo de fitomassa da vegetação no município de Rio Claro (SP) no cenário de 23/09/2008

Já no cenário de 19/04/2009 (figura 5) as áreas com cobertura vegetal apresentou, na maior parte do município, alto vigor de fitomassa. A classe com forte vigor de fitomassa prevaleceu em 54% da área analisada.

Neste cenário, a classe de vigor relativo muito forte foi associada aos pontos que apresentaram valores de pixels acima de 150 NC, representados pelos alvos reflorestamento

e mata nativa; a classe forte foi atribuída aos níveis de cinza entre cerca de 120 e 150, caracterizando, diferentemente do cenário de setembro, principalmente, os alvos cana-de-açúcar (cana adulta), pasto, reflorestamento e mata ciliar; a classe de médio vigor de fitomassa compreendeu os níveis de cinza entre 70 e 120, correspondente aos alvos cana-de-açúcar e pastagem; a classe compreendendo os níveis de cinza entre 14 e 70 representou, principalmente, a vegetação com baixo vigor e o solo; e por fim, a classe de vigor de fitomassa nulo, designado aos níveis de cinza inferiores a 40, representou essencialmente os corpos d'água e as atividades de mineração.

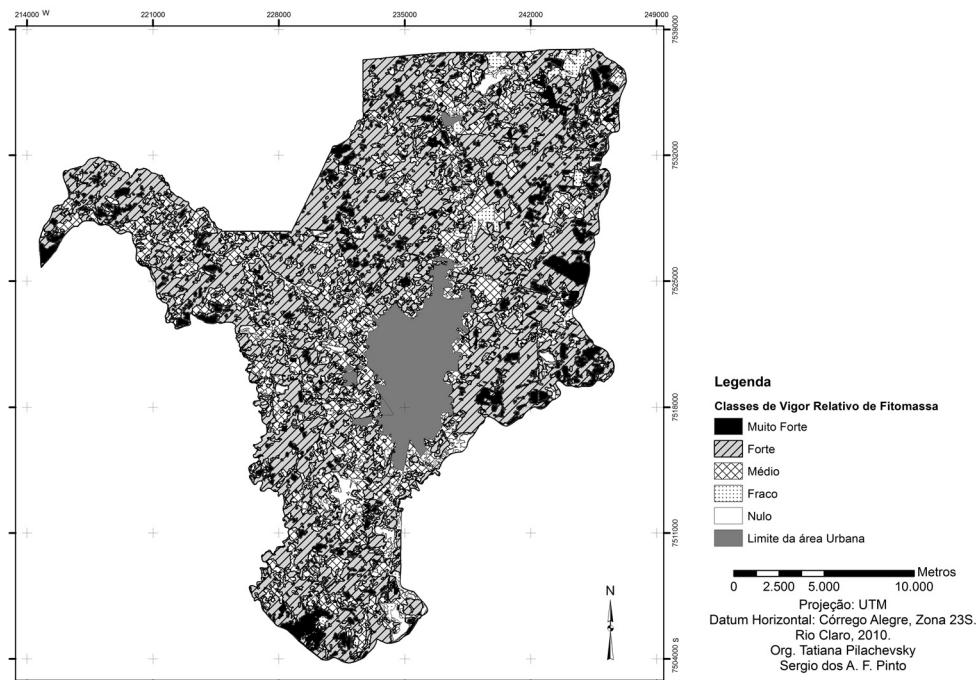


Figura 5 - Vigor relativo de fitomassa da vegetação no município de Rio Claro (SP) no cenário de 19/04/2009

No período analisado observa-se que as principais modificações ocorreram nas classes forte e fraca. No cenário de 23/09/08 a maior parte do cultivo de cana-de-açúcar e da pastagem estava classificada com vigor de fitomassa médio, já em 19/04/09, a cana e o pasto enquadraram-se na classe de forte vigor relativo de fitomassa. No caso da cana, esse fato pode ser explicado pelo seu estágio de desenvolvimento nesse período. No caso do pasto o fenômeno pode ser explicado essencialmente pelas condições hídricas proporcionadas pelos níveis de precipitação (final do período de precipitação).

Numa análise específica para a cultura de cana-de-açúcar, esse resultado reforça a afirmação de Jensen (2009) de que "a diferença na porcentagem de fechamento de dossel, na umidade do solo, na biomassa, ou diferenças quanto a espaçamentos/orientações entre as linhas de plantio podem fazer com que uma cultura tenha propriedades de reflectância significativamente diferentes em relação à outra" (no caso estudado, em relação ao outro estágio fenológico analisado), devido a influência do tipo de solo como substrato - "background" (JENSEN, 2009).

Com a análise do vigor de fitomassa (mesmo em termos relativos) é possível realizar considerações acerca do potencial de emissão de gases na atmosfera com a queima do palhço da cana-de-açúcar. Essa indicação pode auxiliar futuros estudos mais focados sobre essa questão. Em uma análise preliminar, com os resultados obtidos, é possível indicar que a queima pré-corte da cana ocorreu no período representado pelo cenário de 19/04/09. Nesse caso, o volume de gases passíveis de serem liberados na atmosfera é muito superior ao que seria liberado caso a queima ocorresse no período representado pelo cenário de 23/09/08. Por outro lado, se essa biomassa, ao invés de queimada, fosse destinada à incorporação ao solo como matéria orgânica, além de melhorar a produtividade da cultura, o palhço desempenharia papel protetor do solo exposto com relação à erosão hídrica.

CONCLUSÕES

Tendo em vista os resultados obtidos, pode-se indicar que o método utilizado para a avaliação do vigor relativo de fitomassa na cultura de cana-de-açúcar, mostrou-se eficiente, possibilitando a identificação e a indicação da quantidade relativa de biomassa da cana-de-açúcar na área de estudo, nos cenários analisados conforme o estágio de desenvolvimento dessa cultura.

No entanto, a hipótese inicial de que a utilização de imagens de média resolução espacial seria suficiente para a elaboração do mapeamento da cultura de cana-de-açúcar, através da realização dos procedimentos de tratamento digital das imagens e da aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, não foi estritamente confirmada, com a ocorrência de erros de classificação. Esse fato é resultante do mapeamento obtido, que apesar de satisfatório, não apresentou um índice de precisão de mapeamento com maior grau de confiabilidade, conforme verificado a partir do trabalho de campo.

Nesse contexto, recomenda-se a utilização de imagens orbitais de melhor resolução espacial ou ainda imagens aerofotogramétricas para a classificação e o mapeamento do uso da terra e a obtenção dos índices de vegetação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo apoio financeiro a essa pesquisa (Processo Fapesp 2010/07936-3).

REFERÊNCIAS

- ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP**. 2001. 204f. Tese (Doutorado em Medicina) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CAMPBELL, J. B. **Introduction to Remote Sensing**. New York: Guilford Press, 1996.
- GARCIA, G. J. **Sensoriamento remoto: Princípios e interpretação de imagens**. São Paulo: Nobel, 1982.

GENDEREN, J.L. van. Testing land-use map accuracy. **Photogrammetric engineering and remote sensing**. v. 43, n. 9, p. 1135-1137, set. 1977.

JENSEN J. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2000.

OMETTO, A. R.; MANGABEIRA, J. A. DE C.; HOTT, M. C. Mapeamento de potenciais de impactos ambientais da queima da cana-de-açúcar no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005, p. 2297-2299.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em: <http://www.unica.com.br/>. Acesso em 20/11/2009.

VALERIANO, D. M. **Processamento digital de dados do MS-Landsat aplicado ao mapeamento da cobertura da terra da planície costeira do rio Tubarão, S.C.:** metodologia e estimativa de exatidão de classificação. 1985. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985.

Recebido em abril de 2012

Aceito em dezembro de 2012