

## Estimação da produtividade dos resíduos da cana-de-açúcar por meio do sensor MODIS

Daniel Garbellini Duft<sup>1,2</sup>  
Michelle Cristina Araujo Picoli<sup>1</sup>  
Marcelo Valadares Galdos<sup>1</sup>  
Fábio Vale Scarpare<sup>1</sup>  
Manoel Regis Lima Verde Leal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol - CTBE  
Caixa Postal 6170 - 13083-970 - Campinas - SP, Brasil  
{daniel.duft, michelle.picoli, marcelo.galdos, fabio.scarpare, regis.leal}@bioetanol.org.br

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI/UNICAMP  
Caixa Postal 6011 - 13084-971 - Campinas - SP, Brasil  
daniel.duft@feagri.unicamp.br

**Abstract.** Currently, the development of second generation ethanol has been intensely researched in Brazil. That has generated a demand for identifying the areas with the highest potential for straw production to base second generation ethanol plants. This work described the production of straw for the microregion of Ribeirão Preto, São Paulo, using the NPP MODIS product for the years 2006 to 2010. The data to build the maps were obtained by using plant carbon content, straw to stalk ratio, aboveground biomass and crop water content values from the literature. The model was calibrated with IBGE official data to correct losses caused by atmospheric interference. The calibration was performed using sugarcane productivity because it is the only data available from IBGE. This calibration generated factors that were multiplied by the straw model. The adjusted values were compared to the official data using the Mann-Whitney test and there weren't significant differences between the estimated and observed straw yield for 2006, 2007 and 2009 ( $p$ -value > 0.05). However, for 2008 and 2010 the estimated data were significantly different from the observed data, likely due to the extended rainy seasons in both years. Overall, the methodology was appropriate to describe the spatial distribution of sugarcane straw in the studied region.

**Palavras-chave:** Net Primary Production (NPP), straw, sugarcane, Produção Primária Líquida (PPL), palha, cana-de-açúcar.

### 1. Introdução

Desde que o Programa Nacional do Alcool (Proalcool) foi implantado no Brasil na década de 70, a produção da cana-de-açúcar aumentou de 79,7 milhões de toneladas em 1970 para 717,1 milhões de toneladas em 2010 (IBGE, 2012). Essa tendência de aumento ainda se mantém devido à crescente demanda de etanol para abastecimento de automóveis (Moraes, 2011). Para o Brasil se manter como o maior produtor mundial de etanol (FAO, 2012) é necessário investimento em novas tecnologias que possam atender ao mercado mundial.

No Brasil, pesquisas voltadas para o desenvolvimento do etanol de segunda geração de biocombustíveis estão sendo realizadas. O etanol de segunda geração é desenvolvido por meio da conversão de material lignocelulósico ou biomassa em açúcares fermentáveis. O aproveitamento de matéria prima natural é encontrado não só no bagaço da cana, mas em outras fontes de biomassa vegetal (madeiras, serragens, palhadas, cascas, etc.) poderão ser utilizadas para aumentar a produção de etanol (Buckeridge et al., 2010). A Petrobras construiu uma planta piloto de hidrólise enzimática que opera desde 2008 no seu Centro de Pesquisas (CENPES) e, outra planta piloto está prevista para entrar em operação no Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE) em 2012 (Noschang, 2011).

Um importante passo para a produção do etanol de segunda geração está em compreender o potencial de produção da palha nas áreas plantadas com cana-de-açúcar e saber a localização geográfica das áreas mais produtivas para implantação de usinas de etanol de

segunda geração. Estudos utilizando dados de sensoriamento remoto mostram que é possível mapear e estimar os resíduos agrícolas a campo (Aguiar et al., 2001 e Elmore et al., 2008).

Desta forma, o objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para estimar a produtividade da palha da cana-de-açúcar espacialmente utilizando dados de NPP (*Net Primary Production*), que são provenientes dos dados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) do sensor MODIS.

## 2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo abrange os 16 municípios da microrregião de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, delimitada pelas coordenadas 20°52' e 21°48' de latitude sul e 47°16' e 48°10' de longitude oeste (Figura 1).

A região possui clima tipicamente tropical, onde os meses de dezembro a fevereiro são os mais chuvosos (com valor médio de chuvas mensal superior a 200 mm), sendo o mês de fevereiro o mais quente (temperatura média entre 23,8°C e 25,4°C); o mês de julho é o mais seco (precipitação média mensal inferior a 32 mm) e é também o mês mais frio (temperatura média varia de 17,8 °C a 19,8 °C) (Martorano et al., 1999). A altitude da área de estudo varia de 500 m a 800 m e a declividade de 0 a 8% (plano a suavemente ondulado) (Oliveira et al., 1999). Os latossolos são os solos predominantes na área (Martorano et al., 1999).

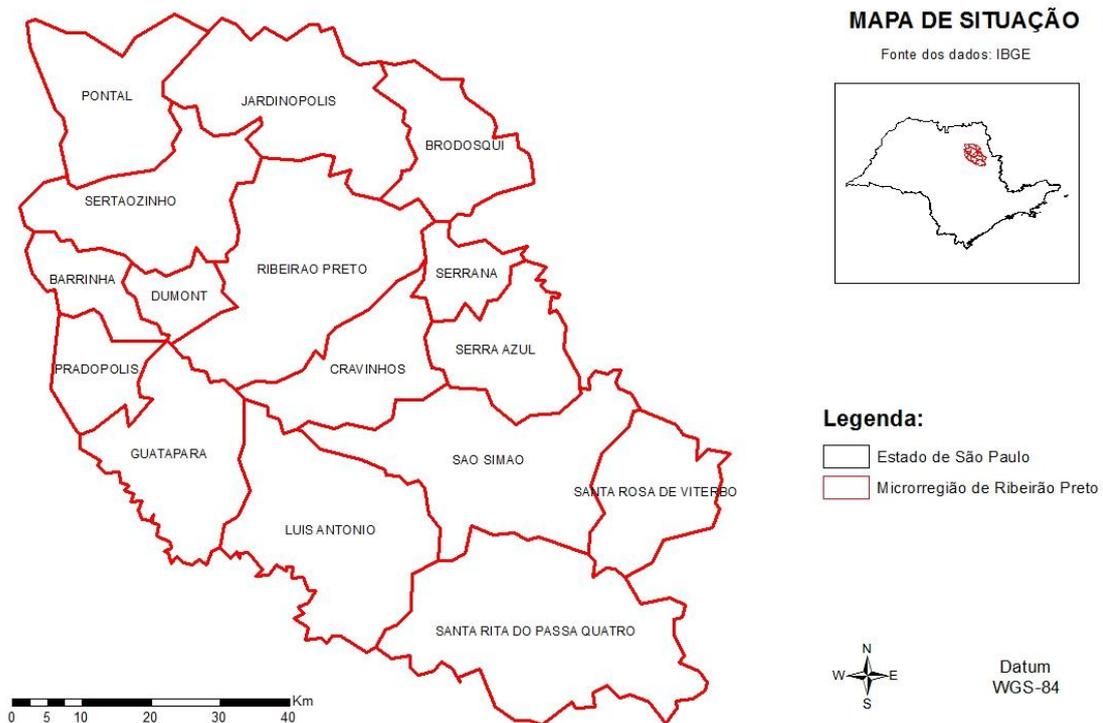


Figura 1: Mapa da região de estudo

Para a determinação da produtividade dos resíduos (palha) da cana-de-açúcar foi utilizado o produto MOD17A3 do sensor MODIS dos *tiles* h13v11 (NASA, 2012). Este produto faz uma composição anual para NPP (*Net Primary Production*), a quantidade de carbono utilizado pela planta pra desenvolver-se vegetativamente, ou seja, todo o carbono absorvido menos o utilizado pela respiração. O algoritmo usado para o cálculo do NPP é descrito por Elmore et al. (2008). O NPP é calculado por meio do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), composição de 8 dias do sensor MODIS da radiação incidente na planta e a

quantidade de luz absorvida pelas plantas menos a respiração. Essas composições de 8 dias são somadas ao longo do ano para dar origem ao produto anual do NPP (uma única imagem por ano). O NPP vem com resolução espacial de 1 km e a unidade é  $\text{kgCm}^{-2}$ .

O uso do NPP para o cálculo da matéria seca foi utilizado por Elmore et al. (2008) para a cultura do arroz na China. Apesar do uso comum do NPP ser para o cálculo do balanço de carbono na atmosfera, ele pode ser utilizado com muita eficiência para a agricultura, já que considera o carbono retido na planta para o crescimento. Ele pode ser ainda mais eficiente na cultura da cana-de-açúcar, pois esta possui um ciclo anual e desta forma, todo o carbono utilizado para o seu crescimento transforma-se em colmo, raízes, rizoma ou folhas.

Para estimar a produtividade da palha da cana-de-açúcar foi utilizada a correlação do carbono com os fatores fisiológicos da planta (Equação 1).

$$\text{Palha (kg km}^{-2}\text{)} = \frac{Pp \times Npp \times Asb}{Cc \times (1 - Uc)} \quad (1)$$

Sendo:

Pp: fração entre resíduo (palha) e total de biomassa;

Npp: produção de carbono em um ano;

Asb: Quantidade de biomassa acima do solo;

Cc: fração de carbono na cana-de-açúcar;

Uc: umidade da cana-de-açúcar.

Os fatores utilizados foram:  $Uc = 70\%$ , segundo Célico et al. (2009);  $Asb = 85\%$  e  $Cc = 45\%$ , de acordo com Rodrigues (1995) e  $Pp = 15\%$  conforme Macedo (1996). A utilização do valor médio de Pp foi adotado para espacializar a produção sem utilizar variáveis como estágio de corte e variedade.

Para o cálculo da estimativa da produtividade dos resíduos, utilizando o NPP, foi necessária a realização de uma calibração prévia. Como os dados georreferenciados de palha a campo ainda são escassos, houve uma modelagem inversa, onde foi aferida a produtividade de colmos (que é a parte da planta que de fato é quantificada pelos órgãos oficiais de estatística) e indiretamente pode-se estimar a quantidade de palha da planta supondo a relação entre palha (matéria seca) e colmo (peso úmido) de 15%.

A calibração considerou a fisiologia da cultura, pois o crescimento das raízes varia de cana planta (nome dado ao primeiro ciclo da cultura, que pode ser de 12 meses ou 18 meses) para cana soca (nome dado à planta após ter ocorrido o primeiro corte então, o ciclo passa a ser de 12 meses e essa cana soca pode ser colhida por mais cinco safras aproximadamente) (Rodrigues, 1995). Também foi considerada a influência atmosférica nos produtos MODIS que é comentada por Huete et al. (2002).

Para a realização do trabalho, foram adquiridas as imagens do *tile h13v11* para os anos de 2006 a 2010. Os dados espacializados da palha da cana crua (cana colhida mecanicamente sem queima) foram obtidos do projeto CANASAT (Rudorff et al., 2010). Os *pixels* das imagens de NPP foram redimensionados de 1 km para 50 m, para tornarem-se compatíveis com a resolução espacial dos dados do CANASAT. Com a finalidade de verificar diferenças estatísticas entre os valores de produtividade da palha de cana-de-açúcar estimados e os valores oficiais, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi realizada a análise descritiva dos dados. Posteriormente foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk (Shapiro e Wilk, 1965) para verificar a normalidade dos dados e o teste não paramétrico de Mann-Whitney (Mann e Whitney, 1947) para comparar as médias dos valores estimados e os valores observados (IBGE).

### 3. Resultados e Discussão

Por meio da Equação 1, utilizando como valor complementar de Pp: 85%, foi feito o cálculo da produtividade da cana-de-açúcar utilizando os dados de NPP. Esses valores foram comparados com os dados de produção (toneladas) do IBGE (2012), que foram transformados em produtividade, dividindo-os pela área mapeada com cana-de-açúcar plantada pelo projeto CANASAT. A tabela 1 apresenta esses valores e os respectivos desvios.

Tabela 1: Valores de produção de cana do IBGE, do modelo proposto e o ajuste gerado.

Produção	2006	2007	2008	2009	2010	Média
Modelo (Mg)	16.836.304	16.106.566	17.230.912	19.508.750	18.520.824	17.640.671
IBGE (Mg)	21.824.910	22.695.475	22.695.475	22.695.475	26.856.731	23.353.613
Ajuste	1,26	1,35	1,31	1,17	1,33	1,28

Para a microrregião de Ribeirão Preto foi identificado que o modelo subestimou a produtividade da palha da cana-de-açúcar em 28% em relação aos dados oficiais, desta forma, para os valores de palha foi utilizado um fator de correção de 1,28.

Novamente utilizando a Equação 1 agora com o Pp igual a 15%, pois corresponde a porcentagem dos resíduos encontrado na cana-de-açúcar, foi determinada a produtividade da palha para os anos de 2006 a 2010. Foram gerados mapas de produtividade de palha para a microrregião de Ribeirão Preto para cada ano estudado (Figura 2).

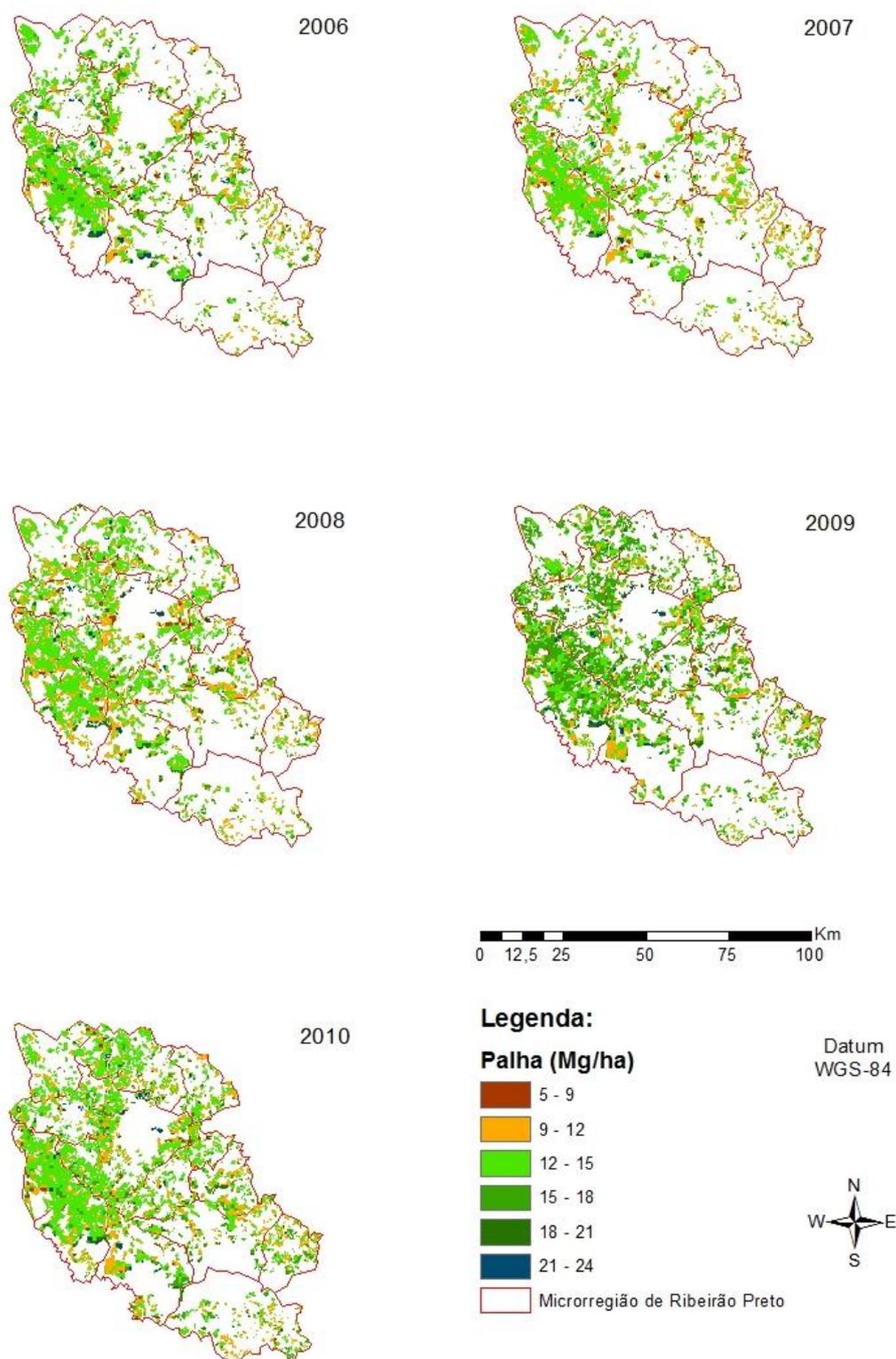


Figura 2: Mapas de produtividade ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) da palha de cana-de-açúcar na microrregião de Ribeirão Preto para os anos de 2006 a 2010.

Os valores de produtividade de palha estimados foram comparados com os dados oficiais do IBGE (2012), considerando-se que 15% da produção da cana-de-açúcar são resíduos (palha). Como a área considerada por este estudo é diferente da área estimada pelo IBGE, foi

levada em conta a produtividade média municipal para a comparação de valores. A Tabela 2 apresenta essa comparação para os 16 municípios da microrregião de Ribeirão Preto.

Tabela 2: Produtividade média ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) de palha por município da microrregião de Ribeirão Preto para os anos de 2006 a 2010.

Municípios	2006		2007		2008		2009		2010	
	Modelo	IBG E								
Barrinha	14,0	15,9	13,2	15,9	13,7	15,9	15,3	15,9	14,0	15,9
Brodósqui	13,6	11,5	12,9	11,5	13,4	14,1	15,0	11,5	13,8	14,1
Cravinhos	14,1	14,1	12,7	14,1	13,4	14,6	15,0	14,1	14,0	14,1
Dumont	15,2	15,9	14,5	15,9	14,7	15,9	16,8	15,9	14,4	15,9
Guatapar	14,8	14,1	13,8	14,1	14,1	15,9	15,8	14,1	14,7	14,1
Jardinópolis	14,2	14,1	13,0	14,1	13,4	14,1	15,2	21,2	13,6	15,9
Luis Antonio	14,6	15,9	13,6	16,2	14,2	16,8	15,1	16,7	14,5	15,9
Pontal	13,6	14,1	12,1	14,1	12,3	14,1	14,3	14,1	12,9	14,1
Pradópolis	13,8	12,4	13,1	12,4	12,9	15,0	14,2	15,0	13,7	15,0
Ribeirão Preto	14,7	12,4	14,0	12,4	14,8	15,0	16,7	15,0	15,4	15,0
Santa Rita do Passa Quatro	14,2	15,0	13,3	15,0	13,5	14,1	14,6	14,1	14,2	14,1
Santa Rosa de Viterbo	13,0	12,4	12,2	12,4	12,5	14,1	13,8	15,2	13,4	14,1
São Simão	13,5	13,2	12,6	14,1	12,7	14,1	14,5	14,1	13,8	14,1
Serra Azul	14,0	12,4	12,9	13,2	13,1	12,4	14,6	13,2	13,8	13,2
Serrana	14,5	14,1	13,0	14,1	13,5	14,6	15,0	15,0	13,9	15,0
Sertãozinho	15,2	14,1	14,0	13,8	14,3	14,6	16,3	14,1	15,0	14,1

Segundo o teste de Shapiro-Wilk os dados não possuíam normalidade ao nível de 5% de significância. Então foi calculado o teste não paramétrico de Mann-Whitney para comprar os valores de produtividade da palha estimada pelo modelo com os dados do IBGE (2012). De acordo com o teste não paramétrico de Mann-Whitney não houve diferença significativa entre as produtividades da palha estimada e da observada para os anos de 2006, 2007 e 2009 ( $p\text{-valor} > 0,05$ ), conforme apresentado na Tabela 3. Para os anos de 2008 e 2010 os dados estimados foram significativamente diferentes dos dados observados. Isso pode ser explicado pelo problema de qualidade das imagens MODIS em anos muito chuvosos pela alta presença de nuvens, que foi o caso do ano safra 2008 e 2010 (Agritempo,2012), essa influência foi mostrada por Moraes e Rocha (2011).

Tabela 3: Teste de Mann-Whitney para comparao dos valores de produtividade da palha de cana-de-acar estimados pelo modelo e os valores dos dados do IBGE.

Ano	p-valor
2006	0,396
2007	0,052
2008	0,002*
2009	0,250
2010	0,025*

\* Significativo a 5% de probabilidade.

#### 4. Conclusão

O uso dos dados de NPP (*Net Primary Production*) do sensor MODIS mostra ser promissor na estimação da produtividade de palha da cana-de-açúcar. Porém, ainda são necessários dados de campo sobre a produtividade de palha para a calibração do modelo e assim compreender o potencial da produtividade da palha da cana-de-açúcar espacialmente para implantação de futuras usinas de etanol de segunda geração.

#### Agradecimentos

A equipe do projeto CANASAT por gentilmente ter cedido os dados espacializados de colheita da cana-de-açúcar.

#### Referências Bibliográficas

Aguiar, D.A.; Rudorff, B.F.T.; Silva, W.F.; Adami, M.; Mello, M.P. Remote sensing images in support of environmental protocol: monitoring the sugarcane harvest in São Paulo state, Brazil. **Remote Sensing**, v. 3, p. 2682-2703, 2011.

Agritempo. **Sistema de Monitoramento do Agroclima**. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/agroclima>>. Acesso em 10 out. 2012.

Buckeridge, M.S.; Santos, W.D.; Souza, A.P. As rotas para o etanol celulósico no Brasil. In: Cortez, L.A.B. (Org.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. p. 365-380.

Célico, A.S.; Neto, H.F.S.; Júnior, L.C.T.; Marques, M.O. Comparação do teor de fibra e umidade em seis cultivares de cana-de-açúcar com ciclo de maturação no meio de safra. In: XXI Congresso de Iniciação Científica da UNESP, 2009, São José do Rio Preto. **Anais...** Disponível em: <[http://prope.unesp.br/xxi\\_cic/27\\_35690723800.pdf](http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_35690723800.pdf)>. Acesso em: 06 out. 2012.

Elmore, A.J.; Shi, X.; Gorence, N.J.; Li, X.; Jin, H.M.; Wang, F.; Zhang, X.H. The spatial distribution of agricultural residue from rice for potential biofuel production in China. **Biomass Bioenergy**, n. 32, p. 22-27, 2008.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em 02 out. 2012.

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. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 195-213, 2002.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Banco de Dados Agregados - Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. 2012. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em 04 out. 2012.

Macedo, I.C. Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 14, n. 1, p. 77-81, 1998.

Mann, H.B.; Whitney, D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.

Martorano, L.G.; Angelocci, L.R.; Vettorazzi, C.A.; Valente, R.O.A. Zoneamento agroecológico para a região de Ribeirão Preto utilizando um sistema de informações geográficas. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 3, p. 739-747, 1999.

Moraes, M.A.F.D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período 1992-2005. **Estudos econômicos**, v. 37, n. 4, p. 875-902, 2007.

Moraes, R. A.; Rocha, J. V. Imagens de coeficiente de qualidade (Quality) e de confiabilidade (Reliability) para seleção de pixels em imagens de NDVI do sensor MODIS para monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 3175-3182. CD-ROM, On-line Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0376.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2012

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **MOD 17 - Vegetation Production, Net Primary Productivity (NPP)**, 2012. Disponível em: < [http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/dataproducts.php?MOD\\_NUMBER=17](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataprod/dataproducts.php?MOD_NUMBER=17) >. Acesso em 10 set. 2012.

Noschang Neto, J.N. Etanol de segunda geração. In: Ethanol Summit, 2011, São Paulo. Apresentação. Disponível em: < <http://www.ethanolsummit.com.br/apresentacoes.php?idioma=1>>. Acesso em 25 set. 2012.

Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – Legenda Expandida**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1999. 64 p.

Rodrigues, J.D. **Fisiologia da Cana-de-açúcar**. Botucatu: Universidade Estadual Paulista, 1995. 99 p.

Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.