

# SISTEMAS DE PRODUÇÃO E PREVISIBILIDADE DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA ENERGÉTICA E DE ALIMENTOS EM ROTAÇÃO NA REFORMA DO CANAVIAL USANDO MODELAGEM NA PLATAFORMA CROPSYST

Fábio Cesar da Silva<sup>1</sup>  
Alexandre de Castro<sup>2</sup>  
Pedro Luiz de Freitas<sup>3</sup>  
Pedro Abel Vieira Junior<sup>4</sup>  
Everton Luis Finoto<sup>5</sup>

## Introdução

Atualmente, várias atividades de dimensão socioeconômica estão em execução no estado de São Paulo e Região Centro-Oeste do Brasil visando a caracterização e melhoria dos sistemas de produção de oleaginosas na reforma do canavial como, por exemplo, a colheita mecanizada - sem a necessidade de queima (VIEIRA JUNIOR et al., 2008). A expansão do setor sucroalcooleiro, com crescimento na última década de 379% da área plantada na Região Centro-Oeste (CARVALHO, 2015), passou a exigir o desenvolvimento de tecnologias apropriadas ao manejo da cana-de-açúcar no cerrado. A necessidade de reforma do canavial reduz cerca de 20% ao ano a área dedicada à produção de cana-de-açúcar que, no estado de São Paulo e na Região Centro-Oeste do Brasil, ocupou um total de 8.543 milhões de hectares na safra 2015/16 (CARVALHO, 2015). Para a safra agrícola 2015/16, o Instituto de Economia Agrícola – IEA/SP indica que a área destinada à produção de cana-de-açúcar deve ficar em torno de 12,2 milhões de hectares (UNICA, 2016). Muitas áreas de reforma permanecem ociosas durante períodos

---

1 Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor da Fatec Piracicaba, em Campinas – SP.  
Email: fabio.silva@embrapa.br.

2 Pesquisador da Embrapa Informática Agropecuária e professor da Fatec Piracicaba, em Campinas – SP.  
Email: alexandre.castro@embrapa.br.

3 Pesquisador da Embrapa Solos - Rio de Janeiro – RJ. E-mail: pedro.freitas@embrapa.br.

4 Pesquisador da Secretaria de Inteligência e Macroestratégia da Embrapa - Brasília – DF.  
E-mail: pedro.vieira@embrapa.br.

5 Pesquisador do Polo Regional Centro Norte da APTA - Pindorama –SP. E-mail: evertonfinoto@apta.sp.gov.br.

críticos, como a primavera e o verão, quando os solos são mais suscetíveis à degradação. A ocupação dessas áreas com o cultivo de outras espécies representa uma oportunidade para a geração de renda para as usinas de açúcar, para os produtores associados e para os pequenos agricultores. Nas áreas de expansão é preciso promover ajustes que envolvem caracterização e validação dos sistemas de cultivo de oleaginosas, em especial o desenvolvimento de sistemas de recomendação de adubação e manejo do solo.

É preciso saber em quais condições (energética, ambiental, bem como, economicamente) uma área de reforma é viável para implantação de rotação com oleaginosas. Também é preciso saber quais as opções de culturas para a implantação da rotação e as respectivas recomendações técnico-agronômicas, como o manejo, plantio direto, rotação da cultura e a fertilização do solo em sistema de rotação, qual o balanço energético do sistema de rotação, e como o sistema deve ser gerido (terceirização ou autoprodução), entre outras.

O objetivo deste trabalho é apresentar o zoneamento de áreas adequadas para a produção sustentável de biocombustíveis a partir resultados experimentais de soja e de amendoim no período de reforma nas áreas de produção de cana-de-açúcar nas UOs (unidades de observação) instaladas nas áreas de cana-de-açúcar nos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Para dar suporte ao processo de tomada de decisão no planejamento agrícola utilizou-se o pacote de simulação *CropSyst* desenvolvido pela *Washington State University* foi utilizado para estimar a produtividade de cana-de-açúcar, de soja e de amendoim na reforma na unidade de observação. A curva de crescimento descrita pelo *software* na calibração apresentou comportamento similar a curva de crescimento experimental, porém houve um descolamento das curvas na fase de crescimento vegetativo intenso. Os parâmetros obtidos na calibração para a variedade de cana-de-açúcar em estudo, assim como para a soja e amendoim são compatíveis com os disponíveis na literatura, mostrando a eficácia do modelo de simulação *CropSyst*.

## **Material e métodos**

A coleta de informações experimentais é uma etapa fundamental para a modelagem do sistema via *CropSyst*. É a partir das informações climáticas (Agritempo), da análise do solo feitas na Embrapa Solos, do sistema de manejo (convencional ou plantio direto), da cultura utilizada na reforma (soja, amendoim ou pousio), e da evolução da biomassa vegetal durante o ciclo produtivo da cultura obtidos em ensaios localizados em Pindorama - SP (Usina Colombo), em Promissão - SP (Usina Renuka), Castilho - SP (Usina Viralcool) e Guaira - SP (Usina Guaira) que foram gerados os parâmetros de interesse para a área em análise.

A calibração das curvas e geração dos parâmetros é realizada na janela funcional *Crop Calibration* – interface utilizada para o processamento das informações –, a partir dos dados inseridos. É importante ressaltar que nessa etapa do processo de calibração as curvas são individualmente geradas; não sendo subrotina possível

à compilação de curvas simultâneas para cultivares distinta (além da caracterização morfoestrutural e o levantamento pedológico dos solos). Foram avaliadas oito variedades de soja e amendoim nas UO's Guaíra, Colorado e Mandu (Guaíra / SP), Clealcool (Clementina / SP), Nardini (Aporé / GO), Viralcool (Castilho / SP), Renuka do Brasil (Promissão / SP) e Sonora/MS. A colheita da cana foi realizada mecanicamente em agosto/setembro de 2009 (safra 2009/10), 2010 (safra 2010/11) em uma área com cerca de 10 blocos de 150m para cada variedade. Os tratamentos foram aplicados nas seguintes variedades de soja: BRS 232, BRS 282, BRS 283, BRS 284, BRS 294 e BRS 295 RR RR, BRS 750RR e FAVORITA RR e de amendoim a RUNNER do IAC. Para cada conjunto de dados experimentais foi utilizada uma subrotina de calibração específica. A inserção dos dados de cada foi realizada respeitando a ordem sequencial exigida pelo protocolo (localização, dados climáticos, ciclo fenológico, evolução da biomassa, índice de área foliar e produtividade). Uma vez definidos os parâmetros requeridos pelo programa, seja no editor de parâmetro da cultura ou em alguma subrotina de calibração, a execução das rotinas de calibração foi avaliado a sua acurácia.

## **Resultados e discussão**

Para viabilizar da rotação de culturas oleaginosas com cana-de-açúcar nas áreas de reforma, é necessário que a variedade de soja adapte-se às condições de solo e clima, refletindo em um bom crescimento e na facilidade de colheita compatível com o ciclo do programa de plantio de cana. Para isso, a recomendação sobre áreas de risco climático para o cultivo de soja em diferentes períodos do ano, devem ser observadas. As áreas aptas para a adoção do sistema de produção de cana-de-açúcar em rotação com o cultivo da soja são mostradas na Figura 1. A produção de oleaginosas, especialmente a soja, é uma oportunidade para maximizar o uso do solo, pois apresenta várias vantagens para o cultivo de cana-de-açúcar, como o controle de ervas daninhas e aumento da eficiência dos fertilizantes, particularmente, nitrogênio para a fixação biológica. As variedades que apresentaram a melhor adaptação e produtividade foram o BRS 232 e BRS 282. A Tabela 1 mostra que não houve diferença no rendimento entre o plantio direto e convencional nas culturas de soja e amendoim. A produtividade dos tratamentos de cana/soja/amendoim (plantio direto e convencional) foi da ordem de 110 toneladas por hectare, com uma variação de 10 toneladas entre os tratamentos no município de Pindorama - SP (Brasil) (Tabela 1). Os resultados mostram que no município de Promissão - SP o rendimento da cana/amendoim (plantio direto e plantio convencional) foi ligeiramente superior a cana/soja. Para a construção da curva de calibração de biomassa e índice de área foliar do amendoim e soja (Figuras 5 e 6) utilizou-se o coeficiente de particionamento foliar como sendo igual a 0,78 (NAAB et. al, 2004) e a área foliar específica igual a 24 m<sup>2</sup>/kg (PINTO, 2006). Para a calibração da curva de calibração de biomassa da soja (Figura 6), utilizou-se o coeficiente de particionamento foliar igual a 1,26 (MORENCO et. al, 1996) e a área foliar específica de 38 m<sup>2</sup>/kg (ALAMBERT et. al, 2010).

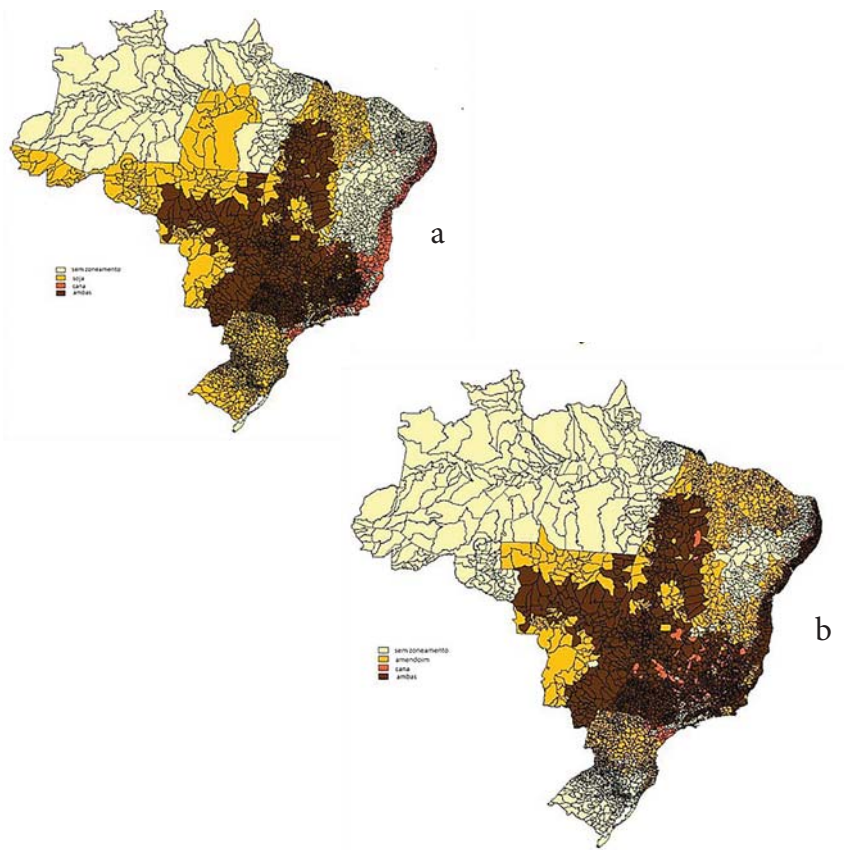


Figura 1. Zoneamento das áreas aptas ao cultivo de soja (a) e amendoim (b) na reforma do canavial.

Nas Figuras 1, 2 e 3, são mostrados os resultados da calibração da biomassa e do índice de área foliar (IAF) para a cultura de cana-de-açúcar, a partir da plataforma de simulação CropSyst, referentes as safras de 2008/2009, 2009/2010 e 2010/2011 respectivamente. A temperatura base para desenvolvimento da cultura foi estabelecida em 18°C, sendo a mesma mencionada em trabalhos desenvolvidos por Barbieri et al (2010). A temperatura limite foi fixada em 34°C, como recomendada em trabalhos desenvolvidos por Tatsch et al (2009). Para a construção das curvas utilizou-se os Parâmetros das Tabelas 3 e 4. Os resultados encontrados se aproximam dos obtidos por Pinto, (2006) que encontrou 13,48 e 15,73 m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup> para a área específica. As figuras 4 e 5 mostram a calibração da biomassa e do índice de área foliar (IAF) para a cultura do Amendoim (*Arachis hypogaea*) e da soja (*Glycine max*) a partir da plataforma CropSyst..

**Tabela 1.** Avaliação da produtividade (t.ha<sup>-1</sup>) de cultivares de soja e amendoim cultivadas em plantio convencional em áreas de reforma (safra 2011/2012).

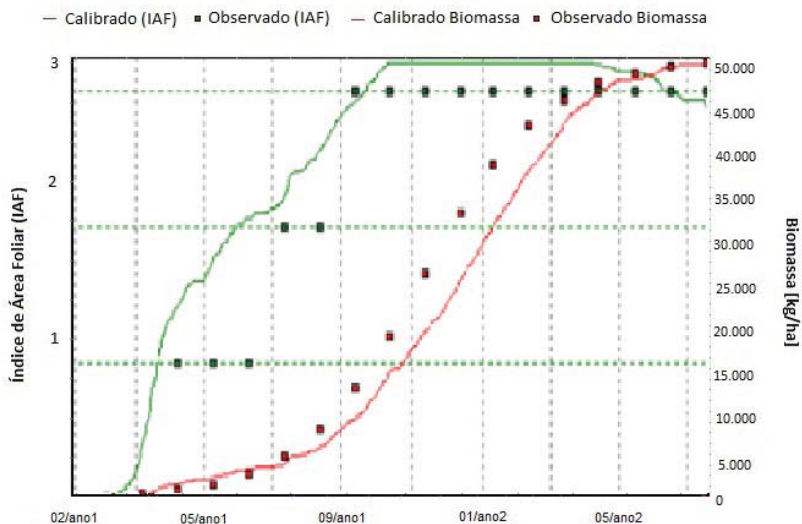
Sistema de cultivo	Renuka/ Promissão / SP	Usina Guaira/ Guaira SP	Usina Colombo/Apta Pindorama, SP	Usina Viralcool /SP	Media
<b>Cultivares de Soja (média de 5 cultivares) – kg/ha -</b>					
Plantio Direto	3100 (225)	3828 (295)	3500 (575)	2796 (753)	3306
Convencional	----	3533 (413)	3389 (235)	2173 (630)	3032
<b>Cultivar de amendoins</b>					
Plantio Direto	4141 (328)	-----	2779 (298)	-----	3460
Convencional	4241 (210)	-----	2392 (129)	-----	3316

Quanto a cana-planta cultivada nas parcelas de soja e amendoim (Tabela 2), como observaram Silva et al (2016) houve produtividade acima de três dígitos (> 100 TCH) na cana-planta em área de plantio direto associado à rotação de oleoginosas na reforma, o que proporcionou um ganho de 10 a 15% de aumento na produtividade nas quatro regiões testadas, em comparação ao pousio e ao preparo de solo convencional. A produtividade de cana-planta oriundas de parcelas dos tratamentos de rotação de soja e amendoim em plantio direto foram na ordem de 110 toneladas por hectárea, com uma variação superior de 10 a 15 toneladas (Tabela 2) em relação aos tratamentos com pousio e preparo convencional, no município de Pindorama – SP. Já em os resultados da cana cultivada nos tratamentos com plantio direto de amendoim e soja foram superiores ao convencional e pousio, em torno de 95 toneladas por hectare, no município de Lins – SP. A mesma tendencia (Tabela 2), ocorreu nos ensaios conduzidos para tratamento com PD soja em Guaira e Castilho, em comparação ao preparo convencional associado ao pousio da área.

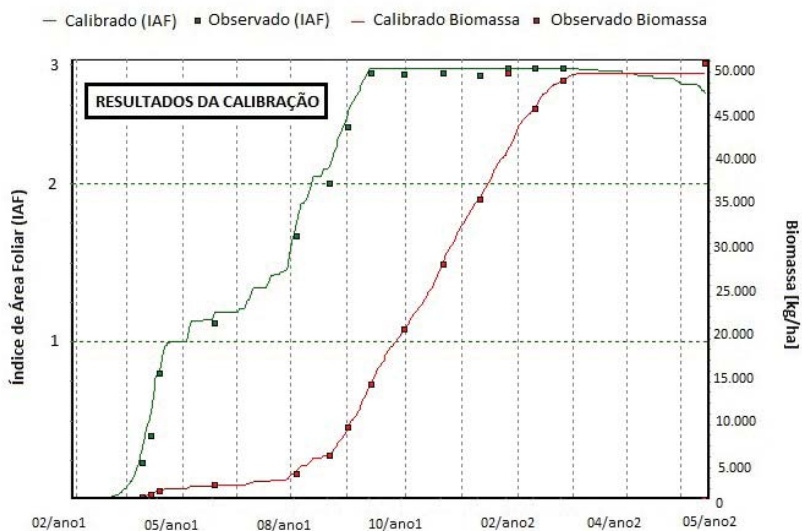
**Tabela 2.** Avaliação da produtividade (t.ha-1) da cana-planta cultivada nas áreas de cultivo de soja e amendoim em plantio convencional e direto nas áreas de reforma (safra 2012/2013).

Sistema de cultivo	Renuka/ Promissão / SP	Usina Guaira/ Guaira SP	Usina Colombo/Apta Pindorama, SP	Usina Viralcool /SP	Media
----- Produtividade da cana-planta, em TCH -----					
<b>Reforma com cultivo de soja</b>					
Plantio Direto	92	115	110	112	107,2
Convencional (pousio)	---	95	97	92	94,7
<b>Reforma com cultivo de amendoim</b>					
Plantio Direto	95	-----	108	---	101,5
Convencional (pousio)	83	-----	95	-----	89,0

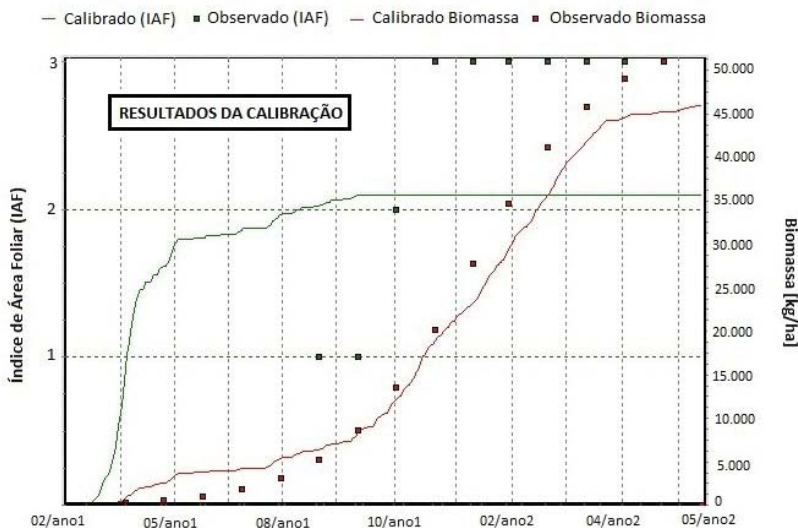
Fonte: Silva et al. (2016)



**Figura 2.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2008/2009, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.



**Figura 3.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2009/2010, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.



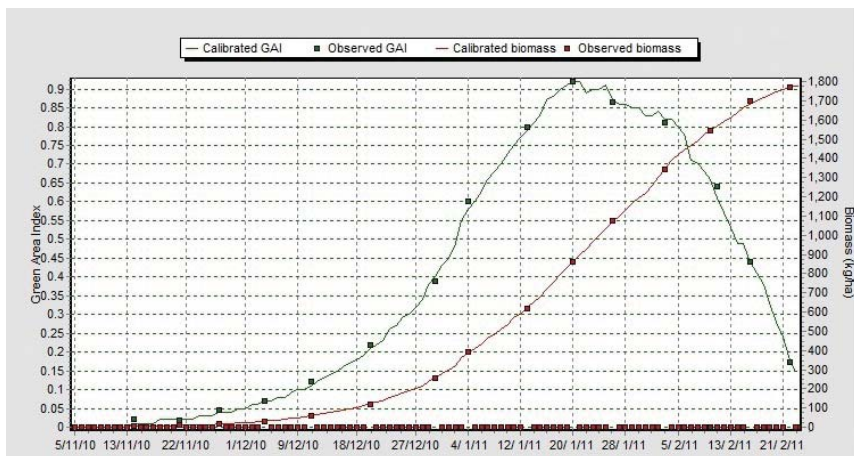
**Figura 4.** Curvas de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cana-de-açúcar, Safra de 2010/2011, as informações climáticas foram coletadas do banco de dados das estações meteorológicas do Agritempo, nas áreas experimentais.

**Tabela 3.** Parâmetros gerados pelo ajuste do programa cropsyst.

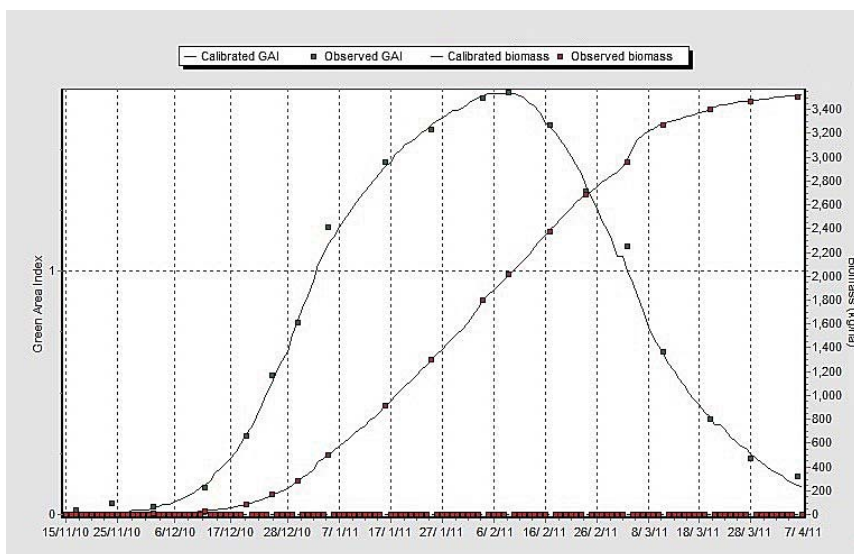
<b>Período</b>	<b>Área Específica (m<sup>2</sup>.kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Coefficiente de Particionamento (adm)</b>
2008/2009	12,06	3,06
2009/2010	15,11	3,06
2010/2011	10,18	3,18

**Tabela 4.** Parâmetros obtidos para a calibração da biomassa.

<b>Período</b>	<b>Calibrada (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Experimental (kg.ha<sup>-1</sup>)</b>
2008/2009	53.617,4	53.584,0
2009/2010	47.895,7	50.891,0
2010/2011	49.807,1	53.093,0



**Figura 5** – Curva de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*), experimentalmente cultivada na área de domínio da usina Colombo em Pindorama – SP.



**Figura 6.** Curva de calibração de biomassa e índice de área foliar para a cultura da soja (*Glycine max*), experimentalmente cultivada na área de domínio da usina Colombo em Pindorama – SP.



## Conclusões

A análise de cenários pode auxiliar na realização de testes laboratoriais e de campo mais direcionados, reduzindo gastos e assegurando a avaliação dos impactos ambientais decorrentes de práticas agrícolas em estudo. Ainda, a formulação de um modelo matemático permite identificar estratégias de ação mais promissoras por meio de técnicas de otimização, associadas ou não à simulação dos sistemas para máxima produtividade. Tal otimização associada à análise criteriosa de seus resultados, podem contribuir para o estudo e apoio à tomada de decisão nos mais diversos problemas do setor agropecuário. Neste trabalho, foram realizadas simulações com os resultados do modelo *CropSyst*, utilizando variáveis que descrevem o comportamento fisiológico da planta em resposta às condições ambientais. A acumulação de matéria seca (MS) foi calculada a partir da taxa de fotossíntese e manutenção da perda de respiração, senescência das folhas. O plantio direto associado à rotação de oleaginosas na reforma proporcionou de 10 a 15% de aumento na produtividade da cana-planta. O modelo *CropSyst* mostrou-se adequado para estimar a produtividade de cana, soja e amendoim na reforma do canavial.

## Referências

- ALAMBERT, M. R. **Estimação estocástica de parâmetros produtivos da soja: uso do modelo PPDSO em um estudo de caso em Piracicaba/SP**. 2010. 108f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Economia de São Paulo, 2010.
- BARBIERI, V.; SILVA, C. F.; DIAS-AMBRONA, C. G. H. **Modelagem de cana-de-açúcar para previsão de produtividade de canaviais no Brasil e na Austrália**. *CAI*, v. 39, p. 745-762, 2010.
- CARVALHO, I. C.C. Cenários e estratégias do setor sucroenergético - sustentabilidade socio-econômica. IN: SILVA, F.C. da et al.(editores técnicos). Sistema de produção mecanizada da cana de açúcar integrada à produção de energia e alimentos. Brasília, DF. 2015. p. 20-45.
- NAAB, J.B.; SINGH, PIARA; BOOTE, J.W.; JONES, J.W.; MARFO, K.O. Using the CROPGRO-Peanut Model to Quantify Yield Gaps of Peanut in the Guinean Savanna Zone of Ghana, ***Agronomy Journal***, v. 96, n. 5, p. 1231-1242, 2004.
- PINTO, C. M. **Respostas morfológicas e fisiológicas do amendoim, gergelim e mamona a ciclos de deficiência hídrica**. 80f. Dissertação (Mestrado em Fictotecnia) - Universidade Federal do Ceará, 2006.
- SILVA, F. C. da; CASTRO, A.; FREITAS, P. L. de; VIEIRA JUNIOR, P. A.; FINOTO, E. L. Modelagem de sistemas de produção e previsibilidade da produtividade de biomassa energética e de alimentos em rotação na reforma do canavial, na plataforma Cropsyst. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 10, 2016, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto: STAB, 2016. p. 127-132.
- TATSCH, J. D.; BINDI, M.; MORIONDO, M. A Preliminary Evaluation of the Cropsyst Model for Sugarcane in the Southeast of Brazil. In: BIND, M. I; BRANDANI, G.; DIBARI, C.; DESSÌ, A.; FERRISE, R.; MORIONDO, M.; TROMBI, G. (Org.). **Impact of climate change on agricultural and natural ecosystems**. Florença: Firenze University, 2009. p. 75-84.
- ÚNICA, 2016. Disponível em: <http://www.unica.com.br/dadosCotacao/estatistica/> . Acesso: 26 out. 2016a.
- VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M.; LIMA, F.; SILVEIRA, J. M. J. F. Produção brasileira de cana-de-açúcar e o deslocamento da fronteira agrícola no Estado do Mato Grosso. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 4, p.1-17, abr. 2008.