

POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DA CANA-DE-AÇÚCAR COM VISTAS À GERAÇÃO DE ELETRICIDADE NAS TERMOELÉTRICAS BRASILEIRAS

Hermas Amaral GERMEK*

Elias José SIMON**

Nilson Augusto VILLANOVA***

Tomaz Caetano Cannavan RÍPOLI****

RESUMO

A proposta deste estudo foi a de avaliar se a modelagem matemática pode ser utilizada para conhecer o potencial de energia dos resíduos da colheita da cana-de-açúcar para fins de geração de energia elétrica nas termoeletricas que empregam biomassa como combustível. A equação apresentada no estudo mostrou a viabilidade de ser empregada na simulação de cenários para aplicação dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo – MDL recomendados pela Agenda 21, eliminando o uso da prática das queimadas nas lavouras, podendo ser utilizada a equação para avaliação de cada negócio específico. No total a energia da biomassa canavieira é equivalente à 50% da energia produzida pela hidroelétrica de Itaipu. O método adotado foi o de pesquisa quantitativa no campo da pesquisa operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa. Colheita. Cana-de-açúcar. Cogeração. Modelagem.

INTRODUÇÃO

A modelagem de processos de produção tem sido utilizada para a simulação cenários, com a finalidade de diminuir riscos e custos na determinação de procedimentos operacionais em diversas atividades. WAGNER, (1986).

Entretanto, este instrumento de gestão vem sendo pouco empregado pelo setor sucroalcooleiro para avaliação e otimização de sua produção SILVA, (2003). Embora alguns poucos trabalhos existam, estes estão voltados à determinação da produtividade agrícola VILLANOVA, (2004), BEAUCLAIR et al, (s/d), e SARTORI, (2001).

O objetivo deste estudo foi:

- Determinar a potência gerada pelo resíduo vegetal da colheita quanto ao incremento de energia potencial que existe nesta biomassa em relação ao bagaço tradicionalmente utilizado, devido a sua importância na

* Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor do curso de Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga – FATEC-TQ do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza” CEETEPS/SCTDE e dos Cursos de Gestão de Agronegócios e de Administração de Empresas do Centro Universitário “Barão de Mauá” de Ribeirão Preto, E-mail: hermasag@ig.com.br

** Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor do Departamento de Economia da Faculdade de Ciência Agronômicas de Botucatu e do Curso de Agronegócios de Tupã da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” FCA/UNESP/SCTDE, E-mail: ejsimon@fca.unesp.br

*** Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor do Departamento de Ciência Exatas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP/SCTDE em Piracicaba, E-mail: navenova@esalq.usp.br

**** Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor do Departamento de Mecânica Agrícola da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo – ESALQ/USP/SCTDE em Piracicaba, E-mail: ripoli@esalq.usp.br

matriz energética de fontes alternativas do tipo biomassa.

A Necessidade do Aproveitamento da Biomassa e a Eliminação das Queimadas

O crescimento econômico das organizações, com preocupações ambientais e responsabilidade social, exigem que os empreendimentos passem a serem geridos pelos princípios de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, com os quais se comprometem a minimizar os impactos ambientais, atendendo aos apelos dos clientes, cada vez mais crescente na sociedade mundial conforme as recomendações da Agenda 21, segundo ONU, (1992).

Destaca-se neste sentido o uso de energia alternativa e de ciclo limpo e a redução da dependência dos recursos da natureza, ainda mais com a efetivação do Protocolo de Kyoto em 2005 e a possibilidade de comercialização do CER – *Certified Emission Reduction*.

Para CANÇADO, (2003) o particulado, ou seja, os carvãozinhos, resultante das queimadas deficientes dos canaviais são responsáveis por parte das poluições ambientais que aumentam os problemas das doenças respiratórias das populações das regiões canavieiras.

O Brasil domina a tecnologia de produção de álcool que é considerada uma fonte energética alternativa de ciclo limpo segundo KOBLOITZ, (2004) e ESTON, (1990). Possui terras agriculturáveis a serem cultivadas para a geração de combustível alternativo visando atender a demanda mundial e o comércio de crédito de carbono de acordo com ALCOBRAS, (2003), como “*commodity*” ambiental ou CER.

A Importância do Agronegócio Sucroalcooleiro

De acordo com GERMEK, (1985) a cana-de-açúcar, no Brasil precisa ser melhor aproveitada operando as unidades industriais como “ilha energética” e não meras produtoras de açúcar e de álcool, como vem ocorrendo nos últimos anos, tendo em vista a potencialidade de uso de outros produtos e sub-produtos do setor sucroalcooleiro e principalmente da possibilidade de cogeração para uso comercial pelas concessionárias de energia elétrica.

Para incentivar o uso de fontes alternativas, o Brasil criou o Programa de Incentivo à Fontes Alternativas - PROINFRA, GERMEK, (2005), estabelecendo valores para a comercialização da energia e a biomassa canavieira passou a ser remunerada na base de R\$93,77 por MWh, enquanto que a energia eólica na base de R\$180,00 por MWh segundo MASCARIN, (2005).

Para este autor, isto mostra que a política pública de incentivo discrimina o esforço do empreendedor brasileiro não remunerando o seu esforço em diversificar a atividade deste importante agronegócio.

Há que se destacar que a atividade de cultivo da cana-de-açúcar é um agronegócio super-alvitário, gera milhares de empregos e que o país domina a tecnologia agrícola, industrial e principalmente de fabricação de equipamentos para montagem de unidades produtoras de açúcar álcool, seus sub-produtos e sistemas termoeletrônicos de cogeração de acordo com MASCARIN, (2005), KOBLOITZ, (2004) e GERMEK, (1985).

Oportunidade Atual para o Aproveitamento da Biomassa Canavieira pelas Agroindústrias

O futuro chegou e em pleno século 21, com novas agroindústrias sendo implantadas no Brasil. Destaca-se que existem restrições às novas unidades hidroelétricas, por questões ambientais, apesar da necessidade de energia para seu parque industrial e existe legislação de incentivo às novas fontes de energia em consonância à Agenda 21.

A demanda mundial, por novas fontes alternativas tem sido resultante de programas em implementação de redução da queima de combustíveis fósseis na França, no México, no Canadá, na Suécia, na Austrália, na Índia, na Colômbia entre outros.

Destaca-se também a proibição nos Estados Unidos do uso do aditivo, originários do petróleo, MTBE – (Metil-Tércio-Butil-Eter), na gasolina como anti-detonante.

Entretanto, atualmente para consolidar a colheita manual tem sido aplicado a pré-operação de queimar os canaviais o que acarreta na perda de energia contida nesta fração da biomassa denominada “palhico”, segundo RIPOLI, (1991) e RIPOLI, (2004).

A Lei estadual paulista no. 10.547 de 02 de maio de 2000, estabelece regras para a execução das queimadas, o Decreto no. 45.869 de 22 de junho de 2001, que regulamentou a queima da palha da cana-de-açúcar em São Paulo e a Lei Estadual no. 11.241 de 19 de setembro de 2002, prevê que a partir do ano de 2020 a pré-operação de queimada dos canaviais deverá ser totalmente abolida no estado.

Com estas leis e decreto, as metas de redução já estão sendo implementadas nas áreas colhidas e são meios legais que procuram gerir o crescimento e o desenvolvimento do Estado de São Paulo. Porém, o prazo é muito longo para a eliminação total das queimadas e as perdas de energia economicamente viáveis existentes nos canaviais não podem continuar a ser desperdiçada bem como causando poluição atmosférica com prejuízos à saúde da população com os particulados de queima inadequada.

Além disso, o Brasil produz energia elétrica para o uso nas moradias e no parque industrial de fontes hídricas na razão correspondente de 95%, exigindo disponibilidade de chuvas regulares nas regiões das bacias hidrográficas.

Há que se destacar que as unidades industriais produtoras de açúcar e álcool no Brasil estão distribuídas geograficamente por todo o país, principalmente nas regiões que mais consomem energia elétrica, como é o caso do estado de São Paulo.

1. METODOLOGIA

A abordagem metodológica foi caracterizada como pesquisa quantitativa, partindo-se da conceituação básica do campo da pesquisa operacional. Neste sentido foi desenvolvido a “função objetivo” e as suas “equações de restrição”, tornando possível simular procedimentos operacionais em cenários alternativos, seguindo os procedimentos de modelagem recomendados por SILVA, (2003).

Deste modo partindo-se de um cenário genérico foi possível fazer considerações a respeito do potencial

existente na cultura canavieira, com vista ao aproveitamento de sua biomassa residual de colheita ou não, embora a equação fornecida, por este estudo, permita, a obtenção de resultados específicos para cada situação, de cada empreendimento sucroalcooleiro.

Os cálculos foram realizados com o auxílio de planilha eletrônica, permitindo gerar vários cenários e inferir resultados.

Foram estudados dois casos extremos tendo como base nas informações dos estudos de RIPOLI, (2004) sobre a disponibilidade de biomassa residual no campo com recolhimento mínimo de 30% ou máximo, tendendo a 100% e o rendimento agrícola do Estado de São Paulo definido por VIEIRA, (2003).

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação de simulação matemática será possível determinar sobre o potencial que o bagaço e principalmente os resíduos vegetais das colheitas da cana-de-açúcar podem colaborar na geração de energia elétrica por meio do uso da biomassa canavieira como fonte de combustível das termoeletricas.

O Brasil conta atualmente com 307 centrais energéticas das quais 128 estão instaladas no Estado de São Paulo que responde por cerca de 85% da produção do país. A área plantada subiu de 4,5 milhões de hectares para 5,5 milhões de hectares o que corresponde a menos de 1% da área agricultável brasileira e o processamento desta matéria-prima permite a produção de 55% do álcool e 45% do açúcar segundo a ÚNICA, (2005).

A cana-de-açúcar é produzida nas regiões Centro-sul e no Norte-nordeste permitindo duas safras anuais e segundo VIEIRA, (2003) o rendimento agrícola paulista foi na safra de 2003 de 71,3 t/ha.

Segundo a ALCOOBRAS, (2004) o Estado de São Paulo processou 327,14 milhões de toneladas de cana-de-açúcar resultando em 13,54 bilhões de litros de álcool e 22,05 milhões de toneladas de açúcar e com o fechamento da safra na região Norte-nordeste os resultados esperados serão de 385 milhões de toneladas de cana-de-açúcar possibilitando produzir 14 bilhões de litros de álcool e 26 milhões de toneladas de açúcar.

Cálculo do Potencial de Geração de Energia do Palhiço com Relação ao Bagaço

Para avaliar se é vantajoso o aproveitamento do palhiço, resíduo vegetal da colheita canavieira, quando na mesma não é realizada a pré operação de queima, como fonte energética complementar ao bagaço e remunerar a aquisição dos equipamentos para compor o processo tecnológico de adequação do tamanho do palhiço para ser agregado ao bagaço, como combustível tipo biomassa nas caldeiras, bem como investimento no complexo de cogeração considerando-se a vantagem da melhoria da qualidade ambiental pela queima controlada do resíduo da colheita ao invés da pré operação de queimada no canavial, foi desenvolvida a equação (1).

$$Et = Ep + Eb$$

$$Et = (TCH/3600) \times 4,18 \{ [TP/TC \times frp \times Qp] + [Tb/TC \times U \times Qb] \} \times r$$

sendo:

- Et = Energia gerada, em MWh
- TCH = Tonelada de cana hora
- Tp = Tonelada de palhiço/ha (mín. 4t e max. 12t)
- Tb = Tonelada de bagaço/Tonelada de cana (0,25)
- frp = Fração de recolhimento de palhiço, em décimos (30%; 50%; 70% e tendendo a 100%)
- U = Fração de bagaço excedente em relação ao consumo próprio (50%)
- Qp = Poder calorífico do palhiço, em 1500Mcal/t
- TC = Tonelada de cana/ha (71,3t/ha)
- Qb = Poder calorífico do bagaço, em 1800Mcal/t
- r = Rendimento global da transformação calorífica em eletricidade (min. 0,20 e max. 0,25)

Aplicando-se os valores na equação (1) foi possível determinar situações máximas e mínimas de utilização de bagaço, de palhiço ou ambas em diferentes proporções.

Para fins de exemplificação, está sendo apresentado na Tabela 1, o valor para uma unidade de processamento de 100TCH – Tonelada de Cana Hora e a remuneração da comercialização da energia elétrica pela tabela do Proinfra de 2005 para a região Sudeste de R\$93,77/MWh.

Neste caso o uso do palhiço, resíduo vegetal da colheita, e do bagaço podem gerar alternativas de potência de uso destas biomassas, que são apresentadas:

Tabela 01 - Potência gerada(MW) para 100TCH, nos diferentes usos possíveis da biomassa

Uso da biomassa	Aumento Biomassa (%)	Potência (MW)	Energia gerada na safra (MWh)	Faturamento bruto safra (R\$)
Bagaço (50%)*		5,220	25.056	2.349.501
Palhiço (Mínimo)	11,1	0,586	2.813	263.756
Palhiço (Máximo)	111,33	6,595	31.656	2.968.383
Bagaço + Palhiço (Mínimo)		5,806	27.869	2.613.257
Bagaço + Palhiço (Máximo)		11,815	56.712	5.317.884

TCH = Tonelada Cana Hora

*Considerando o bagaço excedente em relação ao consumo próprio

Além dos valores apresentados na Tabela 1, a adoção do uso do palhiço como combustível renovável permitirá enquadrar a empresa no sistema administrativo MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e desta forma criar condições para comercializar o “commodity” ambiental ou crédito de carbono CER, para os países que não terão condições de minimizar suas emissões de CO₂ na atmosfera.

Neste sentido, independentemente da quantidade de palhiço no campo, após a colheita, o disponível é bastante significativo o que justifica sua utilização para fins de cogeração não mais se recomendando a pré- operação de queima dos canaviais para a colheita, permitindo assim, a aplicação da legislação brasileira que regulamenta as queimadas e até a sua antecipação para antes de 2020, que conseqüentemente possibilitará a melhoria da qualidade ambiental com redução das doenças decorrentes da poluição ambiental, bem como da

adequação do setor para atender o Protocolo de Kyoto, sem, contudo implicar em perdas econômicas.

Cabe ressaltar que, a disponibilidade deste tipo de biomassa – palhico e bagaço excedente poderão, estar acessível nos períodos de safra canavieira e que corresponde à época de estiagem na região leste do país onde os reservatórios de água de hidroelétricas encontram-se nos seus níveis mínimos.

Considerando que o Brasil produz cerca de 385 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano segundo ALCOBRAS, (2005), ocupando uma área de 5,5 milhões de ha, e que a disponibilidade de palhico é na faixa de 4 a 12 toneladas por hectare segundo RIPOLI, (2004) e considerando o rendimento agrícola médio de 71,3t/ha de acordo com VIEIRA, (2003) é possível estimar qual seria a disponibilidade de energia elétrica a ser oferecida pelo setor canavieiro para as concessionárias, que sendo remunerada pela tabela do Proinfra de 2005, iria gerar recursos adicionais ao setor canavieiro permitindo gerar novos postos de empregos e garantir o fornecimento energético para a implantação de empreendimentos nos diversos setores brasileiros, já que as unidades estão distribuídas geograficamente pelo Brasil.

Mínimo:

$$E_t = E_p + E_b$$

$$E_{t(\text{mínimo})} = (385 \times 10^6 / 3600) \times 4,18 \{ [4 / 71,3 \times 0,30 \times 1.500] + [0,25 \times 0,50 \times 1.800] \} \times 0,20$$

Máximo:

$$E_t = E_p + E_b$$

$$E_{t(\text{máximo})} = (385 \times 10^6 / 3600) \times 4,18 \{ [12 / 71,3 \times 0,90 \times 1.500] + [0,25 \times 0,50 \times 1.800] \} \times 0,25$$

Resolvendo estas equações, nos cenários de condições mínimas e máximas obteve-se a tabela 2 com valores que permitem expressar o potencial brasileiro de uso da biomassa canavieira para fins de cogeração e a possibilidade de agregar renda na atividade.

Tabela 2. Resultados do potencial brasileiro para a geração de energia elétrica empregando a biomassa canavieira. (385 x 10⁶ toneladas de cana safra)

Biomassa	Potência MW	MWh x 10 ⁶	Faturamento R\$ x 10 ⁶
Bagaço (50%)	2.860	25,140	2.358
Palhiço (Mínimo)	576	5,049	473
Palhiço (Máximo)	2.898	25,392	2.381
Bagaço e Palhiço (Mínimo)	2.554	22,371	2.098
Bagaço e Palhiço (Máximo)	5.769	50,537	4.739

Há que se destacar que o emprego de tecnologias mais eficientes e melhorias de diminuição de perdas energéticas nas unidades industriais, cujo domínio o parque industrial de industriais de bens de capital e consultorias dominam no Brasil irá possibilitar melhores ganhos ainda.

É necessário criar políticas públicas para o setor energético levando-se em conta estes fatores.

Pois considerando que as 18 turbinas de 700MW da Hidroelétrica de Itaipu, no Rio Paraná, geram 12.600MW, ou seja 110,37x10⁶MWh/ano.

Os valores potenciais que o setor canavieiro pode oferecer com sua biomassa na geração de energia elétrica para as concessionárias da rede pública, em períodos de seca, é significativo em relação ao potencial de Itaipu que necessita de chuvas em seus reservatórios.

A relação de energia gerada pela hidroelétrica de Itaipu com relação ao potencial de geração de eletricidade pela biomassa canavieira é de 47,6%.

Isso implica que o setor sucroalcooleiro poderá contribuir com meia Itaipu sem ocupar terras agriculturáveis com inundações e sem as necessidades de novas linhas de transmissão e as usinas e destilarias já estão implantadas por todo o Brasil gerando também empregos. O uso da biomassa canavieira é estrategicamente importante para a disponibilidade de energia elétrica para o Brasil durante todo o ano.

Deve ser ressaltado que a geração de empregos pelo setor sucroalcooleiro para os brasileiros é muito representativa, abrangendo pessoas nas diferentes classes de trabalhadores e que se distribui geograficamente por todo o território nacional, movimentando uma cadeia importante para o agronegócio no Brasil, envolvendo empresas produtoras de bens de capital, produtores de insumos, unidades de treinamento e aperfeiçoamento da mão de obra, instituições de pesquisas, transportadoras e muito mais que direta e indiretamente contribuem para a melhoria da qualidade de vida da população com preocupações ambientais e responsabilidade social.

CONCLUSÕES

O potencial de incremento de energia de biomassa gerada pelo uso do palhiço adicional ao bagaço variou de 11,1% a 111,33% dependendo do percentual recolhido e da produção deste resíduo agrícola em função da variedade de cana-de-açúcar e das condições da cultura.

Quanto ao recolhimento de 30%, 50%, 70% e tendendo a 100% do palhiço recomendando-se que a adoção de um ou outro percentual seja definida por questões agrônômicas: de tratos culturais; perfilhamento; índice de infestação de insetos, entre outros exigindo estudos específicos na área e que já estão sendo realizados.

As equações oferecidas pelo estudo permitem aplicar valores específicos de cada empreendimento permitindo ao usuário determinar os valores auxiliando na análise de decisão gerencial de cada situação, ou seja, percentual de recolhimento, PCI do palhiço, relação palhiço cana-de-açúcar, fração de consumo próprio, etc, aplicado na equação 1, frente a possibilidade de faturamento aplicando-se a remuneração da comercialização nos dados específico sua disponibilidade de geração em MWh.

Deste modo, o uso de equações de simulação matemática atrelada à planilha de cálculo eletrônica, mostrou ser um instrumento simples de gestão na tomada de decisão gerencial do processo operacional, permitindo a simulação de cenários com o uso de modelagem.

RECOMENDAÇÕES

- Eliminar as queimadas de cana-de-açúcar na busca de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL preconizados pelo Protocolo de Kyoto permitindo estruturar a comercialização do crédito de carbono CER.
- Rever a política nacional de incentivo às fontes alternativas de energia, favorecendo as nacionais, que empregam mão de obra intensivamente e eliminando as dependências externas, conforme também preconiza, a Agenda 21.
- Rever o valor da remuneração da Tabela PROINFRA, pela rede pública à unidade de cogeração, que usa a biomassa, de modo a remunerar o capital investido na termo-elétrica e permitir o repasse correspondente à participação do industrial, do fornecedor de cana e do cortador, estimulando o uso para atingir os 1.100MW previsto para a comercialização para a safra 2005.
- Rever a equação de Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose-PCTS e incluir valor a fração fibra (biomassa) da matéria-prima, para fins de cogeração.
- Remunerar melhor o fornecedor de cana devido a comercialização à rede pública de energia elétrica cogerada pela termo-elétrica de biomassa.
- Remunerar melhor o cortador de cana pelo corte sem a pré operação de queimada.

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate if the mathematical modeling could be used in the evaluation of scenes, allowing to know the energy potential of the residues of the harvest of the sugar-cane for ends of generation of electric energy in the thermoelectric ones that they use biomass. The equation presented in this study is showed to be viable the use of the simulation of scenes for the application of mechanisms of Clean Development - MDL praised for the recommendations of Agenda 21, eliminating the burning of agricultural residues, and it could be used specifically in each business to be evaluated. The energy in biomass of the sugar-cane is equivalent to 50% of the Itaipú hydroelectrically. The method was the quantitative recharge in the field of the operational recharge.

KEYWORDS: Biomass. Harvest. Sugar-cane. Cogeneration. Modeling.

REFERÊNCIAS

- ALCOOBRÁS. Reportagem de Capa: Possibilidade de abertura do mercado de carbono estimula investimento em co-geração de energia. **Rev. Alcoobrás**; São Paulo; ano VII - no 80 – jul./ago., 2003.
- ALCOOBRAS Procura por álcool demanda investimentos em novas usinas, **Rev. ALCOOBRÁS**, ed. 88 Nov./Dez. 2004.
- BEAUCLAIR, E.G.F. ; PENTEADO, C.R. et KAZAN, B. Planejamento estratégico otimizado da agroindústria sucroalcooleira: Uso de um sistema computadocional de suporte dee decisão. In IV Semana da cana-de-açúcar de Piracicaba. (Sem data)
- CANÇADO, J.E.D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba**. 2003. 201 p., Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- ESTON, N. E. Etanol o combustível despoluente. **Revista. AEA - Associação Brasileira de Energia Alternativa** no. 3/4 v. 5 mai./jul. 1990.
- GERMEK, H.A. **Análise de decisão sobre o aproveitamento do palhico da cana-de-açúcar, posto na unidade industrial, para fins de cogeração**, TESE (Doutorado), 2005, 107 p., FCA/UNESP - Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2005.
- GERMEK, H.A. Tecnologia e novos produtos, armas dos fabricantes de equipamentos no proálcool. p. 4 - 26, **Revista do álcool**, São Paulo set./out., ano 4, n. 31, 1985.
- KOBLITZ, L.O. Contra fatos não há argumentos. **Jornal de Piracicaba**. Caderno Opinião, 22 de jul. 2004.
- ONU 1992. Cúpula da Terra: Resumo da AGENDA 21, Centro de Informações das Nações Unidas no Brasil, Rio de Janeiro, 1a Tradução, 46p., 1992.
- RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (saccharum spp) para fins energéticos**. 2004 213 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.
- RIPOLI, T. C. C. **Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) : equacionamento dos balanços energético e econômico**. 1991. 150 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- SARTORI, M.M.P. **Otimização da Produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar**, TESE (Doutorado), 2001, 108p., FCA/UNESP— Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu-SP, 2001.
- SILVA, J. C. T. Pesquisa operacional (apostila), Faculdade de Engenharia de Produção da UNESP, Bauru,

São Paulo, 2003.

ÚNICA União da agroindústria canavieira de São Paulo. Cana de açúcar: origem da atividade. Site: www.única.com.br, acesso em 07 de março de 2005.

SÃO PAULO (estado) Decreto 45.869 de 22 de junho de 2001 que regulamenta, no que concerne à queima da palha da cana-de-açúcar, a Lei no. 10.547 de 2/05/2000 que define procedimentos, proibições, estabelecendo regras de execução e medidas de precaução a serem obedecidos quanto do emprego do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais, e dá outra providencias correlatas D.O. E., 22 de jun., 2001.

SÃO PAULO (estado) Lei no. 10.547 de 02 de maio de 2000 que define procedimentos, proibições, estabelecendo regras de execução e medidas de precaução a serem obedecidas quanto do emprego do fogo em práticas agrícolas, pastoris e florestais, e dá outras providencias correlatas. D.O. E., 03 de mai., 2000.

SÃO PAULO (estado) Lei no. 11.241 de 19 de setembro de 2002 que dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar D.O. E., 20 de set., 2002.

VIEIRA, G **Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte cana-de-açúcar, manual e mecanizado, com e sem queima prévia.** 2003, 114p., Dissertação (Mestrado) FCA/UNESP - Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2003.

VILLANOVA, N.A., DOURADO, D.N., MANFRON, R.A., PILAU, F.G. et ROJAS, J.S.D. Modelo de estimativa da produtividade de cana-de-açúcar baseado na radiação solar e temperatura do ar, X^o Reunion Argentina y Latino Americana de Agrometeorologia, Mar Del Plata - Argentina, Ago., 2004.

WAGNER, H.M. Pesquisa operacional. Ed. Guanabara, 2^a ed., Rio de Janeiro, 1986.