

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIAS DO PROTOCOLO AGROAMBIENTAL DO SETOR
SUCROALCOOLEIRO NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, ÀLCOOL E
ENERGIA: ESTUDO DE CASO EM UMA USINA NO INTERIOR DO
ESTADO DE SÃO PAULO**

FÁBIO MAEDA

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Fevereiro de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**INFLUÊNCIAS DO PROTOCOLO AGROAMBIENTAL DO SETOR
SUCROALCOOLEIRO NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, ÀLCOOL E
ENERGIA: ESTUDO DE CASO EM UMA USINA NO INTERIOR DO
ESTADO DE SÃO PAULO.**

FÁBIO MAEDA

Orientador: Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim

Co-orientador: Prof. Dr. Anselmo José Spadotto

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP

Fevereiro de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Maeda, Fábio, 1970-
M184i Influências do protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro na produção de açúcar, álcool e energia: estudo de caso em uma usina no interior do Estado de São Paulo / Fábio Maeda. - Botucatu : [s.n.], 2012
vi, 78 f. : il., color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Odivaldo José Seraphim
Co-Orientador: Anselmo José Spadotto
Inclui bibliografia

1. Sustentabilidade. 2. Cana-de-açúcar. 3. Colheita mecanizada. I. Seraphim, Odivaldo José. II. Spadotto, Anselmo José. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

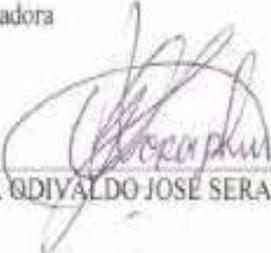
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "INFLUÊNCIAS DO PROTOCOLO AGROAMBIENTAL DO SETOR
SUCROALCOOLEIRO NA PRODUÇÃO DE AÇÚCAR, ALCOOL E
ENERGIA: ESTUDO DE CASO EM UMA USINA NO INTERIOR DO
ESTADO DE SÃO PAULO"

ALUNO: FABIO MAEDA

ORIENTADOR: PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM



PROF. DR. JOSÉ FERNANDO PREZENÇO



PROF. DR. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Data da Realização: 16 de fevereiro de 2012

Dedico este trabalho a memória de meu pai João, a minha mãe Tosiko, que muito contribuíram para a minha formação e educação. A minha esposa Eliana Yumi, minha companheira incondicional, amorosa, carinhosa, dedicada, amiga e que me auxilia e apoia a cada dia no alcançar de meus sonhos. As minhas filhas Caroline e Fernanda, pelas horas que estive ausente, mas que sempre compreenderam e me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA –UNESP), campus de Botucatu e à Coordenadoria do Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, pela oportunidade.

Ao orientador Prof. Dr. Odivaldo José Seraphim, pela orientação, incentivo, paciência e confiança durante a realização do mestrado.

Ao Prof.Dr. Anselmo José Spadotto, meu co-orientador, pelas sugestões e estímulo durante o estudo.

Aos professores Doutores: José Fernando Presenço, Kleber Pereira Lanças, Paulo Roberto Arbex Silva, Zacarias Xavier de Barros pelos conhecimentos recebidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, da seção de Pós Graduação e da biblioteca, pela atenção recebida durante o estudo.

Aos amigos Jair Mário Fontana, José Roberto Pereira dos Santos, Wilson Bassan, Francienne Gois Oliveira, pela grande ajuda na elaboração do trabalho.

A todos os colegas do curso de Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura, pela união e amizade.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço.

SUMÁRIO

1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Cana-de-açúcar	7
4.1.1 Histórico	7
4.1.2 Palhiço	8
4.2 Aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar	13
4.2.1 Cogeração de energia elétrica.....	15
4.3 Formas de Colheita da cana-de-açúcar.....	18
4.3.1 Coleta do palhiço da cana-de-açúcar	18
4.3.2 Queimada da cana-de-açúcar.....	21
4.3.3 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar.....	22
4.4 Legislação sobre a queimada de cana-de-açúcar	25
4.4.1 O Protocolo Agroambiental do Estado de São Paulo.....	28
4.4.2 Zoneamento Ambiental do Estado de São Paulo	30
4.4.2.1 Zoneamento Agroambiental do Estado de SP para o Setor Sucroenergético	30
4.4.2.1.1 Classificação do Estado	31
4.4.2.1.2 Quantificação das áreas.....	32
4.4.2.1.3 Licenciamento agroambiental	32
4.5 Uso de imagens de satélite no estudo da cultura canavieira	33
5. MATERIAL E MÉTODOS	35
5.1 Material	35
5.1.1 Caracterização da Usina	35

5.2 Métodos	38
5.2.1 Coleta de informações.....	38
5.2.2 Metodologia de pesquisa da legislação	39
5.2.3 Elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo e declividade	39
5.2.3.1 Imagens de satélite.....	40
5.2.3.2 Mapa de ocupação do solo	41
5.2.3.3 Mapa de declividade.....	42
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
6.1 Protocolo Agroambiental.....	43
6.1.1 Queima da palha da cana	44
6.1.2 Protocolo Agroambiental para a proteção dos recursos hídricos no Estado de São Paulo.....	45
6.1.2.1 Queima da palha da cana e proteção dos solos.....	46
6.1.2.2 Consumo de água na indústria sucroenergética.....	46
6.1.2.3 Cobertura florestal do Estado de São Paulo	47
6.1.3 Produção de cana de açúcar, etanol e açúcar no Estado de São Paulo	47
6.1.4 Produção da usina.....	49
6.1.5 Preços do açúcar, álcool e da energia	52
6.1.6 Caldeira e energia.....	54
6.1.7 Colheita de cana-de-açúcar queimada e mecanizada	58
6.2 Mapa de declividade	59
6.3 Análise espacial dos usos do solo	61
7 CONCLUSÕES	66
8 REFERÊNCIAS	68

1. RESUMO

O homem sempre se utilizou do fogo para a limpeza de terrenos. Com os canaviais não foi diferente. Até bem pouco tempo atrás, a queimada para a limpeza das plantações de cana era comumente utilizada para facilitar a colheita, mecânica ou manual, e aumentar seu rendimento. Mas essa prática gera uma série de problemas. Um exemplo são os efeitos nocivos à saúde humana, tais como doenças pulmonares, cardiovasculares e alguns tipos de câncer. A queimada também prejudica o meio ambiente devido, por exemplo, à emissão de poluentes atmosféricos (monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado) e de CO_{2eq} , à emissão de gases do efeito estufa e à diminuição da fertilidade e estrutura dos solos. Visando a solução desses problemas, foi criada a Lei 11.241/2002, regulamentada pelo Decreto-lei 47.700/2003, e a posterior assinatura do Protocolo Agro-ambiental, que reduziu os prazos para a eliminação das queimadas como prática de preparo para a colheita da cana-de-açúcar, o que resultou em um grande impulso ao processo de mecanização. Tal processo tornou disponível uma grande quantidade de bagaço e palhiço da cana-de-açúcar, material aproveitável como matéria-prima da cogeração de energia nas usinas, havendo, a partir do ano de 2006, a necessidade de as usinas instalarem novas caldeiras mais eficientes, gerando mais energia e aumentando a produção de açúcar e de álcool. O objetivo deste trabalho foi analisar as influências da Lei 11.241/2002 e em particular do Protocolo Agroambiental, na produção de uma usina de açúcar, álcool e energia do Estado de São Paulo. A metodologia deste trabalho foi baseada em dados técnicos e administrativos de uma usina sucroalcooleira do

interior do Estado de São Paulo e em dados solicitados ao Departamento de Desenvolvimento Sustentável da Secretaria do Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Foram utilizadas também informações técnicas da União dos Produtores de Bioenergia (UDOP) e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Para adequarem-se a essa nova legislação e às normas estaduais, as usinas de açúcar e álcool precisaram mecanizar a colheita e redimensionar seus processos industriais, tornando-os tecnologicamente mais eficientes. Todo esse novo panorama resultou no aumento da produção de açúcar, álcool e energia no Estado de São Paulo no período estudado.

Palavras-chave: **sustentabilidade, cana-de-açúcar, colheita mecanizada.**

INFLUENCES AGRI-ENVIRONMENTAL PROTOCOL OF THIS SECTOR IN SUGAR, ALCOHOL AND ENERGY: A CASE STUDY IN A PLANT WITHIN THE STATE OF SAO PAULO.

Botucatu, 2012. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FÁBIO MAEDA

Adviser: ODIVALDO JOSÉ SERAPHIM

Co-adviser: ANSELMO JOSÉ SPADOTTO

2. SUMMARY

Man has always used fire for land cleaning. With the cane plantations it was not different. Until very recently, the fire for cleaning the cane plantations was commonly used to make easier the mechanical or manual harvest, and increase its income. But this practice generates a series of problems. An example would be the harmful effects to human health, such as lung diseases, heart disease and some kinds of cancer. The fire also damages the environment, for example, due to the emission of air pollutants (carbon monoxide, hydrocarbons and articulated material) and due to CO₂_{eq}, the emission of greenhouse gases and the decrease of the fertility and soil structure. Aiming the solution of these problems, the Law number 11.241/2002, regulated by Law-Decree number 47.700/2003 was created, and the subsequent signing of the agri-environment protocol, which reduced the time for the elimination of burning as practical preparation for the harvest of sugar cane, which turned out in a great impulse to the mechanization process. This process has made available a large amount of sugar cane bagasse and trash, which are useful material as feedstock in the cogeneration of energy in power-plant. This way, since the year 2006 it was necessary for the industries to install more efficient boilers, generating more energy and increasing the production of sugar and alcohol. The objective of this study was to analyze the influences of Law 11.241/2002 and to

participate in the Agro-environmental Protocol, the production of sugar, alcohol and energy of the State of São Paulo. The methodology of this study was based on technical and administrative data of a sugar cane windmill plant of the State of São Paulo country, such as data requested for the Sustainable Development Department of the Secretary of State for the Environment of the State of São Paulo. Data were also collected in the Bioenergy Producers Union and at the Trading Chamber of Electricity. To adapt to this new legislation and State standards, the sugar cane and alcohol mills needed to mechanize the harvest and resize their industrial processes, making them technologically more efficient. All this new situation resulted in the increase of sugar cane, alcohol and energy production in the State of São Paulo in the period studied.

Keywords: sustainability, sugar cane, mechanized harvesting.

3. INTRODUÇÃO

A questão ambiental está no centro das discussões sobre a produção de cana-de-açúcar. A queimada, realizada durante a pré-colheita, é responsável por parte significativa da emissão de substâncias para a atmosfera, piorando a qualidade do ar e produzindo efeitos nocivos para a saúde humana.

Visando a evolução do sistema sucroalcooleiro e a eliminação de problemas como os que foram citados, foi criada a Lei 11.241 de 19 de setembro de 2002, e os Decretos 47.700 de 11 de março de 2003 e 49.391 de 21 de fevereiro de 2005, que determina regras para a eliminação gradativa da queimada de cana-de-açúcar.

O artigo 2º da Lei 11.241/2002 estabelece prazo para a eliminação da queima do palhicho em 2021 para plantações em áreas mecanizáveis iguais ou superiores a 150 hectares. Para áreas menores do que 150 hectares e nas áreas não mecanizáveis o prazo vai de 2011 a 2031. O prazo encerra-se em 2031 para áreas de maior declividade.

Nos locais onde não é possível mecanização no corte e o custo da colheita manual sem queimada geraria grande perda de competitividade é esperada a mudança do cultivo para áreas com topografia adequada.

O Estado de São Paulo tem um acordo que prevê ações para o desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar. Esse Protocolo de Cooperação foi assinado pelo Governo do Estado de São Paulo, através da Secretaria do Meio Ambiente, Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento e pela União da Agroindústria

Canavieira do Estado de São Paulo, reduzindo os prazos para a eliminação da queimada. De acordo com o Protocolo, assinado em 04 de junho de 2007, em terrenos com declividade até 12% o prazo final para a eliminação da queimada passou de 2021 para 2014, adiantando o percentual de cana não queimada em 2010 de 50% para 70%. Em terrenos com declividade acima de 12%, o prazo passou de 2031 para 2017, adiantando o percentual da cana não queimada em 2010 de 10% para 30%.

Juntos, a lei, as pesquisas científicas e os avanços tecnológicos tentam aproximar o setor sucroalcooleiro de conceitos de desenvolvimento sustentável. Pode-se destacar o melhor desempenho na geração de energia através do uso de resíduos da cana-de-açúcar, em especial dois materiais gerados em grande escala pela mecanização da colheita – o bagaço da cana-de-açúcar e o palhiço.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise de influências da Lei 11.241/2002 e em particular do Protocolo Agroambiental, na produção de uma usina de açúcar, álcool e energia do Estado de São Paulo.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar desenvolve-se em formato de touceira, sendo a parte aérea formada por colmos, que são um caule típico das gramíneas, e também por folhas, inflorescências e frutos. A parte subterrânea é formada por raízes e rizomas, que são caules subterrâneos espessados, ricos em reservas, providos de nós e entrenós e de crescimento horizontal (SEGATO et al., 2006).

4.1.1 Histórico

A origem exata da cana-de-açúcar é incógnita. Consta que essa gramínea de nome científico *Saccharum ssp.* já era encontrada na Antiguidade. Há cerca de 20 mil anos, a planta teria se tornado familiar aos povos do Pacífico Sul. Estudos apontam que o cultivo se iniciou na Nova Guiné, e que os indianos tenham sido os primeiros a extrair seu suco e produzir o açúcar de cana (LEÃO, 2002).

No Brasil, sua origem é de responsabilidade dos colonizadores portugueses. O país demonstrou vocação para a produção da planta. Em São Vicente, no litoral paulista, foi construído o primeiro engenho, em 1532. Mas no final do século XVI eram

os Estados de Pernambuco e Bahia os principais pólos produtores, com seu clima e solo adequados e o fácil escoamento para o mercado europeu via portos de Salvador e Recife. A posição brasileira no ranking da produção mundial teve altos e baixos. No começo do século XVII éramos o maior produtor. No fim do século XIX ocupávamos o 5º lugar, devido entre outros fatores ao baixo nível técnico da produção. A modernização da indústria veio na esteira da abolição da escravatura, abrindo ao país as portas da era do açúcar centrifugado (ARBEX, 2001).

Entre as décadas de 1970 e 1980, seguidas crises do petróleo incentivaram os estudos com fontes de biomassa – como sorgo, mandioca e a cana-de-açúcar – como opção de combustível limpo e de origem renovável. Em 1975 surge o Proálcool (Programa Nacional do Álcool), sob o Decreto 76.593, com perspectivas econômicas que se estenderiam até o surgimento de veículos movidos a álcool (ARBEX, 2001; BANCO DE DADOS DE BIOMASSA NO BRASIL, 2009; UNICA, 2009).

4.1.2 Palhiço

Segundo Corrêa Neto (2001), além do bagaço da cana, que é o subproduto do processo de moagem disponível em usina e usado como insumo energético, a cana-de-açúcar oferece ainda esta segunda biomassa, o palhiço, que também precisa ser recolhido e levado à usina para uso com fins energéticos. Para o mesmo autor, a disponibilidade de palhiço varia, entre outros fatores, segundo a variedade da planta, a idade da cultura, o estágio de corte, a situação climática, o tipo de colheita (com ou sem queimada, manual ou mecanizada) e a altura de corte dos ponteiros. Para o uso energético do resíduo é necessária sua contínua disponibilidade – o que aponta para a necessidade de armazenagem fora dos períodos de safra.

De acordo com a definição de Ripoli, T. e Ripoli, M. (2009), palhiço é o material que fica sobre o solo após a colheita mecanizada (antes eliminado pela queima da plantação na fase da pré-colheita), constituído de folhas verdes, palha, ponteiros e suas frações, fracos de colmos (industrializáveis ou não), frações de raízes e partículas de terra a

eles aderida. Segundo Ripoli (2001), podem permanecer no campo de 9 a 28 t.ha⁻¹ de palhiço, dependendo das condições da cultura.

A quantidade de palhiço por hectare de é 14,4 t de matéria seca, equivalente a 14% dos colmos de cana-de-açúcar, segundo o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) da Coopersucar (2005). Para os 350 milhões de toneladas de cana-de-açúcar produzidos nacionalmente há um potencial de coleta de 49 milhões de toneladas de palhiço matéria seca.

Foram encontradas por Ripoli et al. (1990), para três variedades de cana-de-açúcar (SP70-1284, SP70-6163 E SP70-1143), variação de 17,40% a 31,50% em massa de palhiço, em relação à quantidade de colmos industrializáveis contida no canavial.

Abramo Filho et al. (1993) apontaram o resultado de um trabalho sobre resíduos de colheita mecanizada de cana crua: cerca de 21,3 t.ha⁻¹ do resíduo úmido foram deixadas no campo; quanto ao palhiço com base em matéria seca, foram deixadas cerca de 15,1 t.ha⁻¹.

O desempenho operacional dos equipamentos de um sistema de enleiramento e recolhimento de palhiço de cana a granel foi analisado por Franco (2003) em uma área experimental. O autor calculou a produtividade com base na somatória do palhiço que ficou no solo e do que foi recolhido mecanicamente. O resultado foi uma média de resíduo úmido de 24,13 t.ha⁻¹.

Sartori (2001) defendeu que a disponibilidade de palhiço muda de acordo com a variedade de cana e os diferentes números de corte

Segundo Furlani Neto et al. (1997), após a colheita mecânica em canaviais sem queima prévia, a quantidade de palhiço encontrada é de 24,32 t.ha⁻¹ para SP 71-1406 e 10,25 t.ha⁻¹ para SP71-6163; contra 13,51 t.ha⁻¹ e 8,09 t.ha⁻¹, respectivamente, após a colheita mecânica com cana queimada.

Estudos sobre técnicas matemáticas para aproveitamento do resíduo pelo menor custo, feitos por Tolentino et al. (2007), apontam que a quantia de palhiço úmido que fica no campo após colheita mecânica é de 23,73 t.ha⁻¹ para RB72-454; 21 t.ha⁻¹ para RB80-6043; 26,90 t.ha⁻¹ para RB85-5536; 24,10 t.ha⁻¹ para SP79-1011; e 29,90 t.ha⁻¹ para RB 85-5113 – em média, 25,13 t.ha⁻¹.

Com técnicas de agricultura de precisão, Ripoli (2002) realizou o mapeamento do palhicho enfardado. A massa do resíduo apresentou grande variação (de 4,74 t.ha⁻¹ a 14,56 t.ha⁻¹, com média de 8,79 t.ha⁻¹), apontando para a necessidade de cuidados nas amostragens e na determinação da produtividade do resíduo.

De acordo com estudos de Hassuani et al. (2005), verifica-se que a quantidade de palhicho pode variar de 110 kgpalhicho/ton.cana a 170 kgpalhicho/ton.cana, com média de 140 kgpalhicho/ton.cana (valores em matéria seca levantados durante as safras de 1997/1998 e 1998/1999). Segundo o autor, as variedades pesquisadas são suficientemente representativas das diversas regiões onde a cana é cultivada no país.

Avaliando parâmetros de desempenho para recolhimento por enleiramento e enfardamento prismático do resíduo da cana colhida mecanicamente e sem queima prévia, Torrezan (2003) notou uma produtividade de 27 t.ha⁻¹, com palhicho formado por folhas (68,93%) colmos (21,44%), ponteiros (2,27%) e matérias estranhas totais (6,36%).

Ripoli et al. (1990) verificou, em três variedades de cana recém-colhidas manualmente na região de Ribeirão Preto (SP), a quantidade dos constituintes do palhicho. Em outra pesquisa, na região de Piracicaba, o autor estimou a quantidade de constituintes do palhicho em outras duas variedades de cana, considerando crua e queimada. A Tabela 2 demonstra os resultados (RIPOLI, 1991).

Tabela 2 – Constituintes do palhicho.

	SP71-1406 ¹ (t.ha ⁻¹)		SP70-1284 ²	SP70-6163 ²	SP70-1143 ²
	Crua	Queimada	(t.ha ⁻¹)	(t.ha ⁻¹)	(t.ha ⁻¹)
			Corte manual	Corte manual	Corte manual
Ponteiros	8,02	5,91	27,63	31,17	24,38
Folhas verdes	16,87	10,26	33,91	37,12	40,36
Palhas	8,36	0,33	38,46	31,71	35,26
Índice de palhicho (%)	25	15	17	31	25

Fonte: (1) Ripoli (1991); (2) Ripoli et al. (1990)

Furlani Neto et al. (1997) realizou estudo com as variedades SP71-1406 no 4º corte e SP71-6163 no 3º corte, colhidas com e sem queima prévia, e concluiu que a queima prévia causa perda energética em termos de PCs de 96.830,31 MJ.kg⁻¹ (39,2%) para a primeira variedade e de 281.754,74 MJ.kg⁻¹ (59%) para a segunda. Os poderes caloríficos são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Poder calorífico superior do resíduo pós-colheita.

Variedade de cana-de-açúcar	Tipo	Poder calorífico superior (MJ.kg⁻¹)
SP71-1406	Cana crua	18,26
	Cana queimada	18,53
SP71-6163	Cana crua	19,50
	Cana queimada	18,76

Fonte: Furlani Neto et al. (1997).

Segundo Michelazzo (2005), o custo de transporte do palhiço diminui com o aumento da massa específica de carga transportada. A partir de 200 kg.m⁻³ d massa específica, aproximadamente, o custo cai. A 500 kg.m⁻³, o custo não se altera.

Sartori (2001) quantificou o palhiço e determinou seu potencial energético num experimento com as variedades RB72-454 no 2º e no 4º cortes; SP79-1011 no 3º e 4º cortes; e RB 80-6043, SP80-1842, RB83-5486 e RB 85-5536, todas no 1º corte. A umidade média foi de 76,09% para os ponteiros, 11,27% para as folhas secas e 61,32% para as folhas verdes. A média do poder calorífico superior foi de 18,37 MJ.kg⁻¹ para os ponteiros, 18,51 MJ.kg⁻¹ para as folhas secas e 18,72 MJ.kg⁻¹ para as folhas verdes. Em um segundo experimento, as variedades de cana estudadas foram RB72-454, SP79-1011, RB83-5486, RB85-5536 e RB85-5113, todas do 1º ao 4º corte. Teor de umidade e poder calorífico superior e inferior para folhas secas, ponteiros e folhas verdes observam-se nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Umidade dos constituintes do palhiço de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Componentes	Umidade (%)				
	RB72-454	RB83-5486	RB85-5113	RB85-5536	SP79-1011
Folhas secas	13,70	14,70	14,49	14,12	18,07
Ponteiros	77,34	76,47	78,13	76,47	76,95
Folhas verdes	60,80	59,90	62,04	61,83	61,14

Fonte: Sartori (2001).

Tabela 5 – Poder calorífico superior dos constituintes do palhiço de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Componentes	Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)				
	RB72-454	RB83-5486	RB85-5113	RB85-5536	SP79-1011
Folhas secas	18,94	18,88	19,08	18,94	18,78
Ponteiros	18,09	18,02	17,78	17,97	17,90
Folhas verdes	19,09	19,02	18,96	18,89	18,86

Fonte: Sartori (2001).

Tabela 6 - Umidade dos constituintes do palhiço de diferentes variedades de cana-de-açúcar.

Componentes	Poder calorífico superior (MJ.kg ⁻¹)				
	RB72-454	RB83-5486	RB85-5113	RB85-5536	SP79-1011
Folhas secas	17,63	17,54	17,73	17,60	17,47
Ponteiros	16,68	16,66	16,37	16,60	16,58
Folhas verdes	17,81	17,82	17,60	17,57	17,58

Fonte: Sartori (2001).

O IP (Índice de Palhiço) mede a relação percentual na unidade de massa entre a quantidade de palhiço e a de colmos industrializáveis, num canavial (RIPOLI & RIPOLI, 2007).

Torrezan (2003) observou uma produtividade média de colmos industrializáveis de 78,00 t.ha⁻¹ e uma produtividade média estimada de palhiço de 27,01 t.ha⁻¹ com umidade de 22,80% -- um índice de palhiço de 34,63%. Com base na matéria seca a produtividade estimada de palhiço foi 20,85 t.ha⁻¹, um IP de 26,73%.

4.2 Aproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar

Considerado um resíduo industrial, o bagaço era inicialmente queimado na usina para geração de calor e, principalmente, para reduzir o ônus da indústria. Seu uso como subproduto, em especial como insumo energético, veio depois, com a crise do petróleo e com a possibilidade de redução de custos no setor sucroalcooleiro.

Pellegrini (2002) ressalta que as usinas sucroalcooleiras, ao utilizar o bagaço como combustível, podem se tornar auto-suficientes em energia térmica e elétrica, destacando-se dos demais ramos industriais.

Entre as vantagens que tornam o uso do bagaço uma alternativa competitiva com relação ao óleo combustível, Pellegrini (2002) cita: a) a lavoura da cana é organizada e os custos de produção do bagaço são debitados no produto nobre, o açúcar e/ou o álcool; b) o sistema de transporte entre campo e indústria é organizado e vinculado ao mesmo produto nobre; c) a produção de bagaço é grande e concentrada e o produto é liberado semibeneficiado depois da moagem da cana.

Paoliello (2006) assim elenca as características do bagaço como combustível: a) a produção por tonelada de cana processada é de 250 a 260 kg; b) a energia útil do vapor gerado é de 4,79 MJ.kg⁻¹ do bagaço; c) a produção de vapor por quilo de bagaço é de 1,9 kg vapor; d) o poder calorífico inferior (bagaço úmido) é de 7,53 MJ.kg⁻¹; e) o poder calorífico inferior (bagaço após a secagem) é de 10,56 MJ.kg⁻¹.

O autor se refere a um estudo da CETESB para mostrar que empecilhos ao uso do bagaço como alternativa energética poderiam ser contornados a baixo custo por meio da prensagem, fermentação natural e aeração num período de 20 dias, alcançando-se 20% da umidade no bagaço e densidade energética seis vezes maior. O processo facilitaria o armazenamento e o transporte do material a até 200 quilômetros de

distância da fonte. O estudo mostra que a queima é o processo mais adequado, comparando-se ao bagaço úmido, com viabilidade semelhante à do óleo combustível, aumentando o rendimento térmico das caldeiras à ordem de até 85%.

Macedo et al. (2004) ressalta o papel relevante da agroindústria da cana na produção de energia e na amenização dos gases do efeito estufa (GHG), uma vez que oferece alternativas à queima de combustíveis fósseis e ao gás natural. Estudos comparativos deverão apontar o balanço energético e a real emissão e sequestro desses gases no processo que envolve o consumo de energia desde o plantio, a colheita e o transporte até o processamento e o consumo dos produtos da cana-de-açúcar.

Segundo Corrêa Neto (2001), a relação qualidade de bagaço *versus* produtividade da cana pode ser estabelecido pela variedade da planta e sua proporção de fibras, de acordo com a equação:

em que:

$$Qb = (Pc.Fc).(1-Ub)^{-1}$$

Qb = quantidade de bagaço produzida, em toneladas

Pc = produtividade da cana-de-açúcar, em toneladas

Fc = teor de fibra da cana-de-açúcar, em tonelada-fibra/tonelada-cana

Ub = teor de umidade do bagaço, em tonelada-água/tonelada-bagaço úmido

O teor de fibra pode variar entre 13% e 16% de acordo com a variedade da planta, gerando de 130 a 160 kg-bagaço/tonelada-cana em base seca e de 260 a 329 kg-bagaço/tonelada-cana com 50% de umidade (CORRÊA NETO; RAMON, 2002).

Paoliello (2006) diz que o bagaço necessita de grandes áreas de armazenamento por ser um dos resíduos sólidos de maior quantidade, de 250 a 260 kg.t⁻¹ de cana. Sendo obtidos, em média, 250 kg de bagaço por tonelada de cana esmagada, Ripoli (2005) estima a quantidade média de 11,25 t.ha⁻¹ (base peso seco para plantações com produtividade de 90 toneladas de cana/ha).

Para Couto *et al.* (2004), o poder calorífico inferior do bagaço de 7,40 MJ.kg⁻¹ à umidade de 50% na base seca o torna uma interessante fonte de combustível. Outro

ponto de vista é apresentado por Nagaoka (2002), que considera não-elevado o poder calorífico do bagaço, de 8,37 MJ.kg⁻¹ segundo seus estudos, devido ao alto teor de umidade. No entanto, seu uso nas usinas se justificaria devido ao alto custo de remoção do material.

Aguilar et al. (1989) realizaram em Cuba uma pesquisa com resíduos de cana, colhida sem queima prévia, com o objetivo energético. Os resultados foram comparados aos obtidos com o bagaço. Encontraram-se 33,78% de umidade e 19,97 MJ.kg⁻¹ de poder calorífico superior com os resíduos e 47,98% e 20,51 MJ.kg⁻¹, respectivamente, com o bagaço.

Um estudo realizado no Brasil por Ripoli et al. (2000) demonstrou que o bagaço possui poder calorífico superior de 18,32 MJ.kg⁻¹;

4.2.1 Cogeração de energia elétrica

Cogeração é a geração e de energia elétrica e mecânica a partir de uma mesma fonte primária de energia, de forma simultânea. Os equipamentos de cogeração são movidos a gás, óleo, carvão, ou por resíduos agroindustriais como o bagaço e a palha de arroz. Nas empresas cogedoras, a energia térmica gerada nesse processo é usada como fonte de calor na produção, e a energia mecânica é aproveitada na forma de trabalho para o acionamento de equipamentos mecânicos como moendas e picadores, ou para acionamento de geradores de eletricidade (COELHO, 1999; CLEMENTE, 2003).

A biomassa produzida hoje nas usinas presentes no Brasil a partir do bagaço e da palha de cana seria suficiente para gerar 8.000 MW (KITAYAMA, 2004).

Segundo Kitayama (2008), os dados da União da Indústria da Cana-de-Açúcar apontam que na safra do ano de 2020/2021 a produção de cana deve superar o volume de um bilhão de toneladas, o que permitiria gerar 15,2 bilhões de megawatts a partir do bagaço e aproximadamente 28,7 bilhões de megawatts somando-se o bagaço e a palha, o que equivaleria a energia gerada por duas usinas do porte de Itaipu.

As usinas nacionais produtoras de energia através do subproduto da cana-de-açúcar, em grande parte, desenvolvem o processo para consumo próprio, utilizando-se de caldeiras de baixa pressão – sistema no qual o palhiço não faz diferença. Substituindo-se os

equipamentos por caldeiras de alta pressão e gerando-se energia com o bagaço da cana-de-açúcar, a adição do palhiço pode, sozinha, dobrar a produção das usinas (HASSUANI, 2005).

A questão do armazenamento do bagaço deve ser considerada, segundo Corrêa Neto e Ramon (2002), quando for o caso de geração de energia para a venda, especialmente na entressafra.

Para Leite e Pinto (1983 apud GERMEK, 2005), o bagaço com 50% de umidade oferece poder calorífico inferior de 7,49 MJ.kg⁻¹; a 20% de umidade esse valor passa a ser de 13,57 MJ.kg⁻¹. Um poder calorífico de 18,62 MJ.kg⁻¹ pode ser alcançado com a queima do bagaço para geração de eletricidade (VIAN, 2009).

A Tabela 7 mostra valores de poder calorífico superior do bagaço em diferentes países, levantados por Oliveira (1982 apud RIPOLI, 2004) e Perez (1982 apud RIPOLI, 2004).

Tabela 7 – Poderes caloríficos do bagaço.

Países	PCS (MJ.kg ⁻¹)	
	Oliveira (1982)	Perez (1982)
Austrália	19	
Brasil	19,25	17,91
Cuba	19,63	18,54
México		21,22
Peru		19,45
Porto Rico	19,22	19,47
Estados Unidos		18,99

Fonte: Oliveira (1982) e Perez (1982).

Na Tabela 8, Silva e Morais (2008) demonstram o resultado da análise energética do bagaço de cana em diferentes graus de umidade;

Tabela 8 - Poder calorífico superior *versus* umidade.

Poder calorífico superior (MJ.kg⁻¹)	Umidade (%)
18,24	0
16,67	10
15,23	20
13,16	30
9,52	50

Fonte: Silva e Morais (2008)

Segundo Eid et al. (1998), uma tonelada de cana produz 250 kg de bagaço no processo de moagem. Com a queima de 6,5 toneladas do subproduto pelo sistema de cogeração é gerado 1 MWh de energia.

Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), do Ministério de Minas e Energia, o potencial anual de geração de energia com o bagaço é de 25 mil GWh (unidade de medida para geração e consumo de energia). Esse potencial equivale a 5,4% do total (461.029 GWh) gerado em 2006 por todas as fontes energéticas do país. A EPE traçou o estudo a partir das 430 milhões de toneladas de cana processadas naquele ano, considerando o uso de tecnologias mais eficientes pelas usinas. De acordo com Simões (2008), concluiu-se que, em 2030, até 39 mil GWh poderão ser gerados com o bagaço da cana.

De acordo com Ripoli & Ripoli (2007), no início dos estudos do uso do palhiço, em 1988, não houve grande interesse por parte do setor. Atualmente, discute-se muito seu potencial energético para cogeração de energia elétrica junto com o bagaço ou para a produção de álcool pelo sistema DHR – Dedini Hidrólise Rápida (RIPOLI, s. d.).

Clemente (2003) aponta um fator que favorece o uso e o aprimoramento de unidades de cogeração de energia com resíduos de cana. No Centro-Sul brasileiro, a safra de cana-de-açúcar coincide com o período de diminuição dos níveis dos reservatórios de água nas usinas hidrelétricas, causado pela seca.

O teor de açúcar residual (normalmente baixo) e especialmente o grau de umidade determinam o potencial energético, ou poder calorífico, do bagaço da cana (SCHMIDT, 2008).

A bioeletricidade gerada a partir da biomassa renovável já permite a auto-suficiência energética nas usinas sucroalcooleiras. A biomassa terá importância na redução das emissões de GEE associadas ao uso de energia (SERAPHIM, 2007).

Nas usinas de geração de energia elétrica pela biomassa da cana, apesar da emissão de carbono na fase da queima de combustível, o crescimento da planta de cana-de-açúcar promove o sequestro do carbono da atmosfera. Mas é pela emissão de carbono evitada ao substituírem-se as usinas que utilizam combustíveis fósseis, e não pelo sequestro de carbono, que são obtidos os chamados créditos de carbono (MACEDO, 2004).

4.3 Formas de Colheita da cana-de-açúcar

4.3.1 Coleta do palhico da cana-de-açúcar

A grande questão da geração do palhico na colheita mecanizada vem antes do seu aproveitamento para a cogeração de energia elétrica dentro das usinas e destilarias. Ela reside no fato de que grande quantidade do material permanece no solo e o custo para seu recolhimento ainda é bastante alto (RIPOLI & RIPOLI, 1995).

Para Franco (2003), estudos sobre os sistemas de recolhimento de palhico necessitam da caracterização física dessa biomassa. É preciso calcular a quantidade do resíduo e da terra agregada e o custo da operação.

Formas econômicas e adequadas de recolhimento e utilização do palhico são objeto de crescente interesse. As pesquisas promovidas pela iniciativa privada e por órgãos governamentais apontam algumas opções, como o recolhimento a granel feito por colhedores de forragens; o enfardamento prismático ou cilíndrico; o enfardamento por prensas algodoeiras; e a colheita da cana integral desligando-se os sistemas de limpeza – exaustores e ventiladores – das colhedoras (RIPOLI et al., 2003).

De acordo com Magalhães & Braunbeck (2001) citados em Torrezan (2003), os custos de transporte poderiam ser diminuídos para aumentar a viabilidade da coleta reduzindo-se em 15 vezes o volume da palha seca, caracterizada pela baixa densidade, com ajuda de tecnologias disponíveis como as enfardadoras de forragem de êmbolos e as rotativas.

Segundo Ripoli (2002), em estudo sobre o enfardamento do palhiço, seu equivalente energético médio é de 11,22 barris de petróleo por hectare.

Pelo sistema de colheita integral, sem a queima prévia da cana, palhiço e cana são levados por veículos de carga tradicionais, rumo à separação. De acordo com Germek (2005), o palhiço apresenta diferentes tamanhos e forma de partículas que podem obstruir o sistema de alimentação das caldeiras, interferindo na eficiência da combustão. Uma alternativa é a picagem prévia do material.

Taube (2010) cita uma forma de separar o palhiço da cana desenvolvida pelo Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) de Piracicaba. Por meio de uma estação de limpeza a seco, uma forte corrente de ar separa os colmos do palhiço. Na usina de Promissão (SP), o sistema a seco é usado desde 2008. Dali, o palhiço segue para uma peneira rotativa para eliminar a terra, um triturador e, finalmente, para as esteiras do bagaço, com destino à caldeira.

No caso de recolhimento a granel, a separação é feita na colheita, de forma mecânica, com os sistemas de limpeza das máquinas em funcionamento. Segundo Germek (2005), o palhiço que fica no campo é enleirado e levado em veículos do tipo gaiola. No pátio da usina, o material é descarregado por pás carregadoras, as mesmas utilizadas no manuseio do bagaço. O uso de uma colhedora picadora de forragem após o enleiramento vem sendo experimentado para reduzir as partículas do material.

Ainda segundo Germek (2005), também no sistema de enfardamento o palhiço fica no campo. É utilizado um ancinho enleirador e o material é reunido em fardos prismáticos ou cilíndricos, colocado em caminhões por garras carregadoras, levado à usina e descarregado por pás carregadoras. Na usina, o palhiço é desfibrado para alimentar as caldeiras.

Colocar o palhiço na mesma esteira do triturador/desfibrador de colmos acionado antes da moagem da cana é uma opção para reduzir o material. Mas suas fibras interferem no nível de moagem da cana e causam, ainda, perda de açúcar.

Torrezan (2003) analisou o desempenho e a eficiência energética de operações realizadas na Cosan-Usina Costa Pinto, em Piracicaba (SP). A variedade usada foi a RB8205336 plantada com espaçamento de 1,4 m, no terceiro corte, colhida mecanicamente sem queima prévia. A amostragem de palhiço analisada gerou poder calorífico superior de

18,43 MJ.kg⁻¹; e inferior de 17 MJ.kg⁻¹. A média de potencial energético, comparado ao equivalente barril de petróleo/ha (EBP/ha) foi de 55,4 EBP/ha. Foram utilizados enleiramentos simples, duplo e triplo, com uso de ancinho enleirador e enfardadora prismática para fenação. Verificou-se aumento do teor de terra com enleiramentos sucessivos – com média de 6,41% de terra nos fardos no tratamento de enleiramento triplo, 6,31% no duplo e 5,71% no simples. A eficiência energética foi alta, de 99,53%.

Bizuti (2003) estudou parâmetros de desempenho operacional de eficiência energética para enleiramento e enfardamento cilíndrico de palhiço. De acordo com o tipo de enleiramento, verificara-se 10,6% de terra nos fardos cilíndricos com enleiramento simples e 8,1% com o duplo. O poder calorífico foi de 18,4% MJ.kg⁻¹ e o balanço energético do enleiramento mais enfardamento foi de 99,93% (simples) e 99,91% (duplo).

Em um estudo na Usina Costa Pinto, em Piracicaba (SP), com a variedade de cana RB82-5336 no 3º corte, de 11 meses e produtividade agrícola de colmos de 78 t/ha, Ripoli (2002) verificou umidade, poder calorífico e equivalente energético em barris de petróleo do palhiço. O resíduo foi enfardado dez dias depois da colheita nas formas cilíndrica e prismática. O resultado foi umidade dos fardos entre 14,68% e 30,50%. O equivalente energético foi de 6,33 a 17,80 barris de petróleo por hectare.

Em Piracicaba (SP), numa plantação da variedade SP80-1816 com espaçamento de 1,40 m, sem queima prévia e colhida mecanicamente, Ripoli (2004) analisou colheita, enfardamento do palhiço com sistema de recolhimento e destinação energética do resíduo no pátio da usina. A umidade média do palhiço no sistema de colheita integral foi de 48,59% – 65,56% para folhas verdes; 20,96% para folhas secas e 78,13% para ponteiros. Antes do enleiramento, a umidade e o teor de terra foram de 16,64% e 2,95%, respectivamente. No palhiço enfardado os índices foram de 14,55% de umidade, 6,43% de teor de terra e 7,60 MJ.kg⁻¹ de poder calorífico útil. A Tabela 9 mostra as variáveis fundamentais que definiram o melhor sistema de recolhimento de palhiço, entre integral e de enfardamento.

Tabela 9 – Variáveis fundamentais que definiram o melhor sistema de recolhimento de palhiço, entre integral e de enfardamento.

	Sistema de colheita integral (%)	Sistema por enfardamento (%)
Índice de terra	1,39	0,63
Eficiência energética do sistema	98	83
Custo efetivo por equivalente energético do palhiço posto na usina	5,62	10,90

Fonte: Ripoli (2004).

4.3.2 Queimada da cana-de-açúcar

A queima de canaviais é discutida internacionalmente e questionada por muitos pesquisadores, sob vários pontos de vista, desde seu surgimento. A discussão heterogênea pode advir do fato de que as pesquisas sobre o tema têm sido realizadas em condições muito diversas, já que o comportamento da cana-de-açúcar em cada experiência varia segundo clima, solo e temperatura, intensidade da queima, variedade, grau de sanidade e sistema de cultivo, entre diversos outros fatores primários, secundários e complementares (RESENDE, 2005).

Segundo Spencer (1967), a cana não sofre com a ação do fogo, porém, principalmente em caso de chuva, acelera-se a deterioração. Daí a necessidade de cortá-la rapidamente. Em Cuba, por exemplo, fornecedores têm até cinco dias para entregá-la aos fabricantes sem desconto no preço, mas o produto pode ser rejeitado se tiver ocorrido chuvas.

A queimada causa a alteração da composição e das proporções de impurezas na cana crua, influenciando diversos parâmetros da composição do caldo, tais como Brix, Pol, açúcares redutores e cinzas (BOVI & SERRA, 2001).

As queimadas, de modo geral, trazem prejuízo ao meio, além de causar riscos às redes elétricas, obstrução pela fumaça nas rodovias e o incômodo de partículas – o carvãozinho – espalhadas no ar. A queima do palhiço é comum na maioria dos 97 países produtores, segundo Paes (2005a). A eliminação do palhiço e das folhas secas é adotada para

melhorar a segurança ocupacional e o rendimento do corte. Pesquisas procuraram apontar os riscos à saúde, em especial doenças respiratórias crônicas, em pólos sucroalcooleiros, embora haja vertentes de pesquisa que consideram os índices de risco semelhantes aos registrados em estâncias climáticas e locais sem produção canavieira. Um exemplo foi dado pelo Instituto Nacional Americano para a Saúde e Segurança Ocupacional (Niosh) do Havaí, que não comprovou os danos causados pela fuligem da queimada de cana em pessoas.

Tabela 10 – Umidade e poder calorífico inferior (PCI) e o poder calorífico superior (PCS) das folhas secas da cana-de-açúcar para diversas regiões do Estado de São Paulo.

Regiões	Variedades	Umidade (%)	PCS (MJ.kg⁻¹)	PCI (MJ.kg⁻¹)
Bauru	SP70-1143	21,3	18,05	12,86
Piracicaba	NA5679	18,6	16,65	12,52
Araraquara	NA5679	9,1	17,49	14,91
Ribeirão Preto	SP70-1143	8	17,14	14,79
Campinas	CP5122	11,3	17,15	14,18

Fonte: Zuluaf et al. (1985, apud RIPOLI, 2002).

Num estudo sobre o desperdício da energia liberada na queima da palha dos canaviais do país, Zuluaf et al. (1985, apud RIPOLI, 2002) verificaram uma perda de cerca de 87,729 Gcal/ano de energia na safra de 1985/1985, devido à queima da cana. A Tabela 10 mostra suas estimativas de umidade e poder calorífico inferior e superior da palha da cana (folhas secas) em diversas regiões paulistas.

4.3.3 Colheita mecanizada da cana-de-açúcar

De acordo com Braunbeck (2005), a queimada configura-se na única forma de realização da colheita manual da cana-de-açúcar. A lei determina, por outro lado, que boa parte da colheita não passe pela queima prévia. Seu descumprimento incorre em multas, mas são poucos os casos que figuram dentro da lei devido aos obstáculos tecnológicos para

uma colheita adequada a custos menores e baixos índices de perda e qualidade. A máquina criada para diminuir o custo e melhorar a qualidade da colheita ganhou nova importância diante da crise energética nacional por seu potencial de cerca de 30 milhões de toneladas/ano de palhicho que atualmente são queimadas ao ar livre.

Impulsionada pela lei, a colheita mecanizada gera o aumento do palhicho – formado por folhas verdes, palhas, ponteiros, frações de colmos e raízes e terra (RIPOLI & RIPOLI, 2007; TOLENTINO et al. 2007).

Para Gonçalves (2002), o processo de mecanização no cultivo da cana – e o conseqüente aumento da disponibilidade do palhicho e de seu uso na cogeração de energia nas usinas – já vem sendo acelerado graças à proibição, mesmo que gradativa, das queimadas preparatórias para a colheita.

Segundo Braunbeck (2005), o resíduo hoje aproveitado da biomassa do canavial é o bagaço, principalmente por sua espontânea disponibilidade e fácil acessibilidade junto à caldeira da indústria. O cenário de escassez gerado pela crise atual aponta, no entanto, para a valorização do uso do palhicho.

Segundo Trivelin et al. (1996), o uso do sistema mecanizado de colheita deixa no solo uma camada farta de palhicho. No Estado de São Paulo estima-se que a camada de palhicho resultante desse processo seja de 13 mg.ha⁻¹ a 20 mg.ha⁻¹ de matéria seca.

O sistema de colheita se compõe de subsistemas de corte e carregamento, de transporte e de recepção, que têm aspectos comuns em suas interfaces para garantir o fluxo da cana, do campo à indústria. O novo arranjo técnico causado pela mecanização necessita que sejam feitas alterações nesse conjunto (RIPOLI; PARANHOS, 1987).

Segundo Paes (2005b) estima-se que haverá uma busca por novas tecnologias para o aumento da produção nas áreas mecanizáveis.

O colmo é colhido por meio de corte basal e de corte apical (desponte). A máquina colhedora pode realizar o corte basal em diferentes alturas de acordo com a regulação das facas e das condições do terreno, uma vez que o aproveitamento da matéria-prima pode ser alterado pela topografia (BRAUNBECK; CORTEZ, 2005)

No início da brotação da soca, fase que sucede a colheita dos colmos, estabelece-se um novo processo de perfilhamento. Uma boa brotação pode garantir plantas vigorosas que compensarão a colheita no final do ciclo (SILVA et al., 2005).

O uso de máquinas no corte da cana exige um preparo especial da lavoura, com menor densidade de colmos na linha de plantio, alta produtividade e porte ereto da planta, muito embora associar os dois primeiros itens com uma boa produção da forragem seja algo por vezes contraditório (CAMPOS; MARCONATO, 1994; BALSALOBRE et al., 1999).

Souza et al. (2005) apontaram o preparo do solo na lavoura, o dimensionamento dos equipamentos no campo, a equipe de manutenção e apoio, o treinamento do pessoal envolvido e as alterações no transporte e recepção da cana na usina como aspectos otimizados pela mecanização, lembrando também que a mudança de sistema relaciona-se prioritariamente com a redução da emissão de gases poluentes na atmosfera e com a preservação do meio ambiente de acordo com a legislação.

Costa Neto (2006) observou que a mudança de colheita manual para colheita mecânica é mais que uma simples substituição técnica. É um processo inevitável que substitui a mão-de-obra humana com maior rentabilidade; enquanto uma máquina colhedora de cana pode alcançar um rendimento de 15 t.h⁻¹ a 20 t.h⁻¹, uma pessoa chega a 5 t.dia⁻¹ ou 6 t.dia⁻¹.

Para Vieira (2002), a mecanização pode ser considerada um caminho sem volta, que deverá ter cada vez mais participação na cultura canavieira para atender à Lei nº 11.241 de 19 de setembro de 2002, regulamentadora dos procedimentos da queimada da cana. A mecanização sem queima prévia deverá ser a saída para a redução gradativa da área queimada, incorrendo em um problema social com a falta de trabalho para os cortadores.

Segundo Moraes (2007), a produção aumenta e o número de empregos rurais diminui. Estima-se o fechamento de 180 mil postos de trabalho no Estado de São Paulo com o fim das queimadas.

A mecanização envolve aspectos como a preocupação de se evitarem bolsões de desemprego nas localizadas sucroalcooleiras e a viabilidade econômica e técnica dos processos tecnológicos. A partir de um estudo socioeconômico realizado na região da Alta Paulista, em que foram analisados vários parâmetros ligados ao cultivo da cana nas safras

2003/2004 e 2004/2005 tais como quantificação econômica, consumo energético e questões ambientais e sociais, Nocchi (2007) concluiu que o sistema mecanizado apresenta os melhores resultados econômicos e até mesmo de consumo de energia se estimado um número maior de safras no futuro. Nocchi (2007) observou que as emissões de poluentes causadas pelas queimadas são fortemente negativas ao meio ambiente e às populações do Sudeste brasileiro, onde fica a maior concentração de áreas cultivadas com cana-de-açúcar no país, especialmente na região oeste do Estado de São Paulo, a chamada Alta Paulista.

4.4 Legislação sobre a queimada de cana-de-açúcar

Desde a década de 1960, o governo federal traça diretrizes para controlar as queimadas da palha de cana-de-açúcar e os sérios danos que a prática causa ao meio ambiente, à saúde das populações e, conseqüentemente, à economia.

O Estado de São Paulo, seguindo a mesma orientação e, mais ainda, visando à eliminação total da queima da cana de maneira gradativa considerando os ciclos quinquenais de renovação dos canaviais, estabelece a Lei nº 11.241/02, regulamentada pelo Decreto nº 47.700/03.(SÃO PAULO, 2003)

Essa Lei, que entre outras ações inova ao viabilizar o uso de procedimentos por meios eletrônicos, complementou outra Lei Estadual, a de nº 10.547/2000 – que trata da queimada como técnica agrícola –, revogando o parágrafo 2º de seu artigo 1º e também seu artigos 16 e 17.

O artigo 2º da Lei 11.241/02 define em 30 anos o prazo para a eliminação da queima de canaviais, que deverá, então, ser integralmente substituída pelo cultivo mecanizado. Áreas de plantio com declividade superior a 12%, legalmente consideradas como não-mecanizáveis, devem ser gradualmente reduzidas de modo que, a cada cinco anos, um terreno correspondente a 20% do total seja preservado da queimada.(SÃO PAULO, 2002)

O prazo estipulado em Lei se encerra no ano de 2031. As Tabelas 11 e 12 apresentam as etapas que os produtores deverão cumprir até essa data, tanto nas áreas não-

mecanizáveis acima citadas, como nas áreas mecanizáveis (plantações acima de 150 hectares com declividade igual ou inferior a 12%).

Tabela 11 – Prazos para redução da queima de palha de cana-de-açúcar nas áreas mecanizáveis.

Ano	Área mecanizável onde não se pode efetuar a queima	Eliminação
1º ano (2002)	20% da área cortada	20% da queima eliminada
5º ano (2006)	30% da área cortada	30% da queima eliminada
10º ano (2011)	50% da área cortada	50% da queima eliminada
15º ano (2016)	80% da área cortada	80% da queima eliminada
20º ano (2021)	100% da área cortada	Eliminação total da queima

Fonte: São Paulo – Lei nº 11.241, de 19/09/2002.

Tabela 12 – Prazos para a redução da queima de palha de cana-de-açúcar nas áreas não-mecanizáveis.

Ano	Área não-mecanizável, com percentual de eliminação (declividade maior que 12% e/ou queima menor que 150 ha)	Área em que não se pode efetuar a queima
10º ano (2011)	20% da área cortada	10% da queima eliminada
15º ano (2016)	30% da área cortada	20% da queima eliminada
20º ano (2021)	50% da área cortada	30% da queima eliminada
25º ano (2026)	80% da área cortada	50% da queima eliminada
30º ano (2031)	100% da área cortada	Eliminação total

Fonte: São Paulo – Lei nº 11.241, de 19/09/2002.

No entanto, segundo a Lei, a interrupção e suspensão da queima pode ser determinada pelas autoridades ambientais quando forem constatados e comprovados riscos à vida humana, danos ambientais, piora da qualidade do ar e índices prejudiciais à saúde e

níveis perigosos de fumaça originada da queima. Também em casos de condições meteorológicas desfavoráveis pode haver tal interferência. A proibição também é imediatamente aplicada, segundo o artigo 4º da Lei, em áreas que ficam a menos de um quilômetro do perímetro urbano definido por legislação municipal e de reservas ou áreas tradicionalmente ocupadas por populações indígenas. Outro caso são as áreas situadas a menos de 100 metros dos terrenos de domínio de subestações de energia elétrica. Há penalidades definidas legalmente aos infratores, pessoas físicas ou jurídicas, no caso da não obediência às restrições.

Abaixo, estão relacionadas resoluções e portarias instituídas após o ano de 2002.

Resolução SMA – 12, de 11/03/2005: aprova as Instruções para os procedimentos de requerimento e comunicação prévia da queima controlada da palha de cana-de-açúcar, nos termos da Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, e dos Decretos nº 47.700, de 11 de março de 2003, e 49.391, de 21 de fevereiro de 2005, e dá providências correlatas. (SÃO PAULO, 2005)

Resolução SMA – 33, de 21/06/2007: dispõe sobre a aplicação da Lei nº 11.241, de 19 de setembro de 2002, regulamentada pelo Decreto 47.700, de 11 de março de 2003, no atinente à limitação gradativa da queima de palha de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. (SÃO PAULO, 2007a)

Resolução SMA – 42, de 26/09/2007: institui o Projeto Estratégico Mata Ciliar e dá providências correlatas. (SÃO PAULO, 2007b)

Portaria CPRN – 2, de 29/01/2008: define os procedimentos para o atendimento dos artigos 3º e 7º da Resolução SMA – 42, de 26/09/2007. (SÃO PAULO, 2008a)

Resolução SMA – 44, de 16/06/2009: dispõe sobre os procedimentos relativos à suspensão da queima da palha de cana-de-açúcar ditados pela Lei Estadual nº 11.241-2002 e Decreto 47.700-2003. (SÃO PAULO, 2009)

4.4.1 O Protocolo Agroambiental do Estado de São Paulo

Segundo a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2007c), o protocolo foi assinado pelo Governador de São Paulo, pelos Secretários de Estado do Meio Ambiente e de Agricultura e Abastecimento e pelos presidentes da União da Indústria Sucroalcooleira (UNICA) e da Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA), faz parte do Projeto Etanol Verde, um dos 21 projetos estratégicos da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, que tem o objetivo de desenvolver ações que estimulem a sustentabilidade da cadeia produtiva de açúcar, etanol e bioenergia.

Tal iniciativa se desenvolveu a partir de um entendimento entre governo, usinas e fornecedores de cana-de-açúcar sobre a necessidade de organizar a atividade agrícola e industrial de modo a promover a adequação ambiental e minimizar, conseqüentemente, os impactos sobre o meio ambiente e a sociedade. Isso é especialmente importante em um setor que vem apresentando crescimento significativo e representando uma parcela cada vez maior na economia do Estado.



Figura 01 - Certificado concedido às unidades agroindustriais e às associações de fornecedores de cana

O Protocolo Agroambiental visa reconhecer e premiar as boas práticas ambientais do setor sucroenergético com um certificado de conformidade, renovado anualmente. Por meio da publicidade do certificado concedido às unidades agroindustriais e às associações de fornecedores de cana, o Protocolo influencia na imagem das usinas e

associações frente ao mercado interno e externo, determinando um padrão positivo de planos e metas de adequação ambiental a ser seguido.

Em seu terceiro ano de atuação no Estado de São Paulo, o instrumento cobre alguns dos principais pontos de redução de impactos da cultura. Entre eles, a antecipação dos prazos de eliminação da queima da palha da cana, conforme sua cláusula 3ª, disposta abaixo.

Cláusula 3ª - Diretivas Técnicas do Protocolo de Cooperação determina:

a) Antecipar, nos terrenos com declividade até 12%, o prazo final para a eliminação da queimada da cana-de-açúcar, de 2021, para 2014, adiantando o percentual de cana não queimada em 2010 de 50% para 70%

b) Antecipar, nos terrenos com declividade acima de 12%, o prazo final para eliminação da queimada da cana-de-açúcar, de 2031, para 2017, adiantando o percentual da cana não queimada em 2010 de 10% para 30%.

c) Não utilizar a prática da queima da cana-de-açúcar para fins de colheita nas áreas de expansão de canaviais.

O protocolo também define normas para a proteção dos remanescentes florestais de nascentes e de matas ciliares, o controle das erosões e melhores práticas de uso do solo, o adequado gerenciamento das embalagens de agrotóxicos e a redução de consumo de água na etapa industrial, além de incentivar a pesquisa, conforme a cláusula 4ª do documento, disposta abaixo.

A Cláusula 4ª - Apoio Governamental do mesmo documento determina:

a) Fomentar a pesquisa para o aproveitamento energético e econômico do palhiço da cana-de-açúcar.

O objetivo principal do Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde é estabelecer uma parceria com o setor sucroenergético paulista a fim de desenvolver tratativas diferenciadas que focam a cooperação e pró-atividade do setor e que estabelecem, de forma clara e objetiva, parâmetros positivos viáveis e passíveis de aplicação e monitoramento a serem adotados pelos produtores de açúcar, etanol e bioenergia. Assim, torna-se possível estimular a produção sustentável de etanol, respeitando os recursos

naturais e controlando a poluição, sem descuidar da população da região nem prejudicar o desenvolvimento regional.

Também são ações do projeto articular e subsidiar o órgão licenciador nos procedimentos de licenciamento e na padronização de dados enviados nos estudos ambientais, e contribuir para o Sistema Estadual de Informações Ambientais, com informações sobre cobertura florestal e áreas de recuperação florestal do Estado.

4.4.2 Zoneamento Ambiental do Estado de São Paulo

O Zoneamento Agroambiental da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (ZAA) foi estabelecido em 18 de setembro de 2008, através de uma parceria entre as Secretarias do Meio Ambiente e da Agricultura e Abastecimento do Estado, com o principal objetivo de disciplinar e organizar a expansão e ocupação do solo pelo setor sucroenergético, além de subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas para as questões relacionadas ao setor.

Utilizando bases de dados sobre condições climáticas, qualidade do ar, relevo, solo, disponibilidade e qualidade de águas superficiais e subterrâneas, unidades de conservação existentes e indicadas, incluindo áreas de proteção ambiental e fragmentos florestais para incremento da conectividade, foi criado um mapa único, que indica áreas adequadas e inadequadas para o cultivo de cana, e regula a ocupação das terras, a instalação e ampliação de unidades agroindustriais (SÃO PAULO, 2008c).

4.4.2.1 Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo para o setor sucroenergético

Em setembro de 2008 foi elaborado, em parceria com a Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA-SP) o Zoneamento Agroambiental para o Setor Sucroalcooleiro no Estado de São Paulo, um importante instrumento de

planejamento ambiental do Estado que tem o objetivo de organizar a expansão e ocupação do solo pelas unidades agroindustriais, além de subsidiar a elaboração de políticas públicas.

Utilizando bases de dados sobre condições climáticas, qualidade do ar, relevo, solo, disponibilidade e qualidade de águas, áreas de proteção ambiental e unidades de conservação existentes e indicadas, e fragmentos de manutenção da conectividade, foi criado um mapa único indicando áreas adequadas e inadequadas para o cultivo de cana, mostrado na Figura 02 (SÃO PAULO 2008c).

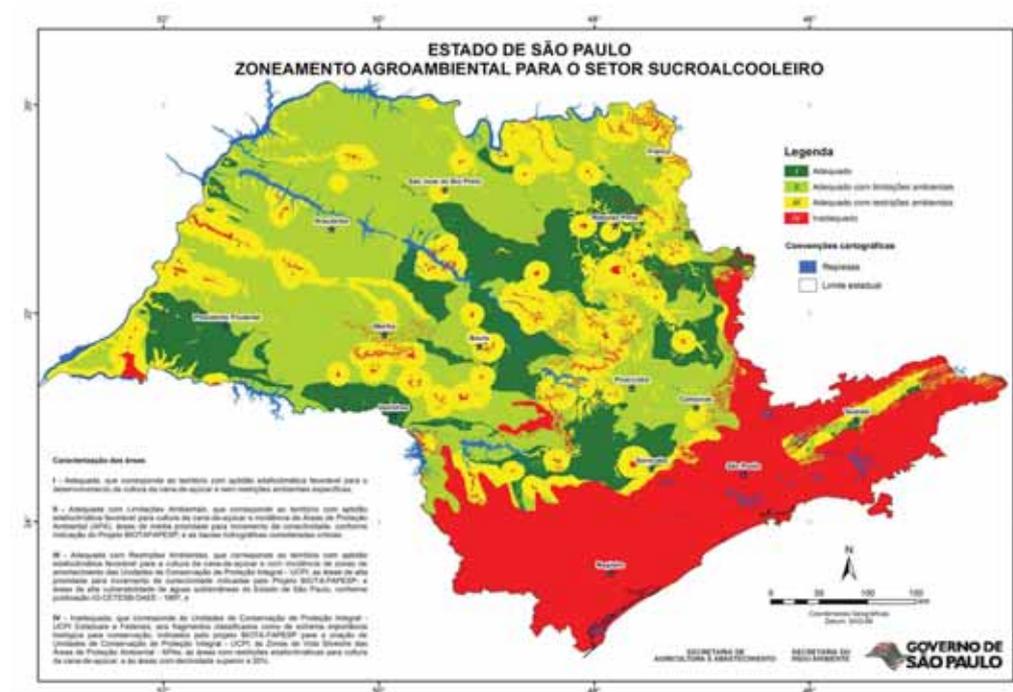


Figura 02 - Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo para o Setor Sucroenergético

Fonte: Secretaria do Meio Ambiente – Etanol Verde

4.4.2.1.1 Classificação do Estado

Foram estabelecidas quatro classes de áreas com diferentes graus de aptidão agroambiental:

- **áreas adequadas:** correspondem ao território com aptidão edafoclimática favorável para o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar e sem restrições ambientais específicas;

- **áreas adequadas com limitação ambiental:** correspondem ao território com aptidão edafoclimática favorável para cultura da cana-de-açúcar e incidência de Áreas de Proteção Ambiental (APA); áreas de média prioridade para incremento da conectividade, conforme indicação do Projeto BIOTA-FAPESP; e as bacias hidrográficas consideradas críticas;
- **áreas adequadas com restrições ambientais:** correspondem ao território com aptidão edafoclimática favorável para a cultura da cana-de-açúcar e com incidência de zonas de amortecimento das Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; as áreas de alta prioridade para incremento de conectividade indicadas pelo Projeto BIOTA-FAPESP; e áreas de alta vulnerabilidade de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, conforme publicação IG-CETESB-DAEE - 1997;
- **áreas inadequadas:** correspondem às Unidades de Conservação de Proteção Integral – UCPI Estaduais e Federais; aos fragmentos classificados como de extrema importância biológica para conservação, indicados pelo projeto BIOTA-FAPESP para a criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral - UCPI; às Zonas de Vida Silvestre das Áreas de Proteção Ambiental - APAs; às áreas com restrições edafoclimáticas para cultura da cana-de-açúcar e às áreas com declividade superior a 20% (SÃO PAULO, 2008c).

4.4.2.1.2 Quantificação das áreas

Em relação à área total do Estado de São Paulo na qual a atividade canavieira é efetivamente exercida, 26% está em áreas adequadas, 45% em áreas adequadas com limitações ambientais, 28% em áreas adequadas com restrições ambientais e apenas 1% em áreas inadequada (SÃO PAULO, 2008c).

4.4.2.1.3 Licenciamento agroambiental

O mapa do Zoneamento Agroambiental (ZAA) foi utilizado como base para a elaboração da Resolução SMA 88, de dezembro de 2008, que define parâmetros e diretrizes para o licenciamento ambiental de unidades agroindustriais com o objetivo de criar

condições sustentáveis para o desenvolvimento do setor no Estado de São Paulo. Na última classe não são aceitos pedidos de licenciamento para instalação ou ampliação de empreendimentos após a publicação da Resolução SMA 88 e, para as três primeiras classes são definidos parâmetros específicos de acordo com cada área para a obtenção de licenças e operação dos empreendimentos (tais parâmetros podem ser encontrados na Resolução SMA 88/2008 (SÃO PAULO, 2008c).

4.5 Uso de imagens de satélite no estudo da cultura canavieira

Rudorff, et al. (2010) utilizaram de imagens de satélite para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, safra 2009/10, e obtiveram resultados eficientes para identificar e mapear as áreas cultivadas com cana-de-açúcar pelo sétimo ano consecutivo. O procedimento de atualização do mapa temático da cana por meio de imagens de sensoriamento remoto foi feito com êxito pelo sexto ano consecutivo permitindo estimar com previsão a área de cana disponível para colheita na safra 2009/10.

Brito, et al. (2009), utilizaram imagens de satélite Landsat 5, sensor TM, bandas 3-4-5 com o objetivo de elaborar o mapeamento da cultura de cana-de-açúcar do município de Canápolis-MG. Como resultado foi possível identificar e mapear cinco categorias de áreas com a cana-de-açúcar nas imagens: Adulta, Rebrotada, Jovem, Média e com Palhada.

Aguiar, et al. (2009), avaliaram a área de cana colhida com e sem queima em todo o Estado de São Paulo. Para tal, foram utilizadas as imagens disponíveis do sensor TM a bordo do satélite Landsat-5. As imagens foram adquiridas de abril a dezembro de 2006, que corresponde ao período de colheita da cana. A área de cana colhida sem queima foi avaliada em 1.085.730 ha e corresponde a 34,7% do total da área mecanizável colhida. Isso atende à legislação ambiental que, para o ano de 2006, previa que 30% da área de cana fosse colhida sem queima.

Pallas, et al. (2011), avaliaram o progresso e potencial para expansão da cultura da cana-de-açúcar em relação às classes de declividade no município de Ilha Solteira (SP). A interseção de camadas de informação foi conduzido contendo os locais

implantados com a cultura durante 2004/2005 e 2009/2010 e da classe inclinação do terreno que são adequados para colheita mecanizada, em outras palavras, com até uma inclinação de 12%. Os dados mostram que a safra de 2004/2005 a 2009/2010 da plantação de cana-de-açúcar teve um aumento significativo de 68 ha para 14,713.92 ha de terras agrícolas adequados à mecanização. A avaliação mostrou também que os dados Canasat / INPE, durante este período, é superestimada pelo mapeamento da cultura em Áreas de Preservação Permanente, córregos e canais de drenagem. Em geral, as plantas de cana-de-açúcar estão respeitando a área de cultivo de cana de açúcar, no entanto verificou-se que em alguns locais o plantio foi instalado dentro de Áreas de Preservação Permanente.

Para Silva Junior, et al. (2011), a cana-de-açúcar cultivo tem características favoráveis para a identificação nas imagens de satélite, porque é uma cultura semi-perene, cultivadas em grandes áreas. Os autores avaliaram o desempenho dos classificadores supervisionados para identificar a cultura da cana-de-açúcar utilizando imagens de satélite Landsat-5 do sensor Thematic Mapper (TM). Os diferentes pré-processamento e classificadores aplicados foram submetidos à validação estatística, utilizando parâmetros Kappa e exatidão global. Os resultados indicaram um potencial significativo para classificadores supervisionados na identificação de cana-de-açúcar. Concluiu-se que é possível a obtenção de precisões qualificado como muito bom quando usado o classificador ICM-Probabilidade máxima em ambos os métodos de tratamento.

Caridade, et al. (2011), analisaram a expansão das terras utilizadas para o plantio da safra de cana-de-açúcar no Morro Agudo, SP para os anos de 1993, 2003 e 2009. Utilizaram imagens do sensor Thematic Mapper (TM) a bordo do Landsat 5, importados e registrado em um sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. Foram fornecidos pelo Canasat projeto de dois mapas temáticos de açúcar de cana no município para os anos de 2003 e 2009. Estabeleceu uma série e era possível validar os dados do Instituto Econômico Agrícola (IEA) indicam que o aumento das áreas plantadas com cana-de-açúcar. As técnicas de sensoriamento remoto permitiu a identificação de cana-de-açúcar.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

A escolha da usina, localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo justifica-se, por ser uma empresa com potencial de produção e exportação de açúcar e etanol.

Considerando a produção para a comercialização de energia, a usina está interligada a unidades industriais que produzem energia comercializada no sistema nacional de distribuição de energia elétrica. Em 2008 a venda de energia dessas unidades superou 125 mil MWh, que significou uma nova fonte de receita com potencial de expansão de geração de energia.

5.1.1 Caracterização da usina

Os dados utilizados neste trabalho pertencem a uma usina localizada no município de Promissão, apresentada na Figura 03. A usina conta com 86.000 hectares de área cultivada com cana-de-açúcar. A produção, própria e de fornecedores, é de 6,8 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE indicam que a cidade de Promissão conta atualmente com uma população de 37.570 habitantes dentro de uma área de 782 km². Localiza-se a uma latitude 21°32'12" sul e a uma longitude 49°51'29" oeste, estando a uma altitude de 426 metros.

A potência instalada para a geração de energia é composta de dois conjuntos com dois geradores de 35 MW e um de 17,5 MW cada, totalizando 105 MW. As caldeiras (Figura 04) são quatro de alta pressão com 65 kgf/cm², sendo duas de 150 toneladas de vapor por hora e duas de 200 toneladas de vapor por hora.

Na Figura 05 podem ser observadas as esteiras de transporte de bagaço e palhiço da usina.



Figura 03 - Planta das instalações da usina de Promissão (SP), que forneceu os dados para a realização deste trabalho.



Figura 04 – Caldeiras

Fonte: Arquivo do autor.



Figura 05 – Esteiras transportadoras de Bagaço e Palhiço.

Fonte: Arquivo do autor.

5.2 Métodos

Com os dados informados através de entrevistas e reuniões com os engenheiros e técnicos responsáveis pela manutenção e gerenciamento da produção de açúcar, etanol e energia elétrica da usina, foram definidas as etapas do trabalho.

Iniciou-se em 2008 através do contato com a usina e levantamento das seguintes etapas a seguir.

5.2.1 Coleta de informações

Foram solicitados ao Departamento Sustentável da Secretaria do Estado do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, dados sobre a quantificação das áreas de cana-de-açúcar que foram queimadas no período de 2001 a 2009 nos municípios onde a usina mantém suas plantações (Promissão, Lins, Cafelândia, Getulina, Sabino, Guaimbê, Avanhandava, Guaíçara, Guarantã, Barbosa e Júlio Mesquita), bem como dentre essas áreas, em hectares, no mesmo período, a área correspondente a uma usina de açúcar e álcool sediada no município de Promissão/SP.

A usina forneceu dados dos anos de 2001 a 2008, referentes aos seguintes itens:

- área de colheita de cana-de-açúcar em hectares (própria e em parceria);
- produção agrícola em toneladas de cana-de-açúcar (própria e em parceria);
- dados de produtividade em toneladas de cana-de-açúcar (própria e em parceria);
- a produção total agrícola em toneladas (própria, em parceria e de fornecedores);
- produção de açúcar em toneladas;
- produção de álcool em metros cúbicos;
- área queimada de cana-de-açúcar em porcentagem do total cultivado;
- área de colheita mecanizada em porcentagem em relação ao total de área cultivada.

Foram coletados dados de mais duas fontes: União dos Produtores de Bionergia (UDOP) e Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

A UDOP forneceu os preços de etanol hidratado e anidro (de 2001 a 2010), açúcar cristal (de 2004 a 2008), açúcar VHP (de 2003 a 2010), e os dados de produção de cana-de-açúcar, açúcar e álcool do Estado de São Paulo.

Os dados coletados com a CCEE referiram-se ao preço de energia na região Sudeste em R\$/MWh, do ano de 2004 a 2010.

5.2.2 Metodologia de pesquisa da legislação

Para a pesquisa da legislação, adotou-se a abordagem qualitativa, classificada em relação aos objetivos como exploratória (RICHARDSON, 1985; GIL, 2002). Esta pesquisa científica classificou-se como exploratória, ou seja, foram realizados estudos preliminares do objetivo principal da pesquisa, à medida que o tema investigado foi sendo compreendido (Gil, 2002). Seguiu-se uma análise descritiva (Kestring *et al.*, 2001; Severino, 2007) com a finalidade de contribuir para melhorar a eficiência, por meio de análise e descrições objetivas que permitiram determinar relações entre a legislação e a evolução da queimada de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

5.2.3 Elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo e de declividade

As análises da cobertura vegetal do solo podem ser consideradas instrumentos de grande importância para o planejamento de um modo geral e para investigar alterações nessa cobertura. De acordo com a Figura 06, elaboraram-se os mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 2000, 2005 e 2010 na área de estudo da usina para avaliar se houve aumento ou decréscimo em sua área de plantações de cana. O mapa de declividade da mesma localidade foi elaborado para que se verificasse que porcentagem da área cultivada com cana-de-açúcar da usina é mecanizável.

5.2.3.1 Imagens de satélite

As imagens do satélite LANDSAT 5 TM no formato digital (Tabela 13) foram disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). Serão utilizadas as bandas 3, 4 e 5 correspondentes ao azul, ao verde e ao vermelho na composição colorida (5R\4G\3B) Figura 06.

Tabela 13. Imagens LANDSAT 5 TM.

Sensor	Órbita/Ponto	Data de passagem
TM	221/75	07/06/2000
TM	221/75	05/06/2005
TM	221/75	02/05/2010

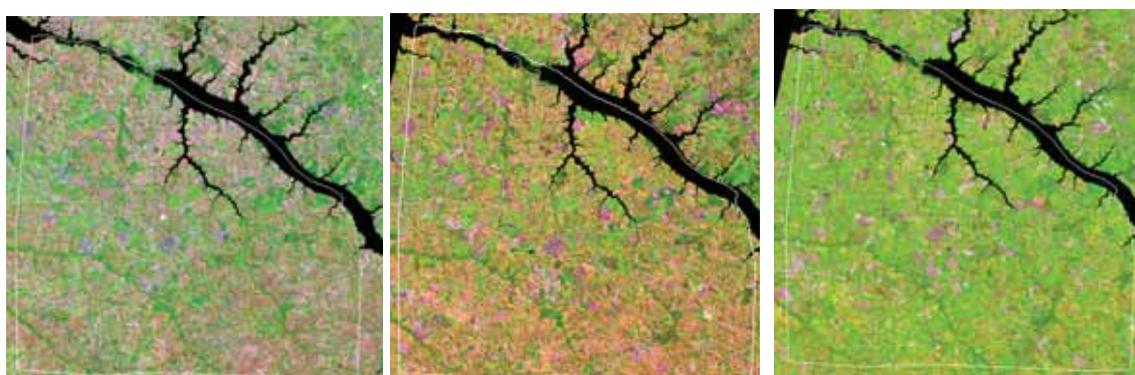


Figura 06. Imagens LANDSAT 5 limitando a área em estudo dos anos de 2000, 2005 e 2010 respectivamente.

O satélite LANDSAT 5 apresenta uma órbita de aproximadamente 98° de inclinação, girando em órbita da Terra a uma altitude de 705 km. Existem dois tipos de sensores a bordo do LANDSAT 5, o MSS (Subsistema Scanner Multiespectral) e o TM (Mapeamento Temático). A faixa de imageamento do sensor TM é de 185 km de largura e a resolução temporal é de 16 dias (DAINESE, 2001).

O sensor TM possui uma resolução espacial de 30m x 30m nas bandas do visível, infravermelho próximo e médio, e de 120m x 120m no infravermelho termal. Na composição colorida das bandas TM3 (R), TM4 (G) e TM5 (B) podem ser observadas diferentes cores. Associando-se essas cores ao comportamento espectral de alvos, pode-se verificar que o verde é o resultado da alta reflectância da vegetação na banda da vegetação na TM4 (associada à G de green – verde). A cor rósea do solo se deve à relativamente alta reflectância dos solos na banda TM3 (associada a R de red – vermelho) e TM4. A cor preta da água se deve à baixa reflectância da água nas bandas TM3 e TM4, NOVO (2008).

5.2.3.2 Mapa de ocupação do solo

O mapa de ocupação dos solos foi obtido por meio da classificação das imagens LANDSAT 5 “pixel a pixel” pelo método MAXVER (Máxima Verossimilhança) considerado o método de classificação mais comum desta modalidade.

Foram gerados três mapas referentes as imagens LANDSAT 5 TM dos anos de 2000,2005 e 2010. Utilizando-se as bandas 3,4 e 5 na composição 543 - RGB. A imagem foi recortada usando o módulo *reformat – window* (reformatar – janela), a fim de reduzir o tempo de processamento e classificação apenas nas áreas de interesse.

Este método considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para que a classificação por máxima verossimilhança seja precisa o suficiente, é necessário um número razoavelmente elevado de "pixels", para cada conjunto de treinamento. Os conjuntos de treinamento definem o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento (JIM, 2006).

A classificação foi efetuada através dos módulos *image processing*, *signature development* e *hard classifiers* (processamento de imagem, assinatura do classificador e classificador difícil) . Foram definidas seis de uso de solo: área urbana, cana-de-açúcar, solo em preparo, solo exposto, mata e corpos d’água.

5.2.3.3 Mapa declividade

O mapa de declividade é gerado por meio da interpolação das curvas de nível. Esta interpolação foi efetuada através do Idrisi, utilizando-se a metodologia TIN (Triangular Irregular da Rede). O processo consistiu no uso do arquivo vetorial contendo as curvas de nível no módulo *TIN interpolation* (interpolação), que efetuou a interpolação. Em seguida, faz-se o cálculo de declives no módulo *surface* (superfície) e finalmente usando-se o módulo de reclassificação de valores, *reclass* (reclassificação), os valores interpolados foram agrupados nos intervalos de classes de declividade de 0- 3, 3-6, 6-12, 12-20, 20-40 e >40%. O mapa de declividade, calculado em porcentagem, foi executado a partir do modelo digital de elevação (MDT), sendo as classes de declive determinadas a partir do agrupamento dos valores acima. Estes valores são indicados para estudos de conservação de solo, e tem suas características descritas na Tabela 14 (OLIVEIRA, 2010).

Tabela 14 - Intervalos de classe de declive segundo Lepsch et al. (1991).

Intervalo	Relevo	Cor característica
0 – 3%	Plano	Verde claro
3 – 6 %	Suave ondulado	Amarelo
6 – 12%	Ondulado	Vermelho
12 – 20%	Forte ondulado	Azul
20 – 40%	Montanhoso	Verde escuro
> 40%	Escarpado	Roxo

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, como partes dos resultados desta pesquisa, estão as informações obtidas junto a página da internet da Secretaria do Meio Ambiente – Etanol Verde, sobre a avaliação do Protocolo e Zoneamento Agroambiental do Estado de São Paulo, para servir de base na discussão dos dados da usina de Promissão (SP) na verificação da evolução do processo de queima e na mecanização da cana-de-açúcar e da área de plantio destinada à esta usina.

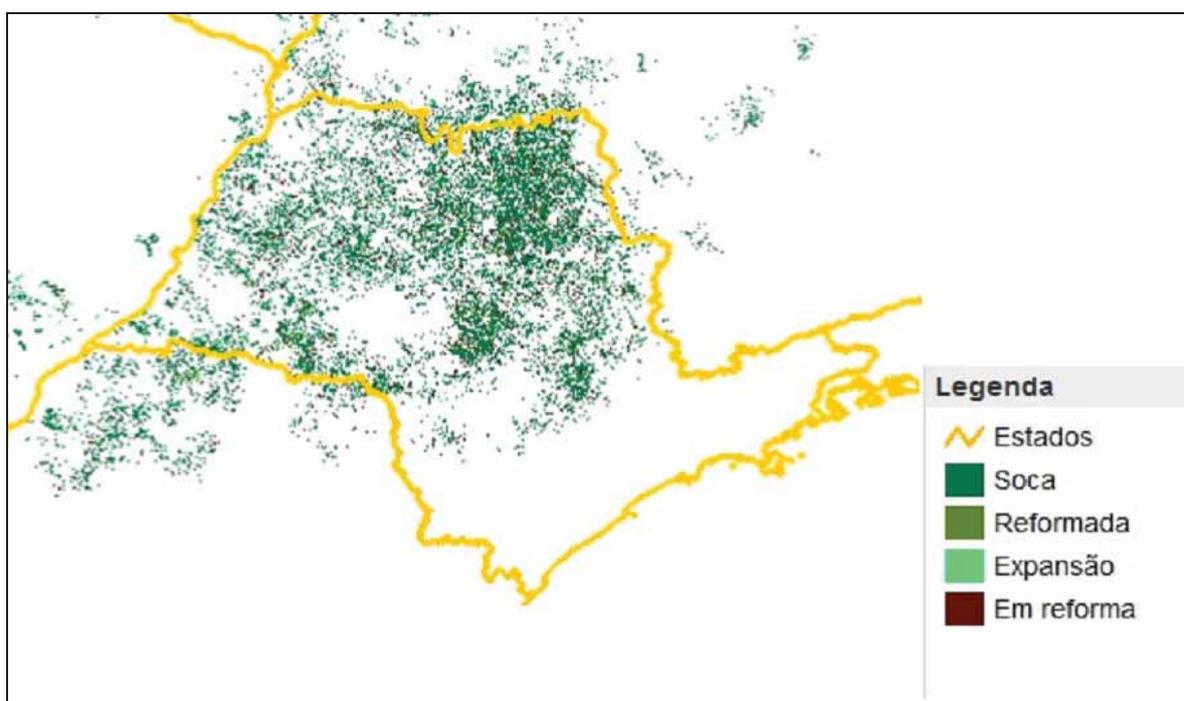
6.1 Protocolo Agroambiental

A cultura da cana é a principal atividade agrícola do Estado de São Paulo. Dados do INPE referentes à safra de 2008/09, indicam que a área plantada de cana ocupa aproximadamente 4,8 milhões de hectares, que representa 18% da área total do Estado e 23% da área agropecuária, observadas no mapa da Figura 07.

A produção paulista na safra 2008/09 foi de 364 milhões de toneladas de cana moída (equivalente a 61% da produção brasileira na mesma safra), com uma média de rendimento de 86 toneladas por hectare e uma média de 86 litros de álcool por tonelada processada ou 140kg de açúcar por tonelada processada.

Até o ano de 2011, 169 Unidades Agroindustriais assinaram o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, correspondendo a mais de

90% do parque agroindustrial paulista. Também aderiram ao protocolo mais de 5.600 fornecedores por meio de 27 associações, representando 21,7% da área de cana do Estado. Considerando que a cultura da cana é a principal cultura agrícola de São Paulo e que as ações do Protocolo visam o estabelecimento e garantia de ações efetivas para a manutenção da qualidade ambiental, a atuação deste projeto vem se mostrando um exemplo de conduta pública para o Estado e para o país.

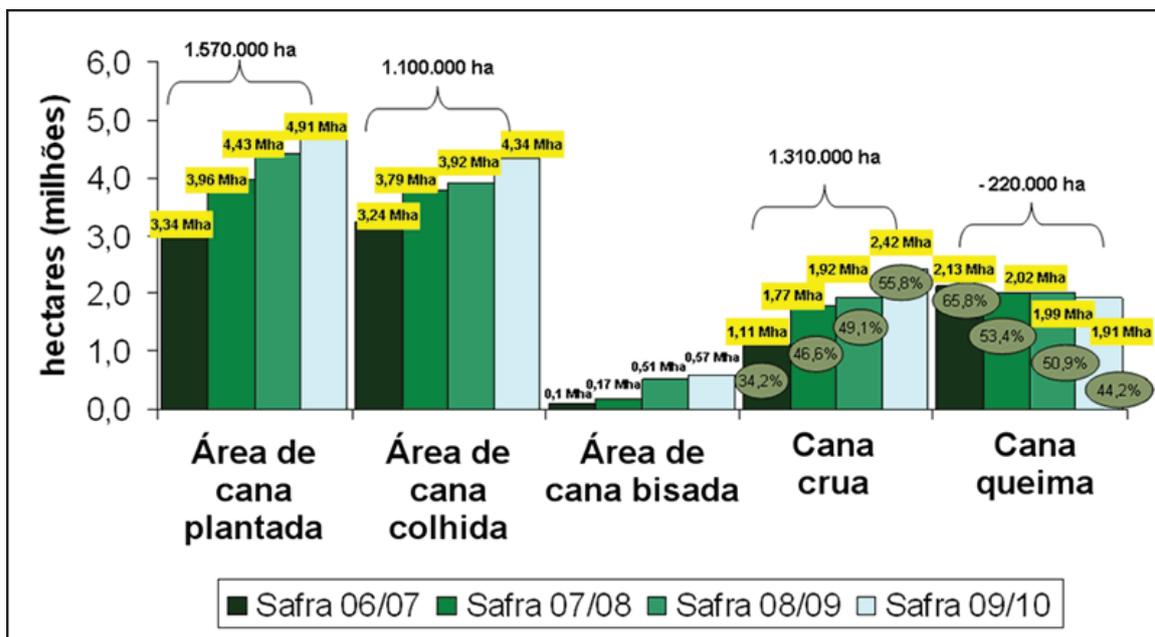


Fonte: Canasat/INPE

Figura 07 – Mapa da produção de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo safra 2011.

.6.1.1 Queima da palha da cana

Após a implantação do Protocolo houve um aumento na área colhida no Estado de São Paulo de aproximadamente 826 mil hectares, com um aumento na colheita crua de 2,1 milhões de toneladas e uma redução na colheita com queima de 331 mil hectares do Estado de São Paulo, como pode ser observado na Figura 08.



Fonte: Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado de São Paulo.

Figura 08 - Comparativo das safras 2006/2007, 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 do Estado de São Paulo.

O avanço da mecanização para colheita crua da cana em taxas maiores que as estipuladas por Lei representam um grande avanço para o setor, além de contribuir significativamente para a redução da emissão de poluentes atmosféricos e de gases de efeito estufa. Caso todo o setor estivesse seguindo os prazos determinados pela Lei Estadual 11.241/02, atualmente 70% da área plantada (aproximadamente 3,7 milhões de hectares) poderiam ser colhidas com queima; no entanto, a situação real é de apenas 1,8 milhões colhidos com queima. Desde o início do Protocolo, deixou-se de queimar um área acumulada de 2,6 milhões de hectares, evitando a emissão de 97 milhões de toneladas de poluentes (monóxido de carbono, hidrocarbonetos e material particulado) e de 1,6 milhões de toneladas de CO₂eq.

6.1.2 Protocolo Agroambiental para a proteção dos recursos hídricos no Estado de São Paulo

O Protocolo Agroambiental contempla a questão da proteção dos recursos hídricos em três aspectos. Um deles diz respeito à queima da palha e proteção dos solos. O segundo refere-se ao consumo de água na indústria sucroenergética. E o terceiro aspecto envolve a preservação das matas ciliares.

6.1.2.1 Queima da palha da cana e proteção dos solos

Atualmente cerca de 60% da cana-de-açúcar é colhida crua em São Paulo, contribuindo para a diminuição das emissões de gases do efeito estufa (GEE) e para a melhoria da saúde ambiental das regiões canavieiras. A palha da cana colhida crua permanece nos canaviais, melhora a fertilidade e estrutura dos solos e o protege da ação das chuvas. Junto com o terraceamento e outras práticas que compõem o Plano Técnico de Conservação de Solo de cada signatária, contribui-se para evitar processos erosivos e o assoreamento dos corpos d'água.

6.1.2.2 Consumo de água na indústria sucroenergética

Na década de 90, consumia-se em média 5 m³ de água por tonelada de cana processada na indústria. Hoje cerca de 1,5 m³ de água são consumidos por tonelada de cana, e esse número deve baixar para uma média de 1 m³ de água por tonelada, graças aos avanços da tecnologias no setor, fechando circuitos de uso da água, promovendo o uso racional dos recursos hídricos.

6.1.2.3 Cobertura florestal do Estado de São Paulo

De acordo com o Protocolo Agroambiental, as signatárias devem se comprometer em proteger e favorecer suas áreas de mata ciliar. Existem mais de 270 mil hectares de mata ciliar declarados no Protocolo Agroambiental, com a possibilidade de recuperação de mais de 300 mil hectares, o que além de proporcionar o sequestro e o armazenamento de carbono, irá proteger os rios e nascentes e conservar a biodiversidade do Estado (SÃO PAULO, 2008b).

6.1.3 Produção de cana-de-açúcar, etanol e açúcar no Estado de São Paulo

A Figura 09 compreende os anos de 2001 a 2010, em que podemos notar a rápida expansão da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, que passou de cerca de 150 milhões de toneladas para mais de 350 milhões de toneladas no período.

O período analisado pela Figura 10 refere-se à produção de álcool hidratado e anidro no Estado de São Paulo nos anos de 2001 a 2010. Em 2003, com o lançamento do primeiro carro bicombustível, iniciou-se uma fase ascendente na produção de álcool hidratado. No ano de 2006 já existiam mais de cinco milhões de veículos flex fuel nas estradas brasileiras. O consumo de álcool anidro manteve-se praticamente estável, chegando a ter uma ligeira alta em 2009, sucedida, porém, de uma queda no ano de 2010. O álcool anidro é utilizado adicionado a gasolina.

A Figura 11 mostra que de 2001 a 2010 houve um grande aumento na produção de açúcar no Estado de São Paulo, indo de aproximadamente dez milhões de toneladas para mais de vinte milhões de toneladas de açúcar. No ano de 2007 houve um aumento acentuado na produção de açúcar acima do normal, o motivo deste aumento está relacionado com o preço elevado no mercado externo e interno do açúcar, conforme mostra a Figura 17.

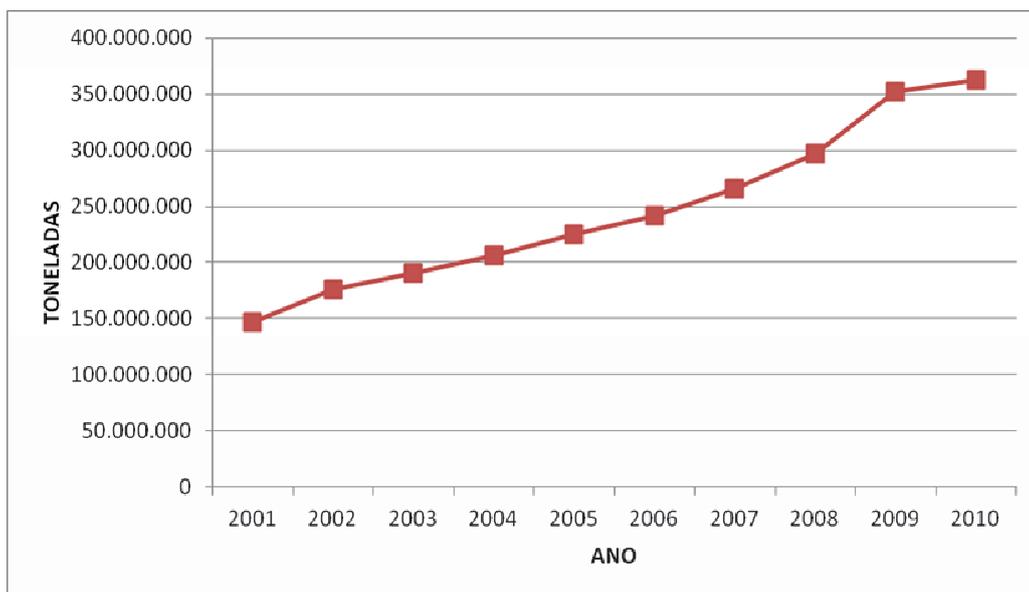


Figura 09 – Produção de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo.

Fonte:UDOP (2011).

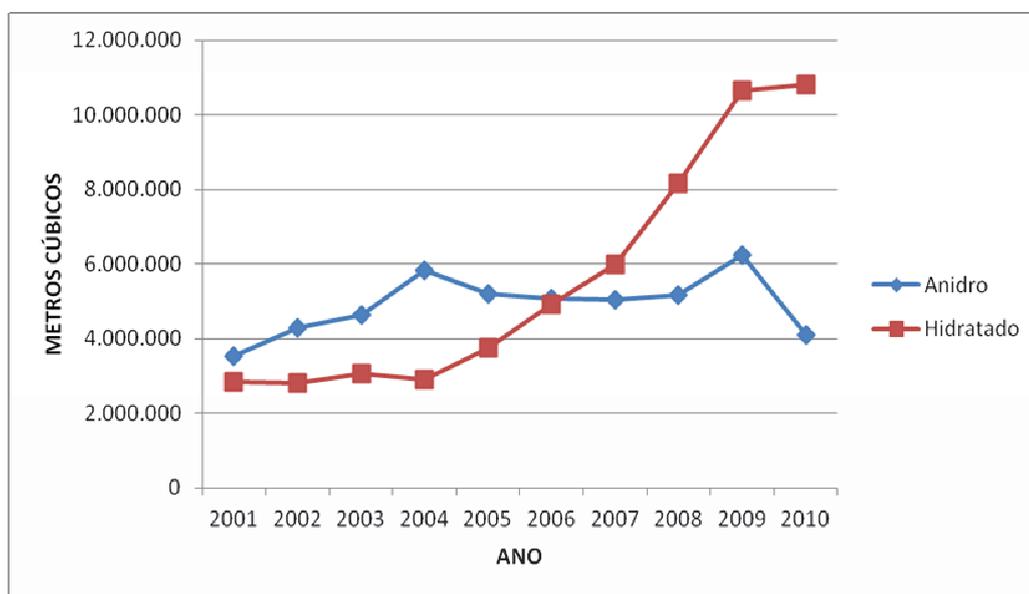


Figura 10: Produção de álcool anidro e hidratado do estado de São Paulo.

Fonte:UDOP (2011).

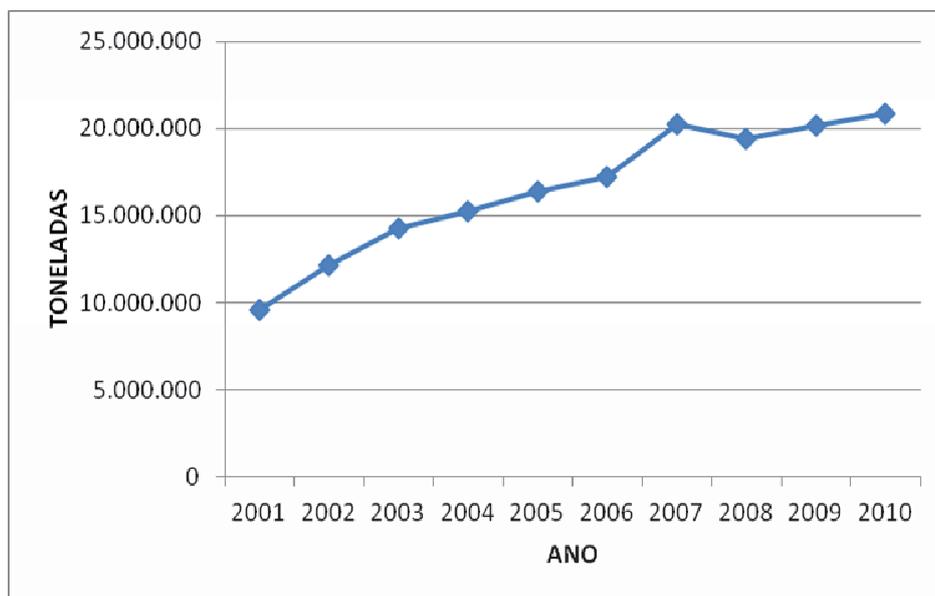


Figura 11: Produção de açúcar do Estado de São Paulo
Fonte (UDOP 2011).

6.1.4 Produção da usina

A Figura 12 mostra um aumento na produção de cana-de-açúcar de 2001 a 2008. A usina, a partir de 2005, aumentou o uso de fornecedores, ou seja, passou a comprar mais cana pronta para a moagem. Podemos enumerar dois motivos para esse aumento. O primeiro está diretamente relacionado com a redução de custos, uma vez que a aquisição da cana de terceiros era economicamente mais viável que o plantio e a manutenção dos canaviais da usina. O segundo motivo é que no ano de 2006 a usina optou por investir na cogeração, instalando novas caldeiras de alta pressão já visando sua adequação ao Protocolo Agroambiental, deixando dessa forma de investir em novas áreas de produção própria de cana-de-açúcar.

A Figura 13 compreende os anos de 2001 a 2008. A produção de álcool da usina está diretamente relacionada à demanda do produto no mercado. Em certos momentos a usina opta por produzir álcool, e em outros por produzir açúcar, levando-se em conta o melhor retorno econômico. Podemos notar um aumento brusco na produção de álcool, reflexo

do sucesso dos carros bicompostíveis a partir de 2006 e da assinatura do Protocolo Agroambiental no ano seguinte, em 2007.

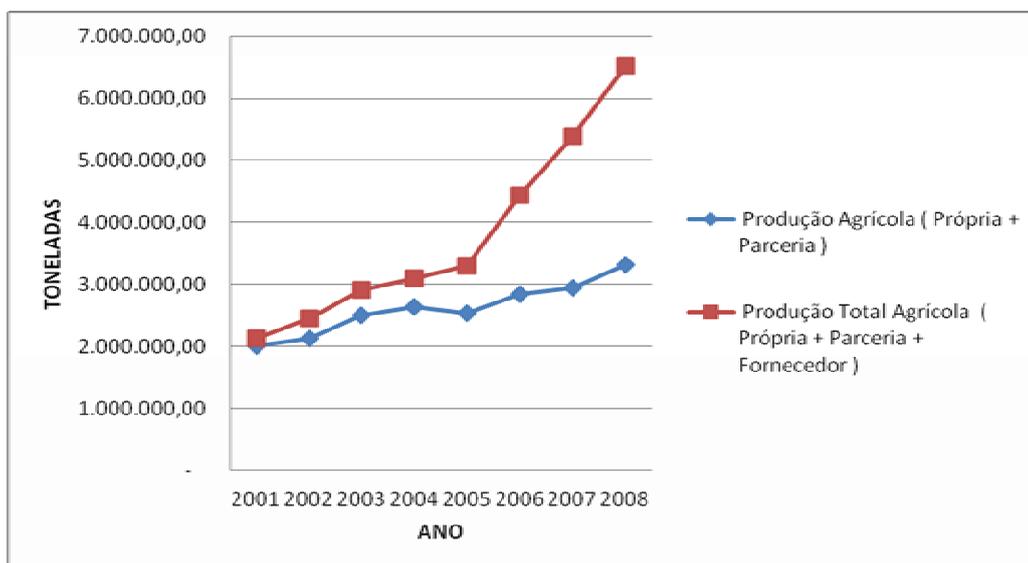


Figura 12: Produção agrícola e produção agrícola total da usina.

Fonte: Usina (2009).

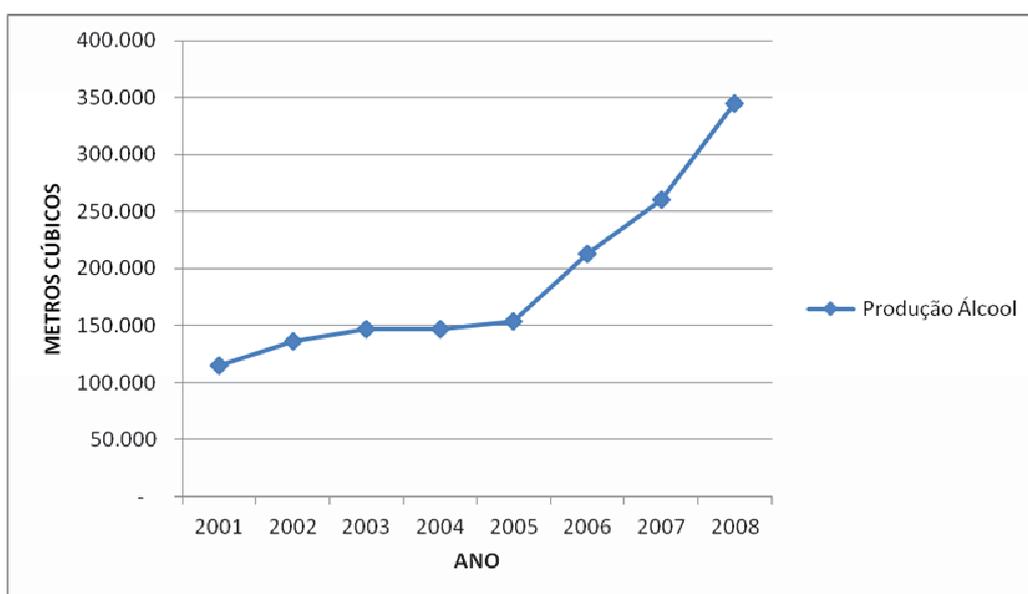


Figura 13: Produção de álcool da usina.

Fonte: Usina (2009).

A Figura 14 analisa a produção de açúcar da usina no período de 2001 a 2008. A produção de açúcar está diretamente relacionada ao preço do produto no mercado externo e interno e, neste caso, também ao Protocolo Agroambiental que contribuiu para o aumento da produção da usina.

A Figura 15 compreende o período de 2001 a 2008. Podemos notar nos dados que no ano de 2006 houve uma queda na produtividade dos canaviais da usina. Essa queda se deveu ao fato de que, em função da necessidade de redirecionamento dos investimentos para uma nova fase na cogeração no ano de 2006, em 2005 não houve renovação dos canaviais – que deve ser próxima a 20% ao ano para que seja mantida uma média de produtividade. Essa falta de renovação refletiu na redução da produtividade da safra do ano de 2006. No ano de 2007 a usina voltou a renovar os canaviais.

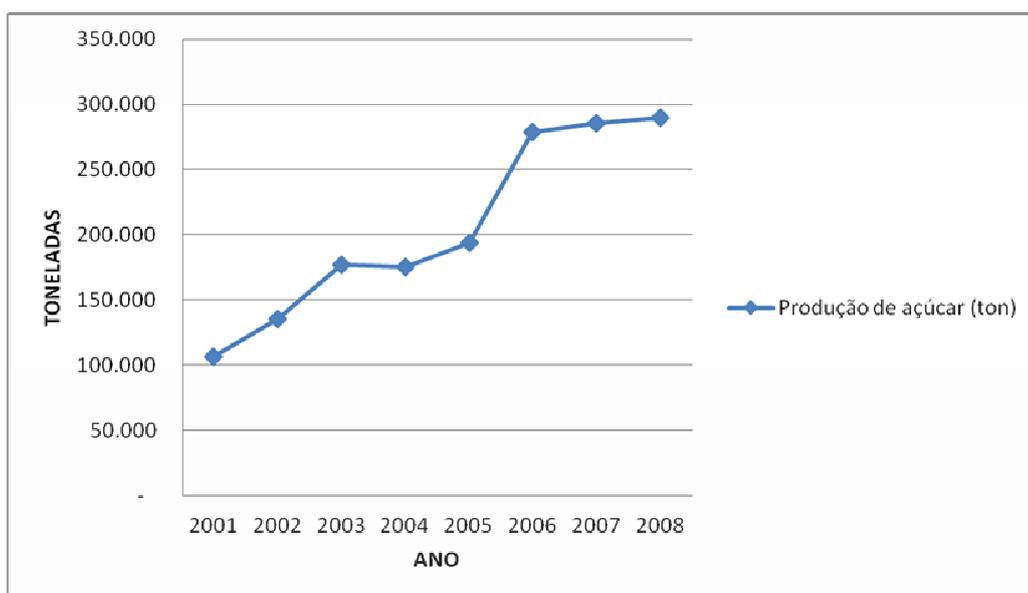


Figura 14: Produção de açúcar da usina.

Fonte: Usina (2009).

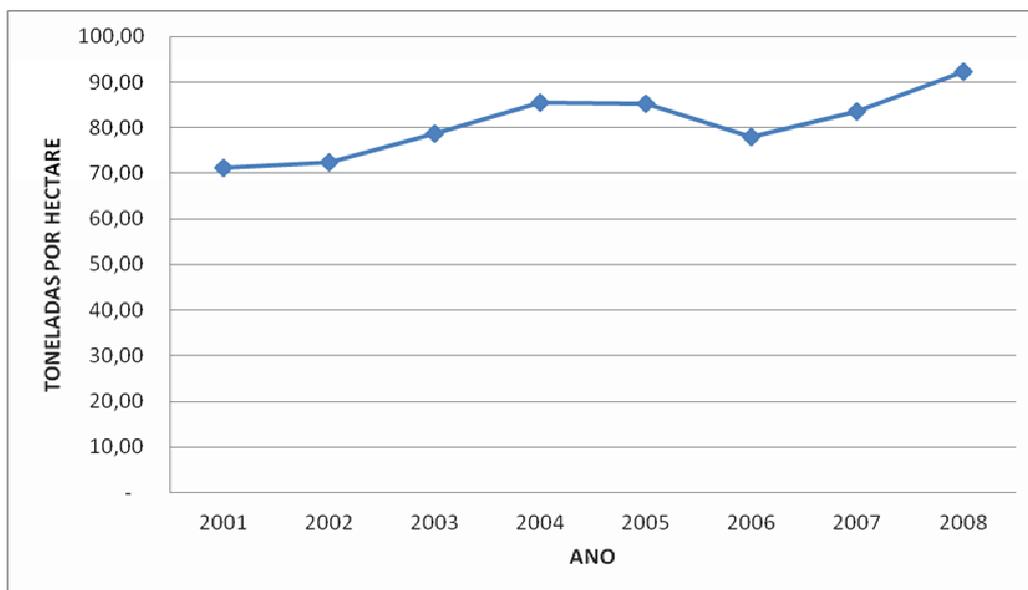


Figura 15: Produtividade da cana-de-açúcar em toneladas por hectare da Usina.

Fonte: Usina (2009).

6.1.5 Preços do açúcar, do álcool e da energia

O período analisado pela Figura 16 refere-se aos preços do etanol anidro e do etanol hidratado do ano de 2001 ao ano de 2010. O preço de ambos os produtos está regulado pela lei da oferta e procura. Tanto no preço do etanol hidratado quanto do etanol anidro não está incluído o frete, mas está incluído o PIS/COFINS de 3,65%. No caso do etanol hidratado há ainda a incidência do ICMS de 25%.

A Figura 17 mostra os preços do açúcar VHP (very high polarization) e do açúcar cristal no período de 2003 a 2010. O açúcar VHP é destinado ao mercado externo, enquanto o açúcar cristal é destinado ao mercado interno. O preço de ambos os produtos está sujeito a oferta e demanda.

A Figura 18 mostra, no período de 2004 a 2010, os preços dos contratos de compra e de venda da energia na região Sudeste do Brasil regulados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Podemos notar uma queda nos preços da energia comercializada no ano de 2009, quando houve um excesso de chuva, deixando todos

os reservatórios das usinas hidrelétricas cheios, causando dessa forma uma baixa procura por energia alternativa por parte das companhias de energia.

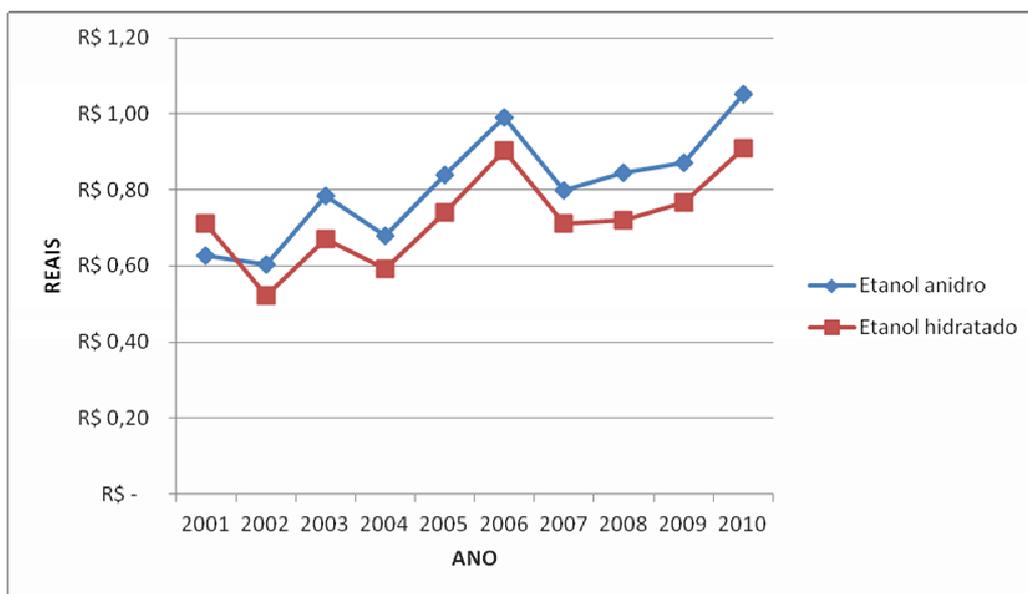


Figura 16: Preço do etanol hidratado e do etanol anidro para o Estado de São Paulo.
Fonte: UDOP (2011).

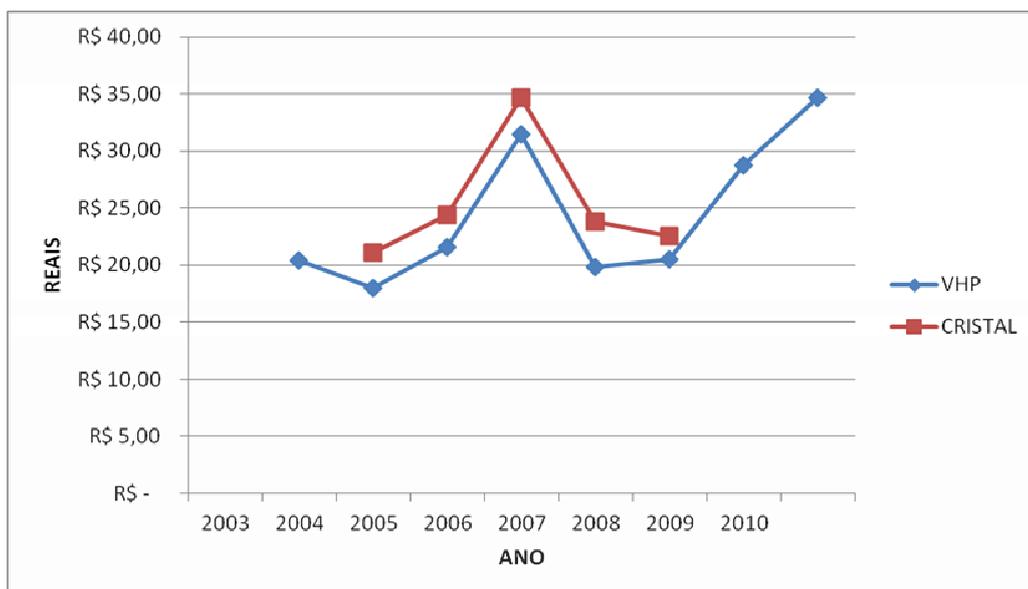


Figura 17: Preço do açúcar VHP e açúcar cristal para o Estado de São Paulo.
Fonte: UDOP (2011).

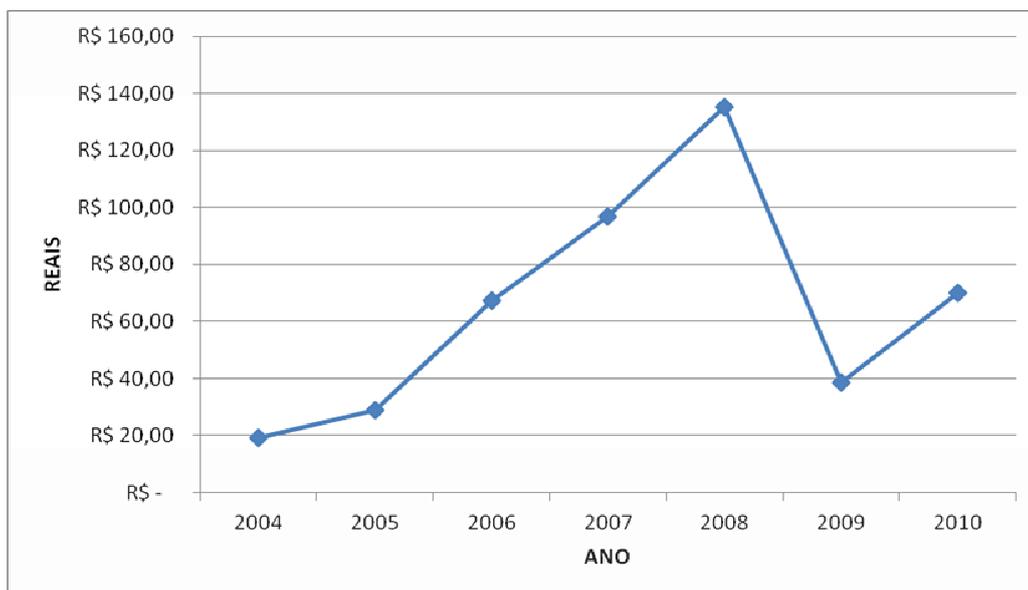


Figura 18: Preço da energia na região sudeste (R\$/MWh) para o Sistema Interligado Nacional.

Fonte: CCEE (2011).

6.1.6 Caldeira e energia

O gráfico da Figura 19 analisa, no período de 2000 a 2010, a potência instalada, a energia produzida, o consumo interno e a energia vendida – dados da usina analisada neste estudo, em quilowatts (KW).

Segundo os dados, com o aumento da potência instalada, registrado nos anos de 2002 e 2007, cresceu também a produção de energia. O volume de energia vendida acompanhou essa tendência de crescimento, embora em menor proporção. E no caso do consumo interno de energia, o crescimento registrado foi ainda menor.

A Figura 20 compreende os anos entre 2001 e 2010. Em 2001, a usina possuía uma caldeira de 120 toneladas de vapor/hora com pressão de 21 kgf/cm². Entre 2002 e 2006, a usina possuía duas caldeiras de 150 toneladas de vapor/hora e pressão de 67 kgf/cm². De 2007 a 2010, a usina possuía duas caldeiras de 150 toneladas de vapor/hora e duas caldeiras de 200 toneladas de vapor/hora, com pressão na caldeira de 67 kgf/cm².

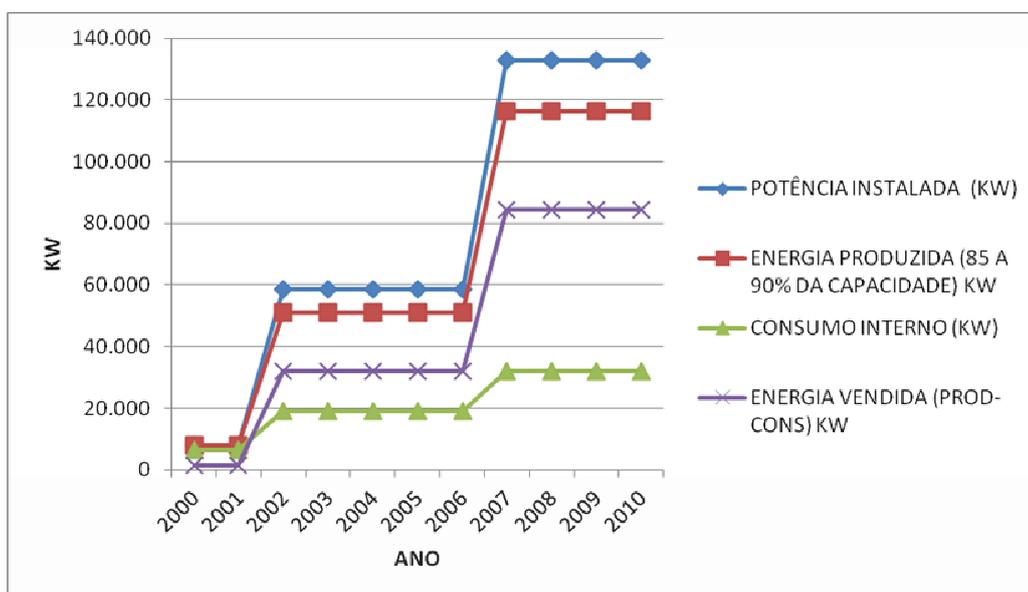


Figura 19: Energia da usina.

Fonte: Usina (2010).

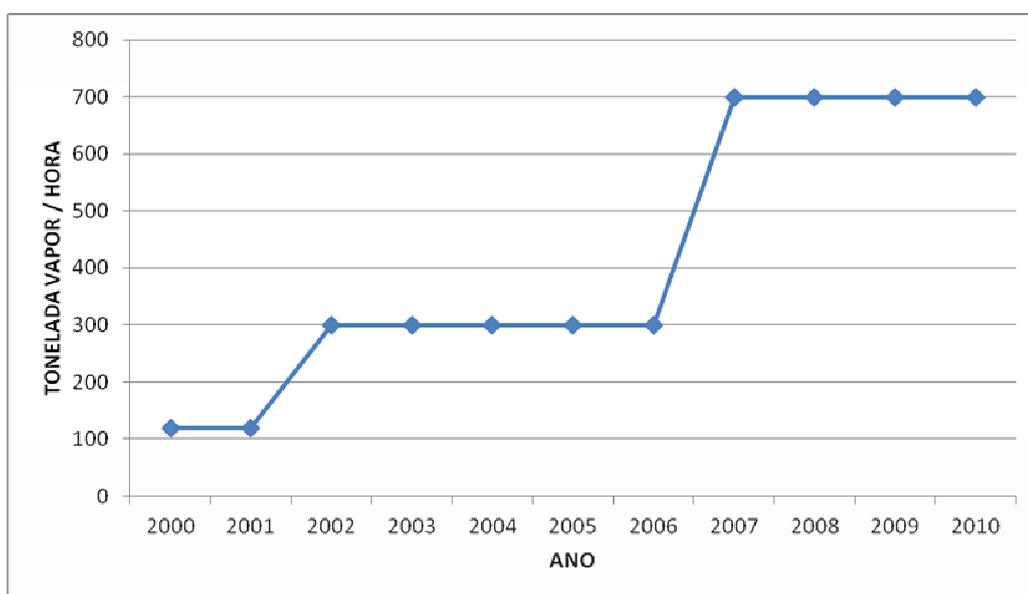


Figura 20: Capacidade instalada das caldeiras da usina.

Fotne: Usina (2010).

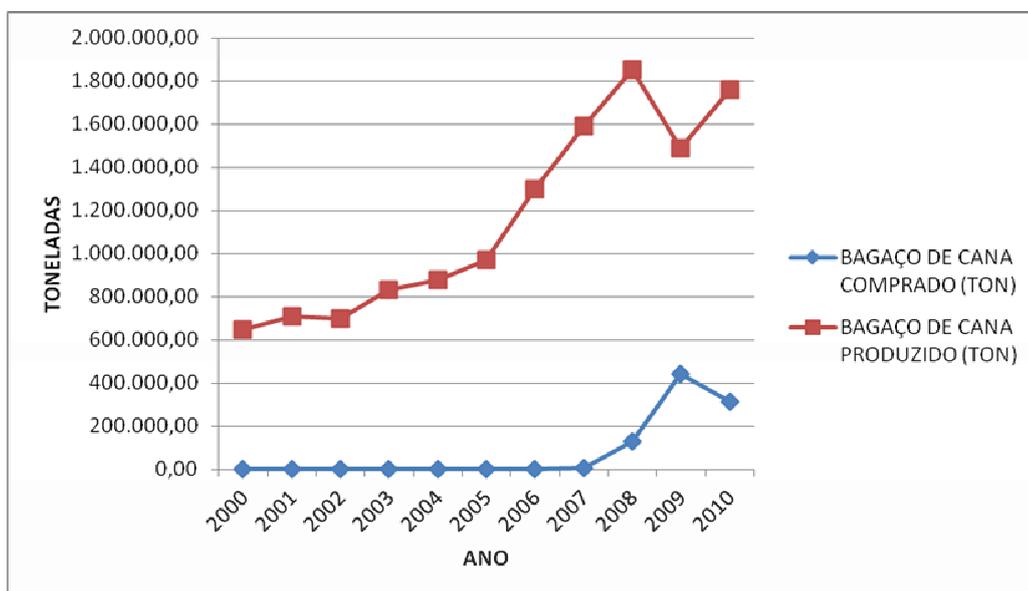


Figura 21: Produção e compra de bagaço da cana-de-açúcar pela usina.

Fonte: Usina (2010)

A Figura 21 compreende o período entre 2000 e 2010. Até o ano de 2007, a usina produzia todo o bagaço que consumia. A partir de 2007, com a compra de novas caldeiras, a usina passou a comprar um excedente de bagaço de cana-de-açúcar para suprir as suas necessidades na geração de energia elétrica.

Em 2009, de acordo com os dados apresentados na Figura 21, houve uma queda na produção de bagaço dentro da usina. O motivo da queda foi um excesso de chuva nos canaviais da usina, que impediu que se cumprisse a meta de moagem, ficando no campo grandes áreas de cana bisadas. Como há os contratos de fornecimento de energia do sistema interligado, a usina fez uma aquisição de bagaço no mercado, a fim de manter uma reserva de segurança.

As usinas começaram a utilizar a palha na geração energética, contribuindo para seus resultados e para o desempenho de todo o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo na geração própria de energia. Se por um lado as usinas se viram obrigadas a investir em tecnologia, por outro depararam com uma nova forma de incrementar a produção energética. O período analisado na Figura 22 compreende os anos de 2000 a 2010.

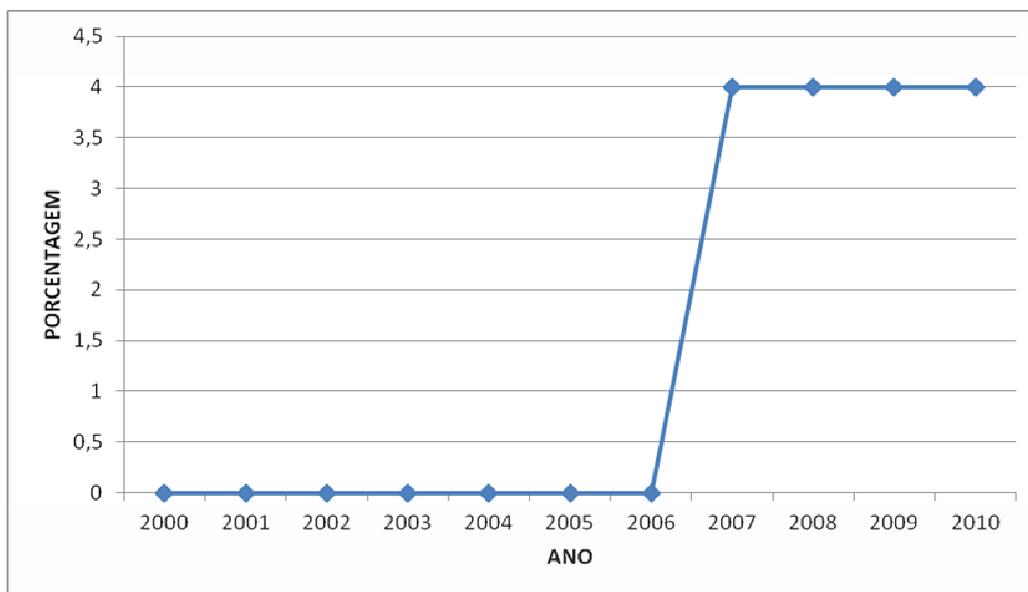


Figura 22: Utilização da palha nas caldeiras da usina.

Fonte: Usina (2010.)

Em 2006, a usina passou a utilizar nas caldeiras, juntamente com o bagaço de cana-de-açúcar, 4% da palha da cana que vinha do campo para a geração de energia elétrica.

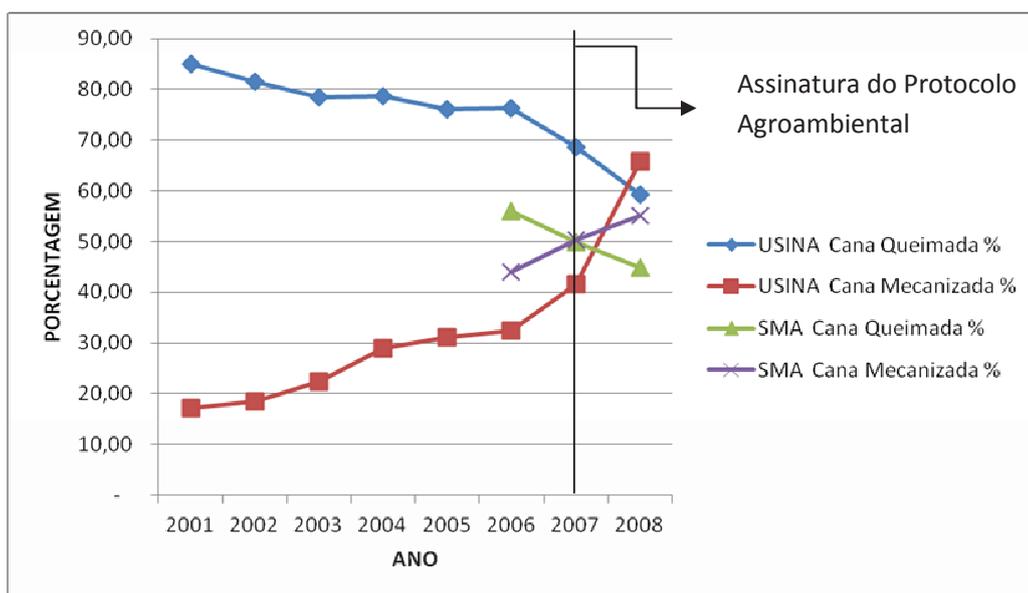
De acordo com o superintendente da usina analisada neste estudo, Luiz Paulo Sant'anna, a palha é transportada juntamente com a cana na colheita mecanizada. “Além do bagaço da cana, que já é de cerca de 28% na nossa região, vamos fazer um incremento de mais 6% de cana com a palha. Significa que 12% de 20% que a palha tem serão colhidos junto com a cana. Isso representa 60% do potencial da palha da cana. Ou seja, 40% ficarão no campo para proteção de solo e tudo mais. Além disso, segundo nosso estudo, 60% é o ponto de equilíbrio e de viabilidade de transporte. Há uma perda de densidade de carga, mas com até 60% obtém-se um preço da palha posta na usina bastante interessante, inclusive em relação à colheita da palha após a colheita da cana”.

Ainda de acordo com o superintendente, a respeito do processo de chegada da palha na usina para transformação em bioeletricidade, “As mesas recebem cana com palha, e há uma ventilação para a tiragem da palha da cana antes da moagem. Esse sistema tem uma eficiência que pode variar de 50% a 60% na época mais seca, e de 30% a

35% na época úmida, de chuvas ou nas madrugadas, quando há maior umidade. Com o melhor trabalho agrícola, a cana picada já tem de 6% a 8% de palha; em alguns casos, até 4%. Com potencial de 60% de palha na cana posta na usina, esse sistema eleva o índice de palha na cana para 12% a 13%. Se o sistema tem 50% de eficiência e o nível está em 12%, vão para a moenda 6%. Esse é o volume que já vai normalmente para a moagem; a moenda já está preparada para receber 6%, ou até 8%, de palha”, informou o superintendente da usina (MIAN, 2011a).

6.1.7 Colheita da cana-de-açúcar queimada e mecanizada

A Figura 23 mostra que entre 2001 e 2008 houve uma redução da área de cana-de-açúcar queimada e um aumento da área de colheita mecanizada na usina que foi objeto deste estudo. De acordo com a Figura, em 2008 o volume de cana colhida mecanicamente ultrapassou o volume de cana queimada na colheita.



Fonte: Usina (2009) e Secretaria do Meio Ambiente (2010).

Figura 23: Colheita de cana-de-açúcar queimada e mecanizada.

As regiões analisadas no gráfico utilizando-se os dados fornecidos pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA), que compreendem os municípios de Promissão, Avanhandava e Barbosa (Bacia do Baixo Tietê), Getulina, Gaimbê e Júlio Mesquita (Bacia do Aguapeí), Lins, Cafelândia, Sabino, Guaiçara e Guarantã (Bacia do Tietê/Batalha), apresentaram resultado semelhante, com uma queda na área de cana queimada e um aumento na área de cana colhida mecanicamente, analisando-se as safras de 2006/2007, 2007/2008 e 2008/2009.

Os dados de todo o Estado de São Paulo seguiram a mesma tendência, como mostra o gráfico da Figura 08.

De acordo com o diretor da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Ricardo Viegas, o balanço do Protocolo Agroambiental é bastante positivo. “Nós atingimos as metas estabelecidas para a safra 2010/11. Por volta de 70% das usinas estão mecanizadas nas áreas de sua responsabilidade, e cerca de 21% dos fornecedores também estão. O quadro poderia ser ainda melhor se não fosse o período seco do ano passado. Houve muito incêndio florestal, nós tivemos uma queima acidental muito grande. Mas nossa meta está sendo cumprida”, informou o diretor (MIAN, 2011b)

6.2 Mapa de declividade

Na Figura 24 pode-se observar a distribuição das classes de declive na área de estudo da usina, observando as cores características e os locais com as respectivas declividades: verde claro (0 a 3%); amarelo (3% a 6%); vermelho (6% a 12%); azul (12% a 20%); verde escuro (20% a 40%). Não há ocorrência, nesta Figura, de declividade superior a 40% (que corresponderia à cor roxa).

Tabela 15. Distribuição das classes de declividade na área de estudos.

Faixas de Declividade	Área	
	Hectare	%
0 - 3%	228475,98	41,89
3 - 6%	201594,49	36,96
6 - 12%	110968,69	20,35
12 - 20%	2434,77	0,45
20 - 40%	1850,88	0,35
TOTAL	545324,81	100

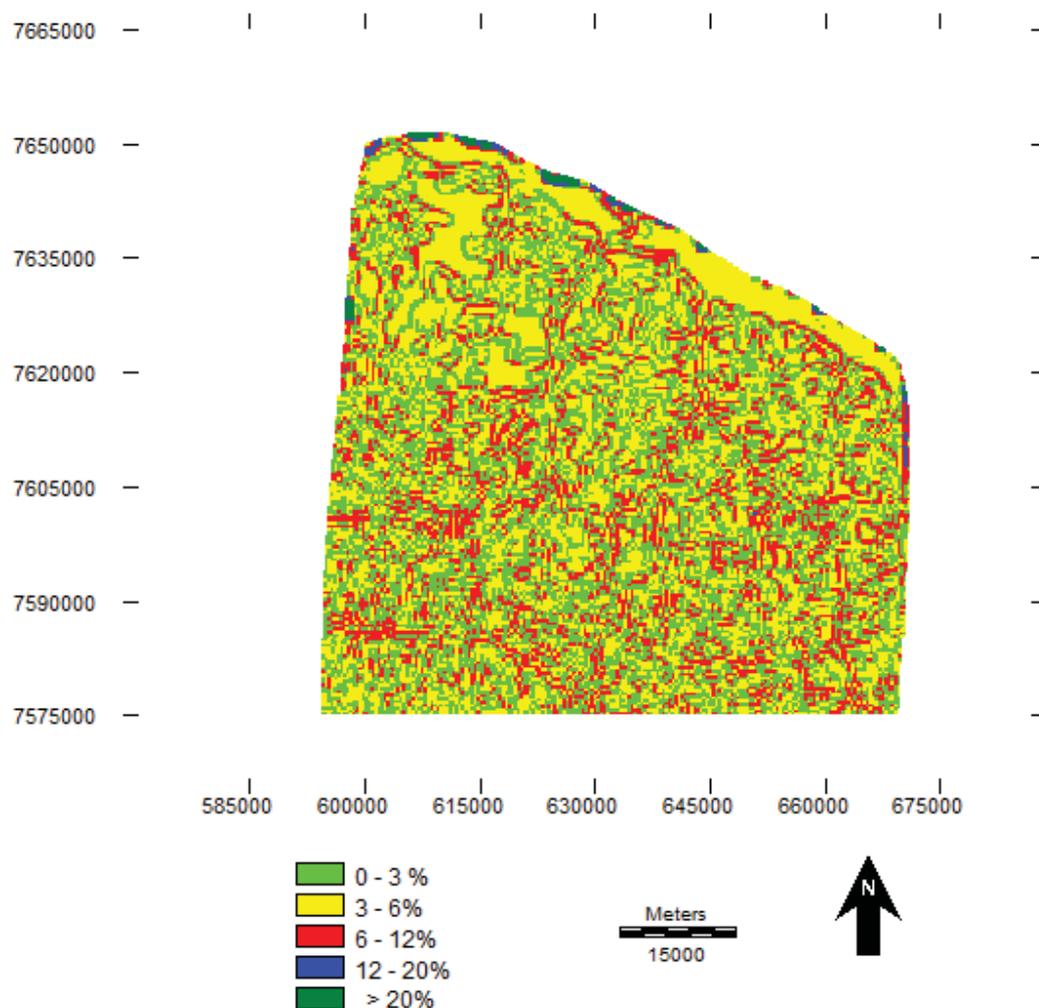


Figura 24. Distribuição das classes de declividade da área de estudo.

Observando a Tabela 15, nota-se que a área da usina em estudo encontra-se quase que em sua totalidade (99,2%) em uma superfície com declividade compreendida entre 0 e 12%. Este dado mostra que a área pode fazer uso da colheita mecanizada em toda sua extensão conforme a legislação vigente e o Protocolo Agroambiental.

6.3 Análise espacial dos usos do solo

O mapa de ocupação do solo foi elaborado através da classificação supervisionada (Mavxer) das imagens de satélite dos anos de 2000, 2005 e 2010, onde foram identificadas as seguintes classes de uso: área urbana, cana-de-açúcar, solo em preparo, solo exposto, mata e corpos d'água. Na área de estudo da usina, como mostram as Figuras 25, 26 e 27 e a Tabela 16, a cultura da cana-de-açúcar é predominante.

Tabela 16. Classes de uso do solo na área de estudos nos anos de 2000, 2005 e 2010.

Classes de uso do solo	2000	%	2005	%	2010	%
	Hectare					
Solo em preparo	164131,02	30,10	92137,05	16,90	30302,82	5,56
Cana-de-açúcar	122215,86	22,41	233219,25	42,77	271358,73	49,76
Cana em crescimento	194589,99	35,68	116348,49	21,34	116544,96	21,37
Mata	45534,87	8,35	76156,74	13,97	105799,68	19,40
Água	18853,02	3,46	27463,23	5,04	21318,57	3,91
TOTAL	545324,76	100	545324,76	100	545324,76	100

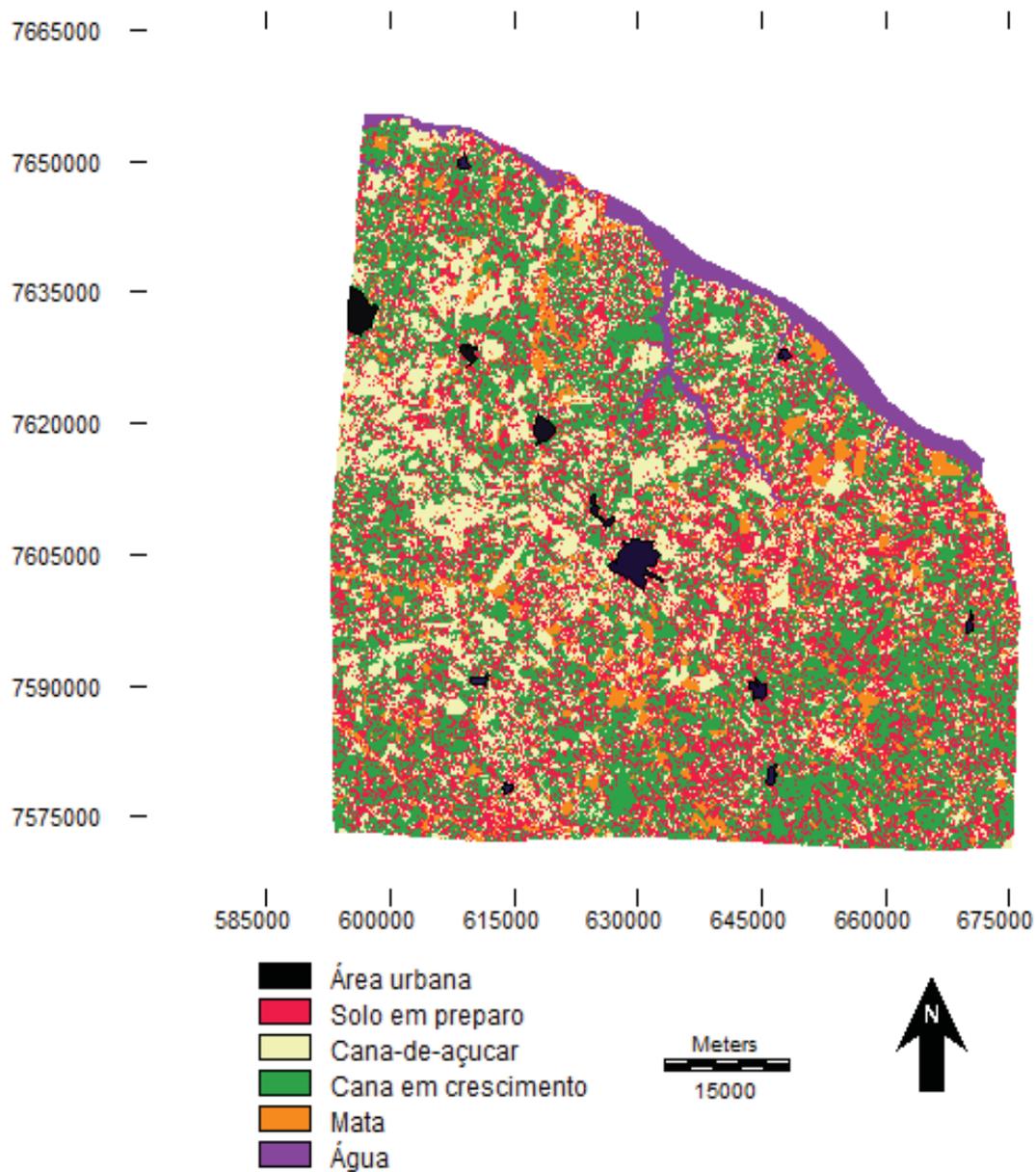


Figura 25. Distribuição espacial das diferentes classes de uso solo na área de estudos no ano de 2000.

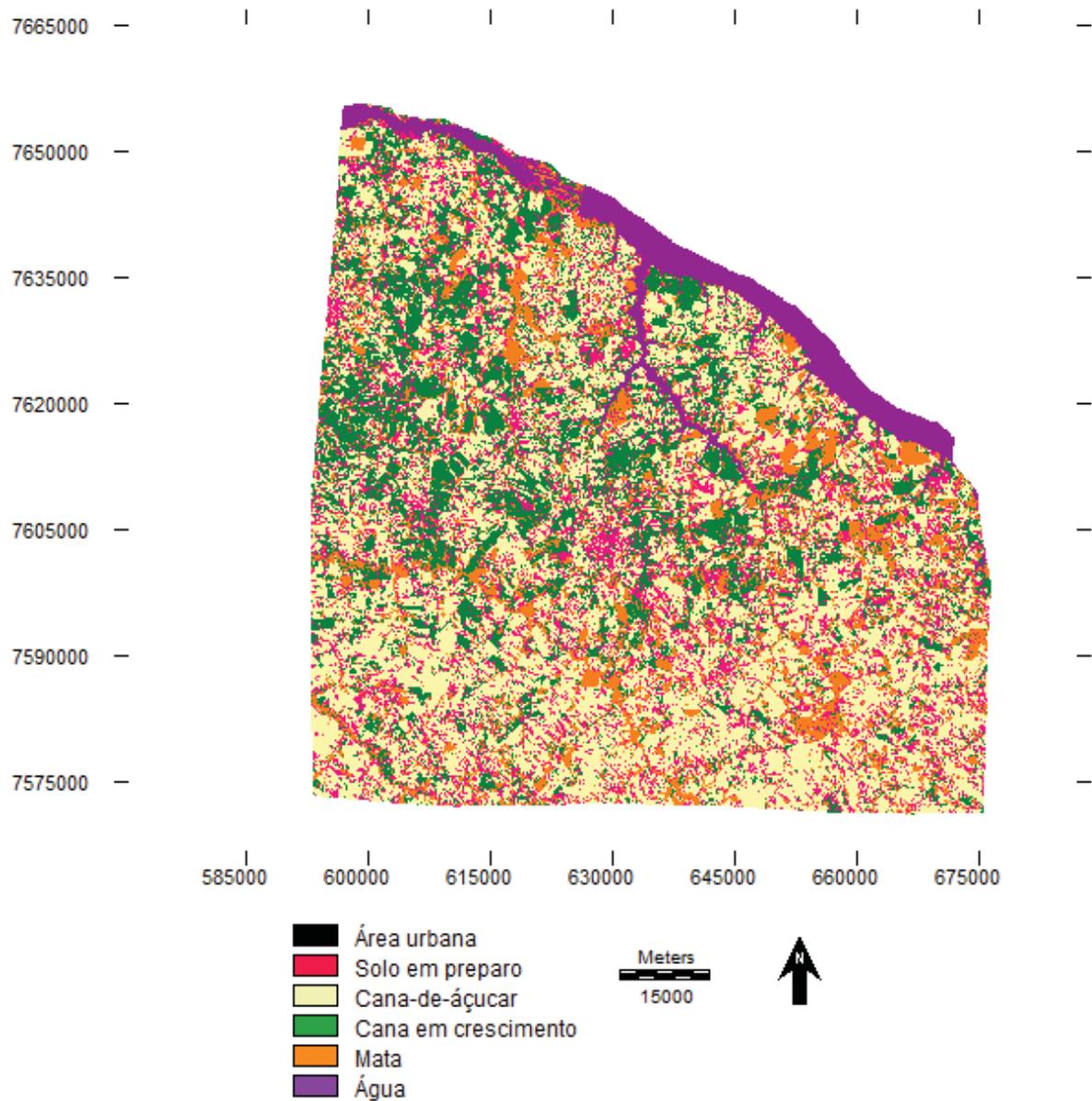


Figura 26. Distribuição espacial das diferentes classes uso de solo na área de estudos no ano de 2005.

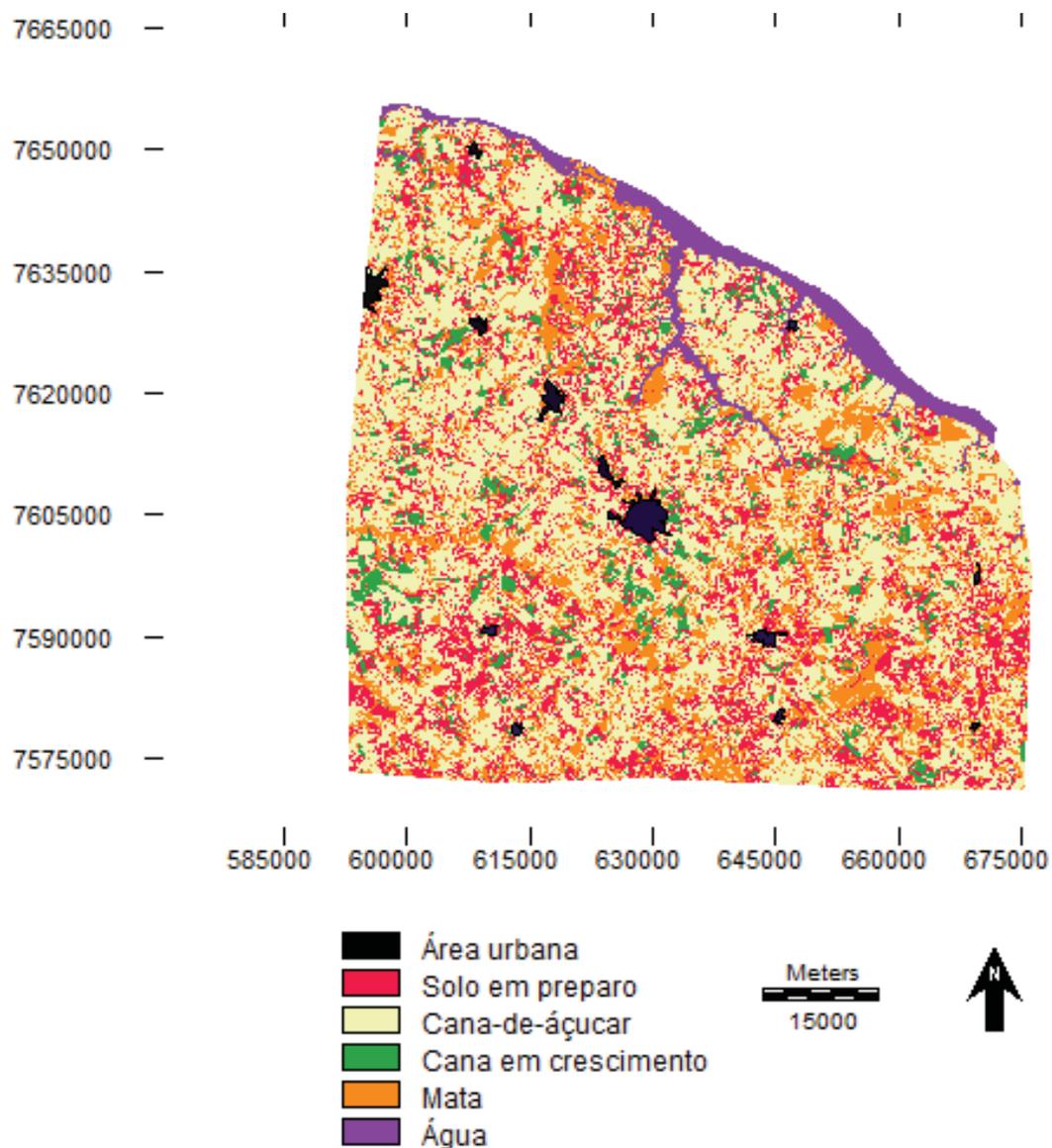


Figura 27. Distribuição espacial das diferentes classes de uso de solo na área de estudos no ano de 2010.

No mapa de uso referente ao ano de 2000 (Figura 25) pode-se observar a cultura da cana-de-açúcar, contabilizada pelas classes: solo em preparo, cana-de-açúcar e cana em crescimento. Analisando a Tabela 16, nota-se que as três classes juntas representavam 88,2% (480936,87 ha) da área total.

No mapa referente ao ano de 2005 (Figura 26) a cultura da cana-de-açúcar (contabilizando as três classes juntas) representava 81%, 441704,79 ha (Tabela 16) da área.

Com relação aos anos anteriores, observando a Figura 27 e a Tabela 16, nota-se que em 2010 a área utilizada com o cultivo da cana representava 79,7% da área total – 418206,51 ha.

Houve um decréscimo na área de cultivo de cana-de-açúcar de 8,2% em relação ao ano de 2000 e de 5,3% comparando-se com 2005.

Analisando-se os mapas da Figura 25, 26 e 27, notamos que não houve um aumento significativo da área canavieira gerenciada pela usina. E de acordo com a Figura 12, a partir de 2005 registrou-se uma grande participação de fornecedores, atraídos de outras áreas fora da área de influência da usina.

Até 2005 os índices de investimento em novas tecnologias do setor sucroalcooleiro mantinham-se praticamente estáveis. O advento da Lei 11.241/2002 e a necessidade de adequação ao Protocolo Agroambiental, que reduziu os prazos para eliminação da queimada na colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, fizeram com que as usinas aumentassem seus investimentos em tecnologia de colheita mecanizada.

7 CONCLUSÕES

A Lei 11.241/2002 e o Protocolo Agroambiental não só levaram o setor sucroalcooleiro a atingir os resultados ambientais propostos, como também contribuíram diretamente para o aumento da produção.

A necessidade de adequação ao Protocolo Agroambiental, que reduziu os prazos para eliminação da queimada na colheita de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo, fez com que as usinas aumentassem seus investimentos em tecnologia de colheita mecanizada.

Para adequarem-se à essa nova legislação e às normas estaduais, as usinas de açúcar e álcool precisaram também redimensionar seus processos industriais, tornando-os tecnologicamente mais eficientes. Todo esse novo panorama resultou no aumento da produção de açúcar, álcool e energia no Estado de São Paulo no período de estudo. A usina em estudo atendeu as determinações legais do Protocolo Agroambiental e fez os investimentos necessários refletidos nos dados de produção apresentados no trabalho, reagindo de maneira bem acentuada quanto à mecanização e à geração de energia com a instalação de novas caldeiras de alta pressão, gerando um aumento no processamento de cana-de-açúcar e na produção de bagaço, de palha, de açúcar, de álcool e de energia.

Os resultados da mobilização do setor sucroenergético frente aos desafios do Protocolo Agroambiental representaram uma evolução positiva entre as safras 2006/2007-2009/2010 no Estado de São Paulo.

Não houve um aumento significativo da área canavieira gerenciada pela usina, tendo grande participação de fornecedores, que também tiveram que se adequar ao Protocolo Agroambiental, atraídos de outras áreas fora da área de influência da usina. O mapa de declividade mostrou ser possível fazer uso da colheita mecanizada em toda a extensão da área conforme a legislação vigente e o Protocolo Agroambiental.

8 REFERÊNCIAS

ABRAMO FILHO, J. et al. Resíduo da colheita mecanizada de colheita de cana crua. **Açúcar & Álcool**, Curitiba, v. 67, n. 2, p. 23-25, 1993.

AGUIAR, D. A. et al. Imagens de sensoriamento remoto no monitoramento da colheita da cana-de-açúcar. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 440-451, jul./set. 2009.

AGUILAR, A.; PENA, V.; FRIEDDMAN, P. B. **La combustion de los residuos agricolas de la caña de azucar**: parte I: características de los combustibles. Habana: Cuba Azúcar, 1989. 40 p.

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. 188 f. Tese (Doutorado em Medicina/Patologia)-Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BALSALOBRE, M. A. A.; FERNANDES, R. A. T.; SANTOS, P. M. Corte e transporte de cana-de-açúcar para consumo animal. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., 1999, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p. 7-26.

BANCO DE DADOS DE BIOMASSA NO BRASIL. **Cana-de-açúcar no Brasil**. Disponível em: <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_cana.asp>. Acesso em: 12 dez. 2009.

BIZUTI, S. F. G. **Enleiramento e enfardamento cilíndrico de palhiço de cana-de-açúcar**: alguns parâmetros e desempenho operacional e eficiência energética. 2003. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BOVI, R.; SERRA, G. E. Folhas verdes, folhas secas, fibra do colmo e a clarificação do caldo de cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 457-463, jul./set. 2001.

BRAUNBECK, O. A. Máquina vai ajudar a extrair luz de palha. **Jornal da Unicamp**, Campinas, jul. 2001. Edição especial. Disponível em: <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/jul2001/unihoje_ju164pag18.html>. Acesso em: 16 nov. 2009.

BRAUNBECK, O. A.; CORTEZ, L. A. B. O cultivo da cana-de-açúcar e o uso dos resíduos. In: ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. (Org.). **Uso de biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2005. v. 1, p. 215-246.

BRITO, J. L. S. et al. Mapeamento das áreas ocupadas com cana-de-açúcar no município de Canápolis-MG por meio de imagens LANDSAT/TM-5. In: SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13., 2009. Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 2009. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo1/046.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2011.

CAMPOS, M. S.; MARCONATO, A. Sistema de cana crua x sistema de cana queimada. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 3, p. 10-16, maio/jun. 1994.

CARIDADE, G. N. C. et al. Análise da expansão da área plantada com cana-de-açúcar no município de Morro Agudo - SP nos anos de 1993, 2003 e 2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1511.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2011.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. **Biomass power generation sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba, 2005. 1 CD-ROM.

CLEMENTE, L. **Avaliação dos resultados financeiros e riscos associados de uma típica usina de cogeração sucroalcooleira**. 2003. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Planejamento, Operação e Comercialização na Indústria de Energia Elétrica)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir da biomassa. Um modelo para o Estado de São Paulo**. 1999. 200 f. Tese (Doutorado em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CORRÊA NETO, V. **Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural**. 2001. 174 f. Tese (Mestrado em Ciências/Planejamento Energético)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CORRÊA NETO, V.; RAMON, D. **Análise de opções tecnológicas para projetos de cogeração no setor sucroalcooleiro**. Brasília, DF: Setap, 2002. 166 p.

COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. **Revista CREA-PR**, Curitiba, n. 41, p. 16-19, out. 2006.

COUTO, L. C. et al. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

DAINESE, R. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 186 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

EID, F.; CHAN, K.; PINTO, S. S. Mudanças tecnológicas e cogeração de energia na indústria sucroalcooleira. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Teófilo Otoni, v. 2, n. 1, p. 48-57, 1998.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano decenal de expansão de energia 2008/2017**. Brasília, DF, 2009. 432 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx0>>. Acesso em: 10 dez. 2009.

FRANCO, F. N. **Alguns parâmetros de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) a granel**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C.; VILLA NOVA, N. A. Biomassa de cana-de-açúcar: energia contida no palhiço remanescente de colheita mecânica. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 4, p. 24-27, 1997.

GERMEK, H. A. **Análise de decisão sobre o aproveitamento do palhiço da cana-de-açúcar, posto na unidade industrial, para fins de cogeração**. 2005. 107 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176 p.

GONÇALVES, D. B. **A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas**. São Carlos: Rima, 2002. 127 p.

HASSUANI, S. J.; LEAL, M. R. L. V.; MACEDO, I. C. **Biomass power generation: sugar cane bagasse and trash**. Piracicaba: PNUD Brasil e Centro de Tecnologia Canavieira, 2005. 216 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades @**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 10 fev. 2010.

JIM, A. S. **Geoprocessamento aplicado no diagnóstico físico-ambiental do Ribeirão Descalvado, Botucatu-SP**. 2006. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

KESTRING, S.; BRANCHER, A.; SCHWAD, A. B. **Metodologia do trabalho acadêmico: orientações para sua elaboração**. Blumenau: Acadêmica, 2001. 81 p.

KITAYAMA, O. Bagaço total. **Globo Rural**, São Paulo, n. 271, 2008. Disponível em: <http://revistagloborural.globo.com/EditoraGlobo/componentes/article/edg_article_print/1,3916,1679908-1641-1,00.html>. Acesso em: 15 dez. 2011.

KITAYAMA, O. Unica terá reunião para avaliar atratividade do PROINFA. **Jornalcana**, Ribeirão Preto, 2004. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/5685+Unica-tera-reuniao-para-avaliar-atratividade-do-Proinfa>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

LEÃO, R. M. **Álcool, energia verde**. São Paulo: Instituto de Qualificação, 2002. 255 p.

LEITE, W. B.; PINTO, L. A. O valor do bagaço com combustível. Avaliação do bagaço da cana-de-açúcar. **Coleção SOPRAL**, São Paulo, n. 4, p. 22-39, 1983.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso: 4ª aproximação**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.

MACEDO, I. C.; LEAL, M. R. L. V.; SILVA, J. E. A. R. **Balanco das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2004. Não paginado.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. **Colheita de cana-de-açúcar verde: energia renovável para uma agricultura sustentável**. 2001. Disponível em: <<http://www1.agrobrasil.com.br/agroartigos/artigo9.html>>. Acesso em: 15 fev. 2008.

MIAN, R. **Grupo Renuka está avançado no uso da palha para geração de bioeletricidade**. São Paulo: TV UDOP, 2011a. Disponível em: <http://www.udop.com.br/tv/index.php?nome_flv=24_2092_mt&codigo=2111&pg=17&id_canal=1&campo_busca=&titulo=Grupo Renuka está avançado no uso da palha para geração de bioeletricidade>. Acesso em: 20 dez. 2011.

MIAN, R. **Diretor da SMA faz balanço do Protocolo Agroambiental Paulista**. São Paulo: TV UDOP, 2011b. Disponível em:

<http://www.udop.com.br/tv/index.php?nome_flv=24_2204_mt&codigo=2223&pg=10&id_canal=1&campo_busca=&titulo=Diretor da SMA faz balanço do Protocolo Agroambiental>. Acesso em: 20 dez. 2011.

MICHELAZZO, M. B. **Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhão de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

MORAES, M. A. F. D. de. **Cana-de-açúcar: cresce a mecanização da colheita**. *Revista*, São Paulo, v. 27, n. 11, p. 17, nov. 2007.

NAGAOKA, M. P. T. **A comercialização da energia elétrica cogenerada pelo setor sucroalcooleiro em regiões do Estado de São Paulo**. 2002. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

NOCCHI, R. O. **Quantificação econômica e energética em cultura de cana-de-açúcar na região da Alta Paulista - SP**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher, 2008. 363 p.

OLIVEIRA, E. R. Bagaço de cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. *Álcool e Açúcar*, São Paulo, n. 2, v. 4, p. 10-19, 1982.

OLIVEIRA, F. G. **Diagnóstico da expansão da cultura canavieira e dos conflitos ambientais de uso do solo no município de Barra Bonita/SP**. 2010. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

PAES, L. A. D. **Desprezada, palha pode dobrar energia**. 2005a. Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/proclima/noticias_novas/2005/ambientebrasil2005_1/04092005.htm>. Acesso em: 10 jan. 2010.

PAES, L. A. D. Uso de defensivos agrícolas. In: MACEDO, I. C. **A energia da cana-de-açúcar: doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo: Berliendi Editores, 2005b. cap. 3, p. 73-86.

PALLA, G. O. et al. Potencial de expansão da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) no município de Ilha Solteira/SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO

REMOTO, 15., 2011, Curitiba, **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0560.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2011.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2006.

PELLEGRINI, M. C. **Inserção de centrais co-geradoras a bagaço de cana no parque energético do Estado de São Paulo: exemplos de aplicações de metodologia para análise dos aspectos locacionais e de integração energética**. 2002. 168 f. Dissertação (Mestrado em Energia)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PERES, N. P. Eficiência em caldeiras na agroindústria canavieira. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, n. 1, não paginado, 1982.

RESENDE, A. S. **Queima na cultura de cana-de-açúcar: uma reflexão histórica**. 2004. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/colunistas/ColunaDetalhe.aspx?CodColuna=864>>. Acesso em: 5 fev. 2010.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1985. 285 p.

RIPOLI, T. C. C. Alternativa energética. **Cultivar máquinas**, Pelotas, v. 1, n. 4, p. 26-27, 2001.

RIPOLI, M. L. C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos**. 2004. 213 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu potencial energético**. 2002. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Ripoli, 2007. 310 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Edição dos Autores, 2009. 333 p.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. Caracterização dos principais constituintes da biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 4., São Paulo, 1995. **Resumos...** Piracicaba: EDUSP, 1995. v. 1, p. 463.

RIPOLI, T. C. C.; PARANHOS, S. B. Colheita. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar, cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 517-597.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C.; GAMERO, C. A. Colheita integral: retrocesso ou barateamento do sistema? **Idea News**, Ribeirão Preto, v. 4, n. 28, p. 66-67, jan. 2003.

RIPOLI, T. C. C.; MOLINA JÚNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Energy potencial of sugar cane biomass in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 677-681, 2000.

RIPOLI, T. C. C. et al. Equivalente energético do palhço da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola/ESALQ, 1990. p. 249-262.

RUDORFF, B. F. T. et al. **Uso de imagens de satélite de sensoriamento remoto para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo: safra 2009/10**. 2010. Disponível em: <<http://mtc-m19.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-19%4080/2010/02.09.18.47/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 5 nov. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Decreto n. 47.700, de 11 de março de 2003. Regulamentação das regras para a eliminação gradativa das queimadas. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Regras para a eliminação gradativa das queimadas. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Portaria CPRN n. 2, de 29 de janeiro de 2008a. Definição dos procedimentos para o atendimento dos artigos 3º e 7º da Resolução SMA – 42, de 26/09/2007. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 07 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA n. 12, de 11 de março de 2005. Aprovação de instruções para procedimentos de requerimento e comunicação prévia da queima controlada da palha de cana-de-açúcar nos termos da Lei nº 11.241/2002 e Decretos 47.700/2003 e 49391/2005. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA n. 33, de 21 de junho de 2007a. Disposição sobre aplicação da Lei nº 11.241/2002, com respeito à limitação gradativa da queima de palha de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA n. 42, de 26 de setembro de 2007b. Instituição do Projeto Estratégico Mata Ciliar. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Resolução SMA – 44, de 16 de junho de 2009. Procedimentos relativos à suspensão da queima da palha de cana-de-açúcar ditados pela Lei Estadual nº 11.241/2002 e Decreto 47.700/2003. Disponível em: <<http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Default.aspx?idPagina=172>>. Acesso em: 7 mar. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **O protocolo ambiental**. 2007c. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/protocoloagroambiental.php>>. Acesso em: 25 ago. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Resultados do protocolo agroambiental para a proteção dos recursos hídricos no Estado de São Paulo**. 2008b. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/23_aco.es.php>. Acesso em: 18 ago. 2011.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. **Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro**. 2008c. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/zoneamentoAgroambiental.php#>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

SARTORI, M. M. P. **Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar**. 2001. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SCHMIDT, C. H. **Estudo da viabilidade econômica para a implantação de um sistema de cogeração de energia em uma usina sucroalcooleira**. 2008. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

SEGATO, S. V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. 415 p.

SERAPHIM, O. J. Perspectivas da energia elétrica produzida pela biomassa no País. **Jornal da Unesp**, São Paulo, v. 21, n. 226, set. 2007. Suplemento. Disponível em: <<http://www.unesp.br/aci/jornal/226/supled.php>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007. 304 p.

SILVA D. K. T. et al. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 6, p. 47-53, 2005.

SILVA, M. B. da; MORAIS, A. S. Avaliação energética do bagaço de cana em diferentes níveis de umidade e graus de compactação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2008, Rio de Janeiro. **Anais...** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STP_077_543_11289.pdf>. Acesso em: 8 mar. 2011.

SILVA JUNIOR, C. A. et al. Aplicação de diferentes métodos de classificação supervisionada de imagem Landsat-5/TM na identificação de cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Brasília, DF: Ministério da Ciência e Tecnologia, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0317.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2011.

SIMÕES, J. Aproveitamento da energia gerada com bagaço depende de estímulo, dizem empresários em workshop; agenda de P&D é apresentada. **Inovação Unicamp**, Campinas, 2008. Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/etanol/report/news-energia_bagaco_080225.php>. Acesso em: 08 mar. 2011.

SOUZA, Z. M. de et al. Manejo de palhada de cana colhida sem queima, produtividade do canavial e qualidade do caldo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1062-1068, 2005.

SPENCER, G. L.; MEADE, G. P. **Manual del azucar de caña**. 9. ed. Barcelona: Montaner y Simon, 1967. 939 p.

TAUBE, J. S. Palha energética. **CanaMix**, São Paulo, n. 23, p. 98-100, 2010. Disponível em: <<http://www.canamix.net/edicoes-antiores.php>> Acesso em: 7 mar. 2011.

TOLENTINO, G.; FLORENTINO, H. O.; SARTORI, M. M. P. Modelagem matemática para o aproveitamento da biomassa residual de colheita de cana-de-açúcar com menor custo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 729-735, 2007.

TORREZAN, H. F. **Enleiramento e enfardamento prismático de palhiço de cana-de-açúcar: alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética**. 2003. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TRIVELIN, P. C. O. et al. Utilização por soqueira de cana-de-açúcar de início de safra do nitrogênio da aquamônia-¹⁵N e uréia-¹⁵N aplicado ao solo em complemento à vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, p. 89-99, 1996.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Setor sucroenergético: histórico**. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/content/default.asp?cchCode={C2B8C535-736F-406B-BEB2-5D12B834EF59}>>. Acesso em: 19 out. 2009.

VIAN, C. E. F. **Energia elétrica**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-deacucar/arvore/CONTAG01_131_

22122006154842.html>. Acesso em: 8 mar. 2011.

VIEIRA, G. **Avaliação do custo, produtividade e geração de emprego no corte de cana-de-açúcar, manual e mecanizado, com e sem queima prévia.** 2002. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

ZULUAF, W. E.; CAPORALI, S. A.; VIDEIRA, R. M. Cálculo preliminar da energia liberada anualmente na queimada dos canaviais brasileiros. In: SIMPÓSIO SOBRE QUEIMA DE PALHA DE CANAVIAIS, 2., 1985, Araraquara. **Anais...** Araraquara, 1985.