

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**COMPARATIVO ECONÔMICO DO CORTE, CARREGAMENTO
E TRANSPORTE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM
PALHADA NO SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA**

LUIZ GUSTAVO ARES KABBACH

Orientadora: Prof. Dra Maria Aparecida Anselmo Tarsitano

Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia – UNESP - Campus de Ilha Solteira,
para obtenção do Título de Mestre em
Agronomia.
Especialidade: Sistemas de Produção.

ILHA SOLTEIRA - SP

AGOSTO DE 2010

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

- | | |
|------|--|
| K11c | <p>Kabbach, Luiz Gustavo Ares.</p> <p>Comparativo econômico do corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar com e sem palhada no sistema de colheita mecanizada / Luiz Gustavo Ares Kabbach. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2010.
76 f. : il.</p> <p>Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2010</p> <p>Orientadora: Maria Aparecida Anselmo Tarsitano
Inclui bibliografia</p> <p>1. Cana-de-açúcar. 2. Colheita. 3. Colheita mecanizada. 4. Palha. 5. Análise econômica.</p> |
|------|--|



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: COMPARATIVO ECONÔMICO DO CORTE, CARREGAMENTO E TRANSPORTE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM E SEM PALHADA NO SISTEMA DE COLHEITA MECANIZADA

AUTOR: LUIZ GUSTAVO ARES KABBACH

ORIENTADORA: Profa. Dra. MARIA APARECIDA A TARSITANO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA APARECIDA A TARSITANO

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ELCIO HIROYOSHI YANO

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Profa. Dra. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Departamento de Ges e Tecn Agro-Industr / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

Data da realização: 31 de agosto de 2010.

DEDICO

Às pessoas mais importantes da minha vida,

Michel Christóforo Kabbach e Lúcia Helena Ares Kabbach, meus amados pais, e as minhas irmãs, Ana Paula e Ana Cláudia.

Sempre me proporcionaram o melhor, sem medir esforços, para que eu pudesse realizar meu sonho.

Na fase de desanimo e descrença me confortaram com sabias palavras.

Mesmo nos momentos mais difíceis de nossas vidas permaneceram unidos, e juntos conseguimos dar a volta por cima.

Dedico a você, minha FAMÍLIA, por tudo que sou hoje!

OFEREÇO

A minha amada avó, Olga Bellini Kabbach (*in memorian*).

Me viu iniciar, mas não concluir essa jornada. Obrigado pelo carinho de sempre, palavras de incentivo e por confiar sempre no meu potencial. O mundo seria muito melhor com mais pessoas como ela!

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a DEUS, por todos os momentos ao longo da minha e pelos que ainda virão;

A todos os docentes e funcionários do curso de pós-graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira pelos conhecimentos acadêmicos e científicos transmitidos;

Como na graduação, novamente ressalto aqui a importância da Professora Dra. Maria Aparecida Anselmo Tarsitano, pela orientação ao longo do curso, atenção, paciência, profissionalismo e pela amizade conquistada ao longo desses anos;

A Ana Beatriz por estar sempre ao meu lado, apoiando minhas decisões e juntos superando todas as dificuldades que ocorreram no meio do caminho. Também agradeço a ela todas as nossas conquistas, pois caminhando sozinho dificilmente teriam se realizado;

Ao amigo, Angelo Schussler, com o qual realizei várias discussões sobre o tema do trabalho, e que muito me auxiliou com seus conhecimentos, além de todos aqueles que comigo trabalham e convivem me apoiando sempre em todos os momentos;

Não poderia me esquecer de todos os amigos da graduação, pois sem eles nada disso hoje seria realidade. Também conquistei novos amigos na pós, essenciais para essa glória fosse alcançada. A minha caminhada não seria a mesma sem vocês: Embrião, Lepra, Cachaço, Flavim, Pingüim, Seqüela, Roberta, Karina, Zé, Lacraia, Hughes, Remela, Morna, Mala, Fabio, Rodrigo, Carlos Eduardo, Beiçola, Shoyo, Flávio Hira, Julião, e peço desculpas se esqueci de alguém nesse momento de correria, mas com certeza serão lembrados no coração;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) por acreditar e financiar o projeto de pesquisa em questão;

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

"Não deixe que a saudade sufoque, que a rotina acomode, que o medo impeça de tentar. Desconfie do destino e acredite em você. Gaste mais horas realizando que sonhando, fazendo que planejando, vivendo que esperando porque, embora quem quase morre esteja vivo, quem quase vive já morreu." (Luiz Fernando Veríssimo)

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo que quantificasse o impacto gerado pelo transporte da palha para a indústria no dimensionamento da frota, no valor dos investimentos iniciais para aquisição dos equipamentos do corte, carregamento e transporte (CCT) mecanizados da cana-de-açúcar picada sem queima e na viabilidade econômica dessas operações. Os estudos foram conduzidos em parceria com uma empresa do setor sucroalcooleiro localizada na região Oeste do Estado de São Paulo, durante os anos de 2007 e 2008. A metodologia proposta foi composta pelo acompanhamento das atividades rotineiras da empresa, visando à obtenção de dados reais de campo. Os equipamentos utilizados nas operações foram divididos em sistemas: corte mecânico, carregamento, transporte e apoio. Se for opção da empresa a colheita integral da cana-de-açúcar sem a separação da palha do colmo no campo, os equipamentos industriais deverão ser adequados para a realização da separação da palha do colmo a seco. Ao se simular os dois tipos de colheita mecanizada (com e sem palha) se obtêm duas configurações diferentes para a quantidade de ART perdido com acréscimo de palha na moagem, assim como quantidades diferentes de geração de energia para venda. Para a análise de viabilidade econômica dos dois sistemas estudados, foi estruturado um fluxo de caixa, onde é possível verificar os valores das entradas e saídas dos recursos e produtos. Os resultados mostram que a presença da palha interfere no dimensionamento dos equipamentos envolvidos do CCT, fazendo assim, com que os investimentos sejam diferentes. O custo operacional total (COT) em R\$/hectare também foi mais oneroso no sistema em que não se separa a palha dos colmos devido à redução na capacidade de campo. O aumento do potencial de exportação de energia elétrica, devido à presença da palha na indústria, faz com que esse sistema se torne viável, cobrindo assim a diferença encontrada entre os investimentos e os custos operacionais.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar. Colheita mecanizada. Palha. Análise econômica.

ABSTRACT

This study had the goal to quantify the impact generated by the transport of straw to factory in the fleet sizing, value of initial investments for equipment purchase involved in cut, loading and transportation (CCT) mechanized of chopped sugarcane without burning and in the economic viability of these operations. The studies were conducted in partnership with a company located in Western part of São Paulo State, during the years 2007 and 2008. The proposed methodology was composed of monitoring the daily activities of this company, aiming at collecting real field data. The equipment used in operations were divided into systems: mechanical cutting, loading, transportation and support. If the company chose the sugarcane harvesting without separating the straw in the field, the industrial equipment expected to change. By simulating the two types of mechanical harvesting (with and without straw) gets two different settings for the amount of lost ART with straw increase in the crushing, as well different amounts of power generation for sale. For the analysis of economic feasibility of the two systems studied, was structured cash flow, where it's possible checking the values of inputs and outputs of resources and products. The results showed that the presence of straw interferes in the equipment sizing involved in the CCT, making the investments different. The total operational cost (COT) in R\$/hectare was also more expensive in the system that does not separate the straw due to the reduction in the field capacity. The increase in the export potential of electricity, due to the presence of straw in the factory, makes this system feasible, thus covering the difference found between the investment and the operational costs.

Keywords: Sugarcane. Mechanical harvest. Straw. Economic analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Mapa do estado de São Paulo dividido em 40 Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs).....	23
Figura 2 –	Representação do ciclo realizado pelo conjunto transbordo na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	28
Figura 3 –	Evolução da área e produção de cana-de-açúcar para indústria no EDR de General Salgado.....	34
Figura 4 –	Evolução da área e produção de cana-de-açúcar para indústria no Estado de São Paulo.....	34
Figura 5 –	Áreas com a cultura da cana-de-açúcar no EDR General Salgado na safra 2003/2004.....	35
Figura 6 –	Áreas com a cultura da cana-de-açúcar no EDR General Salgado na safra 2008/2009.....	35
Figura 7 –	Comparativo da evolução da produtividade de cana-de-açúcar para indústria no EDR de General Salgado e no Estado de São Paulo.....	36
Figura 8 –	Representação esquemática das operações de CCT.....	38
Figura 9 –	Ilustração das composições rodoviárias utilizadas no transporte da cana-de-açúcar.....	39
Figura 10 –	Guindaste Hilo para cana-de-açúcar inteira.....	40
Figura 11 –	Guindaste hilo para cana-de-açúcar picada.....	40
Figura 12 –	Ponte rolante para cana-de-açúcar inteira armazenada no pátio.....	41
Figura 13 –	Basculamento com auxílio de pistão hidráulico para cana-de-açúcar inteira.....	41

Figura 14 –	Palha inteira e palha picada.....	42
Figura 15 –	Mesa alimentadora.....	43
Figura 16 –	Descarregamento da cana crua na mesa alimentadora.....	43
Figura 17 –	Ventiladores e esteira de transporte de cana.....	44
Figura 18 –	Caixa coletora de impurezas (cana queimada).....	44
Figura 19 –	Caixa coletora de impurezas (cana sem queima).....	45
Figura 20 –	Projeto do sistema de limpeza de cana a seco (Projeto CTC).....	46
Figura 21 –	Projeto CTC e mesa alimentadora.....	46
Figura 22 –	Projeto CTC e os ventiladores.....	47
Figura 23 –	Projeto CTC com saídas de ar, entrada de palha e terra na câmara e esteira de cana.....	47
Figura 24 –	Projeto CTC e caixa coletora de palha e terra.....	48
Figura 25 –	Sistema de lavagem a seco em operação.....	48
Figura 26 –	Projeto Techpetersen.....	49
Figura 27 –	Projeto Techpetersen.....	49
Figura 28 –	Comparativo do investimento inicial e do custo operacional total (em mil R\$) do CCT mecanizado na safra para os sistemas com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.....	61
Figura 29 –	Colheita mecanizada de cana-de-açúcar com limpeza da palha, acompanhada pelo conjunto transbordo.....	66

Figura 30 –	Transferência da carga do transbordo para o semi-reboque, responsável por fazer o transporte rodoviário.....	66
Figura 31 –	Detalhe de um dolly canavieiro utilizado para acoplar dois semi-reboques.....	67
Figura 32 –	Detalhe da fila de semi-reboques aguardando o carregamento no campo nos carreadores principais.....	67
Figura 33 –	Pneu de alta flutuação do transbordo para minimizar a compactação do solo no sistema de colheita mecanizada.....	68
Figura 34 –	Colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua mostrando o grande volume de palha que é separado pelo extrator primário.....	68
Figura 35 –	Colhedora aguardando a manutenção programada no campo.....	69
Figura 36 –	Manutenção programada sendo realizada no campo pelo fabricante da colhedora.	69
Figura 37 –	Fabricação do chassis de um semi-reboque de cana-de-açúcar picada.....	70
Figura 38 –	Caixa de armazenagem de cana-de-açúcar picada que irá ser colocada sobre o chassis do semi-reboque.....	70
Figura 39 –	Dolly canavieiro em fase final de fabricação.....	71
Figura 40 –	Semi-reboque de cana-de-açúcar picada em fase final de fabricação.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –	Dimensionamento de colhedoras de cana-de-açúcar para o CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.....	51
Tabela 02 –	Dimensionamento dos equipamentos utilizados nas operações de carregamento e apoio para o CCT mecanizado de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria	52
Tabela 03 –	Dimensionamento dos equipamentos utilizados na operação de transporte da cana-de-açúcar no CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.....	53
Tabela 04 –	Comparativo do dimensionamento da frota do CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.....	54
Tabela 05 –	Comparativo do investimento inicial (em mil R\$) necessário para introdução do CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007	55
Tabela 06 –	Demonstrativo dos custos operacional total (COT) em R\$/hora das operações do CCT mecanizado da cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007	58
Tabela 07 –	Demonstrativo dos custos operacional total (COT) em R\$/hectare das operações do CCT mecanizado da cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.....	60
Tabela 08 –	Análise de investimento (em mil R\$) para a implantação do sistema de colheita de cana-de-açúcar sem limpeza da palha, em área própria, para um período de 10 anos nas características técnicas agroindustriais da empresa avaliada, em 2007 ...	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	A evolução da colheita mecanizada no Brasil	18
3.2	O setor sucroalcooleiro e a co-geração de energia	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1	Fonte de dados.....	23
4.2	Técnicas de pesquisa.....	25
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5.1	Caracterização da regional de General Salgado (SP)	33
5.2	Sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar (CCT).....	36
5.3	Adaptações industriais para o processamento da cana-de-açúcar crua com o transporte da palha.....	41
5.3.1	<i>O funcionamento do sistema de limpeza da cana de açúcar</i>	45
5.4	Dimensionamento da frota para o CCT mecanizado de cana de açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria.....	50
5.5	Investimento inicial necessário para o corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria.....	54
5.6	Custo operacional total do corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria	56
5.7	Análise de investimento	61
6	CONCLUSÕES.....	65
7	ILUSTRAÇÃO DA PESQUISA.....	66
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

A Companhia Nacional do Abastecimento¹ (CONAB) estimou a produção brasileira total de cana-de-açúcar para 2009/10 em 612,2 milhões de toneladas². O volume representa uma alta de 7,1% em relação à produção total obtida em 2008/09, de 571,4 milhões de toneladas. A área ocupada atualmente é de 7,5 milhões de hectares, sendo que, deste total 86% localizam-se na região Centro-Sul e os 14% restantes na região Norte e Nordeste. Na safra 2009/10, o Brasil apresentou uma produtividade média de 81,3 toneladas por hectare (TCH), número superior em apenas 0,4% quando comparado com a última safra.

Segundo informações do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) e União dos Produtores de Bionergia (UDOP), citado por Camargo et al. (2008), até o ano de 2008 haviam sido anunciadas 61 novas unidades no Estado de São Paulo. Desse total de novas indústrias, 45 concentram-se na região Oeste do Estado sendo quatro no EDR de General Salgado. Algumas unidades já estão em plena operação e 24 devem começar nas próximas safras.

De acordo com a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), para a safra 2010/11 são esperadas que mais 10 usinas iniciem suas atividades. Em comparação com os anos anteriores, esse número é bem inferior, e indica uma desaceleração do crescimento do setor. Na safra 2007/08 iniciaram as atividades 25 novas unidades, 30 em 2008/09 e 19 em 2009/10 (UNICA, 2010).

O maior produtor nacional de cana é o Estado de São Paulo com 354,4 milhões de toneladas estimadas para a safra 2009/10, representando cerca de 65% da produção da região Centro-Sul e 58% de toda a cana produzida no país. A área cultivada com cana-de-açúcar para indústria no Estado de São Paulo em 2009 foi de 5.539 mil ha (área nova mais área para corte) segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), 2010.

De acordo com o coordenador do Projeto Ambiental Estratégico Etanol Verde, Ricardo Veigas, a colheita mecanizada superou a manual no Estado, e acredita-se que para o término da safra 2010/11 o índice de mecanização da colheita em São Paulo seja superior aos 60% (GRASIELA, 2010).

Os órgãos ambientais mostram atualmente uma grande preocupação com o resíduo gerado pela colheita desta cultura, pois a queima da palha antes da colheita ocasiona liberação

¹ Empresa pública vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA

² Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2009/2010. Terceiro levantamento – dezembro de 2009. Dados disponíveis em: www.conab.gov.br.

de gases poluentes a atmosfera, causa incêndios em zonas rurais podendo danificar redes elétricas, além da possibilidade do fogo atingir reservas e mananciais.

Abandonando-se essa prática, de colheita de cana-de-açúcar queimada, o palhicho constituído por ponteiros, folhas verdes, palhas e frações de colmos remanescentes após operações de colheita, poderia ser recolhido e utilizado visando geração de energia elétrica, nas próprias usinas e destilarias (RIPOLI, 2002).

No processamento da cana-de-açúcar, há alta demanda de energia térmica, mecânica e elétrica. Após a extração do caldo, é possível queimar o bagaço obtido em caldeiras, produzindo vapor que é utilizado para obter as três fontes de energia. É importante ressaltar que, do total da energia contida na planta de cana-de-açúcar, o álcool responde por cerca de um terço, estando o restante distribuído entre o bagaço, os ponteiros e a palhada. Logo, a co-geração movimenta uma cadeia energética com potencial de dobrar a energia obtida pela produção do álcool (BIODIESELBR, 2007).

Na cultura da cana-de-açúcar, a colheita sem queimada deixa, sobre o solo, uma espessa camada de palha, que pode superar 20 t ha⁻¹. A palha, associada às modificações técnicas necessárias para implementar a colheita mecânica da cultura, criou um novo sistema de produção de cana-de-açúcar, popularmente denominado cana crua (VELINI; NEGRISOLI, 2000). A mecanização da colheita de cana crua não só aumenta o rendimento operacional do procedimento como também reduz seu impacto ambiental, por dispensar a queima de resíduos.

Segundo Magalhães e Braunbeck (1998), nos últimos anos têm crescido o interesse por colhedoras de cana picada, principalmente em áreas com topografia adequada em função de problemas relacionados à mão-de-obra. Essas máquinas cortam, picam, limpam e carregam a cana-de-açúcar em operações integradas.

De acordo com Fernandes et al. (1977, citado por NEVES et al., 2003) a adoção dessa modalidade de colheita de cana crua introduz certos inconvenientes, tais como: aumento dos índices de impurezas na carga, que implicam na redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem e perdas de cana no campo. Considera-se como impureza toda a matéria estranha ao processamento industrial da cana-de-açúcar, ou seja, que não se prestam à extração de açúcar ou de álcool. Geralmente, as impurezas vegetais como folhas, ponteiros e raízes compreendem a maior porcentagem de impurezas nas cargas transportadas à usina, seguidas pelas impurezas minerais como terra, pedras e eventuais pedaços de metal.

Ao realizar a colheita mecanizada de cana crua, as impurezas transportadas aumentam, assim como as perdas de matéria prima. Isso se deve ao fato de não ocorrer a pré-limpeza do

canavial com o uso do fogo, fazendo com que a colhedora processe um maior volume de massa vegetal.

Vários autores mostram a viabilidade do uso do palhiço na produção de energia, pois além do potencial energético desta biomassa, têm-se como vantagens as questões ambientais, a manutenção de empregos e a limitação dos recursos energéticos de fontes naturais (EID et al., 1998; LOPEZ, 1987; RIPOLI, 1991; SCHNEIDER, 2001, citado por FLORENTINO; SPADOTTO, 2006). As grandes dificuldades do aproveitamento deste resíduo para geração de energia tem sido a falta de tecnologia apropriada para coleta e processamento e o alto custo demandado no sistema de transporte. No entanto, a forma de carregamento pode otimizar o desperdício de tempo, como aumentar o número de viagens do caminhão, aumentando os gastos com combustíveis e desgastes com o veículo (FLORENTINO; SPADOTTO, 2006).

Com o aumento da mecanização da colheita de cana e a diminuição da prática de queima prévia da palha dos canaviais, cresce significativamente a quantidade de palhiço (folhas, ponteiros e frações de colmos e raízes) que acaba sendo transportado para as indústrias.

As dificuldades encontradas na colheita da cana crua serão amenizadas devido à intenção das empresas sucroalcooleiras em realizar a consolidação da geração de energia com a queima do bagaço da cana-de-açúcar. Esse desenvolvimento da co-geração de energia exigirá uma transformação do setor, pois irá aumentar a demanda de palha que terá como função, alimentar as caldeiras de vapor. Isso fará com que a matéria seca de palha deixada pela colhedora no campo se transforme em atividade rentável que possibilite diminuição dos custos da colheita mecanizada.

Futuramente, a palha, o ponteiro e o bagaço da cana-de-açúcar servirão para incrementar o calor necessário para a geração de energia nas usinas. Estudos indicam que a matéria seca deixada no campo se transportada para a usina, pode aumentar o poder calorífico da caldeira em cerca de 20%. O sistema seria simples: a palha e o ponteiro, que normalmente ficam no campo, seriam levados juntamente com a cana para a usina onde, antes da moagem, sofreriam uma limpeza a seco, sendo compactados, para armazenamento e utilização na queima junto ao bagaço ou na época de entressafra de cana-de-açúcar (USTULIN; SEVERO, 2004).

Há também outras vantagens, pois a colheita mecanizada com a realização da limpeza da palha a seco na esteira da usina tornaria mais simples o trabalho das colhedoras. Todo o conjunto de equipamentos utilizados pela colhedora para a limpeza a campo seria eliminado. Sem o uso de exaustores, ventiladores, cortadores de pontas e partes dos sistemas hidráulicos,

o equipamento se tornaria mais simples e barato, dando mais eficiência e leveza à colhedora, o que reduziria também os gastos com manutenção e reposição de peças (USTULIN; SEVERO, 2004).

2 OBJETIVOS

O objetivo do estudo foi comparar os sistemas de corte, carregamento e transporte (CCT) mecanizados de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palhada nos seguintes aspectos: dimensionamento da frota, investimentos necessários, custos operacionais e viabilidade econômica dos sistemas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A evolução da colheita mecanizada no Brasil

A mecanização na cultura canavieira não é novidade no Estado de São Paulo, onde a mesma se iniciou em meados da década de 1970. Essa novidade surgiu da necessidade de mão de obra para a atividade que se tornava cada vez mais escassa e pela evolução técnica do processo produtivo que ocorria no Estado nessa época.

Na década seguinte, nos anos 80 e início dos anos 90, a mecanização não evoluiu. Isso se deve aos elevados custos acarretados pela falta de assistência técnica adequada dos maquinários, pela falta de evolução tecnológica e pelo alto índice de perdas de matéria prima, que reduz drasticamente o rendimento industrial.

De acordo com Veiga Filho (2002), a partir de meados dos anos 90, algumas montadoras se instalaram no Brasil. O desenvolvimento tecnológico dessas máquinas foram relevantes, pois o domínio dessa técnica em termos de operação e a adaptação das lavouras à mecanização da colheita já estavam bem evoluídos, acontecendo em seguida, no final dos anos 90 e início de 2000, os estímulos de preços da cana, do açúcar e do álcool.

O setor agroindustrial canavieiro é considerado um dos principais geradores de emprego no país. Segundo Costa (2004), a agroindústria canavieira é responsável por cerca de um milhão de empregos diretos, sendo 511 mil gerados na produção de cana e o restante dividido entre a produção de açúcar e de álcool.

O tipo de colheita da cana-de-açúcar pode influenciar na produção e longevidade da cultura, como os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e a saúde pública. O sistema de colheita em cana queimada elimina a matéria seca e aumenta a concentração de gás carbônico na atmosfera, contribuindo para o efeito estufa e diminuição do teor de matéria orgânica no solo (SOUZA et al., 2005).

O decreto de Lei Estadual 47.700, de 11 de março de 2003, regulamenta a Lei Estadual 11.241, de 19 de setembro de 2002, que determinou prazos para a eliminação gradativa do emprego do fogo para despalha dos canaviais paulistas, sendo de grande

interesse agrícola e ecológico, estabelecendo prazos, procedimentos, regras e proibições que visam a regulamentar as queimadas em propriedades agrícolas.

Segundo Salvi et al. (2007) no processo de produção da cana, a colheita destaca-se pelos altos custos envolvidos, como dificuldades operacionais na condução de colheita manual, semi-mecanizada, seja mecanizada. Nos últimos anos, a colheita tem passado por uma fase de substituição do corte manual para o mecanizado e, de acordo com Nunes Júnior et al. (2005), 38,8% da produção de cana da safra 2003-2004 da região Centro-Sul do País foi colhida mecanicamente e, dessas, 40,7% na forma picada e crua. Existe a perspectiva desses percentuais aumentarem nos próximos anos devido à possibilidade de redução de custos, escassez de mão-de-obra e legislação ambiental, que reduz gradativamente a queima de canaviais, inviabilizando a colheita manual.

Em função da altura do corte realizado pelas lâminas da colhedora, o comprimento da cana pode ser menor que o obtido manualmente, o que representaria uma perda direta. Devido ao espaçamento da cultura, um dos lados da máquina colhedora roda sobre a linha de cultivo, o que aumenta a densidade do solo e leva a uma rebrota menos uniforme. Terrenos com alta declividade e certas variedades de cana também não são favoráveis à colheita mecanizada. De um ponto de vista social, a colheita mecanizada pode causar grande desemprego, já que uma colhedora é capaz de substituir 80 trabalhadores por dia (FURTADO, 2002).

Com isso observa-se uma evolução tecnológica gradativa e constante, sempre buscando o desenvolvimento dos profissionais do setor, capacitando-os e reaproveitando a mão de obra já existente e o acompanhamento dos impactos ambientais gerados que acompanham a mecanização das lavouras.

3.2 O setor sucroalcooleiro e a co-geração de energia

O setor sucroalcooleiro possui vários subprodutos, como o bagaço e a palha da cana que são matérias-primas de destaque como fontes energéticas, devido à quantidade excedente e o poder energético de ambos. Há muito tempo, desde o início do século XX, o bagaço é usado como fonte de energia térmica, substituindo a lenha, e no século XXI o bagaço é predominantemente usado na produção de energia (mecânica e térmica), através da co-geração (SOUZA; AZEVEDO, 2006).

Sendo assim, a palha que antes era queimada agora também figura como combustível convertido em energia nas caldeiras da usina. O uso não só do bagaço, mas também da palha, significa um incremento energético no setor sucroalcooleiro (MIRANDA; GOMES, 2009).

A geração de energia elétrica por parte do setor sucroalcooleiro encontra-se muito aquém de seu potencial. Mediante a adoção de tecnologias disponíveis de co-geração a partir do bagaço e da palha, apenas a produção de excedente de energia por parte das usinas paulistas teria sido capaz de suprir o déficit de toda a Região Sudeste, por ocasião do racionamento, durante a crise de 2001-2002 (SOUZA, 2003).

Tolmasquim, Szklo e Soares (2002, citado por SOUZA, 2003) afirmam que, a colheita mecanizada e a utilização de palhas e pontas, em 2001, o potencial de co-geração de energia pelo setor sucroalcooleiro seria de 18.264 MW, podendo chegar a 21.309 MW até o ano de 2010, com o crescimento da área plantada.

Uma tonelada de cana contém a energia equivalente a 1,2 barril de petróleo, sendo que cerca de 1/3 dessa energia está armazenada quimicamente no caldo (açúcares) e o restante na biomassa de cana: metade no bagaço e metade na palha, aproximadamente (HOLLANDA, 2008).

Goes (2008) cita que o desenvolvimento da co-geração de energia, a partir da biomassa, impulsionada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA – colocou o setor sucroalcooleiro em novo patamar de importância. Afirma-se que em pouco tempo as usinas não serão mais somente indústrias de açúcar e álcool e sim biorefinarias.

A capacidade instalada no Brasil para produção de eletricidade a partir da biomassa da cana-de-açúcar é de 2.822 MW, em mais de 250 usinas, representando aproximadamente 14% da capacidade termelétrica atual do País. No estado de São Paulo existem 146 usinas de co-geração em operação, com potência instalada total de 1.700MW, correspondendo a 70% da co-geração no Brasil. Parte dessa energia é utilizada para atender a necessidade das usinas e o resto é vendido no mercado (GOLDEMBERG, 2008).

Existem previsões de que com o crescimento do PIB e o aquecimento da indústria, a demanda por energia tende a aumentar consideravelmente. De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE do Ministério de Minas e Energia -MME, o consumo total de energia elétrica no Brasil cresceu cerca de 5,4% em 2007 em comparação ao consumo registrado em 2006. A UNICA estima que o setor sucroalcooleiro tem potencial para suprir 15% das necessidades brasileiras até 2015, com a geração de mais de 14.000MW médios a partir da utilização de 75% do bagaço e 50% da palha disponível nas usinas (GOES, 2008).

A biomassa gerou no ano de 2007 cerca de 18 TWh de energia elétrica, o que correspondeu a 3,7% da matriz elétrica (BRASIL, 2008).

A energia usada no processo de produção de açúcar e álcool é proveniente da co-geração; processo este que, simultaneamente e a partir da mesma fonte combustível (celulose), produz energia em sua forma térmica e mecânica (COELHO, 1999). A energia térmica provém da queima do bagaço e da palha. Este calor (energia térmica) atende à necessidade térmica da produção de açúcar e álcool. Também, atende à necessidade mecânica, ou seja, a partir dessa energia em forma de calor movem-se turbinas, que faz com que os equipamentos de preparo e moagem funcionem; que por sua vez acionam os geradores de eletricidade. A energia elétrica gerada destina-se ao consumo da própria usina; o excedente pode ser ofertado ao mercado de energia elétrica (MIRANDA; GOMES, 2009).

A co-geração é enquadrada na regulamentação de maio de 1981 através do Decreto-Lei nº 1.872. Este decreto também autoriza os concessionários de serviço público de eletricidade a adquirir energia elétrica excedente de autoprodutores, desde que não sejam de fontes derivadas de petróleo.

O decreto nº 1.872 considera energia elétrica excedente como “a diferença entre a geração elétrica que pode ser obtida pela plena utilização da capacidade instalada do produtor e o seu consumo próprio”. Os autoprodutores, em caso de escassez, podem ser obrigados a fornecer energia aos concessionários.

Em setembro de 1996 o Decreto nº 2.003 regulamentou a produção por produtor independente, onde este é definido como aquele que tem concessão ou autorização de produzir energia elétrica com a finalidade de comercializar.

No setor sucroalcooleiro a co-geração não significa apenas economia de energia, mas sim um processo necessário ao suprimento do elevado consumo energético da usina. A inovação tecnológica torna-se relevante para maximização da eficiência energética na geração de excedente que pode ser exportado pela usina (MIRANDA; GOMES, 2009).

A tecnologia para se obter maior produção de energia está disponível no setor, mas há a necessidade de um ambiente institucional que favoreça o mercado de energia elétrica para que o potencial se concretize (MIRANDA; GOMES, 2009).

Souza e Azevedo (2006) mencionam que a quantidade potencial de geração no setor sucroalcooleiro está diretamente relacionada à tecnologia utilizada nas usinas. Porém, não é o único fator que explica a pequena geração, existem barreiras ao desenvolvimento do mercado de energia elétrica excedente. Através de estudo de caso em cinco usinas do Estado de São Paulo, os autores observaram entraves à produção e venda de excedentes de energia elétrica

como a volatilidade dos preços; as externalidades positivas do produto não são incorporadas no preço do MWh; o risco de descumprimento de contratos; os usos alternativos para o bagaço e para a palha e a falta de liquidez no mercado de crédito de carbono. Ante esses entraves, a escolha da maioria das usinas é ter a co-geração apenas como forma de auto-suficiência. A indústria sucroalcooleira, por ser intensiva no uso de energia, tem altos custos com a comercialização da energia elétrica: esta é a explicação à opção de limitar a geração apenas para consumo próprio (SOUZA; AZEVEDO, 2006, citado por MIRANDA; GOMES, 2009).

Castro et al. (2008) colocam o fato da comercialização de energia não ser o negócio central para o setor como o principal obstáculo à inserção definitiva da bioeletricidade sucroalcooleira no mercado de energia e sugere uma co-gestão entre o agente do setor sucroalcooleiro e o agente regulador como forma de se alcançar essa inserção definitiva.

Inovações no âmbito da produção têm um papel importantíssimo na área de energia. Mas no caso específico, é necessário haver a difusão de inovações que já existem e que estão disponíveis. Inovações na regulamentação e na comercialização fazem-se necessárias para que as tecnologias relacionadas à geração de energia possam ser efetivamente usadas e causem impactos positivos à economia (MIRANDA; GOMES, 2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Fonte de dados

A região em que o trabalho foi realizado faz parte do Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de General Salgado, que é uma Unidade Administrativa da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) / Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo que substituiu as Divisões Regionais Agrícolas (DIRAS) e Delegacias Agrícolas. Ao todo são 40 Escritórios Regionais Agrícolas - CATIs Regionais ou EDRs distribuídos por todo o estado (Figura 2).

O Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de General Salgado abrange 21 municípios em uma área de 716.431,7 ha. Deste EDR fazem parte os seguintes municípios: Auriflama, Buritama, Floreal, Gastão Vidigal, General Salgado, Guzolândia, Lourdes, Macaubal, Magda, Monções, Nhandeara, Nova Castilho, Nova Luzitânia, Planalto, Santo Antônio do Aracanguá, São João de Iracema, Sebastianópolis do Sul, Sud Menucci, Turiúba, União Paulista e Zacarias.



Figura 1 - Mapa do estado de São Paulo dividido em 40 Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs).
Fonte: Francisco et al. (1997).

No EDR de General Salgado a cultura da cana-de-açúcar é a principal atividade em termos de valor da produção, a participação do valor da produção com cana em 2008 de 43,94% aumentou para 56,50 % em 2009 (TSUNECHIRO et al., 2010).

Outro fator relevante para o crescimento da cana nesta região é o preço da terra, pois enquanto na região de Ribeirão Preto o valor médio de um hectare é de mais de R\$23.000,00, no EDR de General Salgado é de R\$11.000,00/ha (variando entre 5 mil reais e 16 mil reais, o valor mínimo e máximo) segundo dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2010). Nesta Regional a produção de cana-de-açúcar mais que quadruplicou nos últimos 7 anos, passando de 3,24 milhões de toneladas em 2002 para 13,94 milhões de toneladas no ano de 2009.

O trabalho foi realizado juntamente com uma empresa do setor sucroalcooleiro, produtora de álcool, açúcar e energia, localizada na região Oeste do Estado de São Paulo, pertencente ao Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de General Salgado. O estudo comparou dois sistemas mecanizados de CCT, sendo um com e o outro sem limpeza da palha durante a operação de colheita.

De acordo com Magalhães (2010) o extrator primário da colhedora é responsável por 90% do processo de limpeza da cana-de-açúcar, realizando assim a separação dos colmos das impurezas vegetais. No sistema proposto sem a limpeza da palha, os extratores são desligados e o colmo, juntamente com a palha, é carregado nos transbordos e transportado para a indústria.

A unidade de processamento possui uma área de 15.545 hectares e processa 1.500.00 toneladas de cana-de-açúcar por safra, sendo que 60% são de produção própria (áreas próprias e arrendadas) com uma produtividade média de 110 TCH. Com essa produtividade, a empresa consegue suprir em 68% da demanda industrial de matéria prima. O restante é originado através de áreas de fornecedores/parceiros e possui uma produtividade média de 76 TCH, representando 32% da demanda industrial de matéria prima.

Os dados foram obtidos por meio de levantamentos no campo (apontamentos) e no Sistema Agrícola da empresa. Os dados referentes à manutenção dos equipamentos (máquinas e veículos) foram coletados através de consultas no Sistema de Controle da Oficina Automotiva. Os dados coletados foram anotados em planilhas, e transferidos para o *software Microsoft Excel for Windows* e sistematizados em tabelas.

O trabalho contemplou o dimensionamento da frota necessária para as operações mecanizadas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar picada sem queima, baseando-se na expectativa de área com colheita mecanizada própria.

Segundo Miller (2008), o cálculo do número de dias necessários para a realização da moagem é obtido através da relação entre a quantidade disponível de cana para moagem e a capacidade diária de processamento. Deverá também ser acrescentado o número de dias estimados como perdidos, ocasionados por chuvas e paradas técnicas de manutenção. Com isso se obtém o aproveitamento operacional da fábrica (Eficiência Global), que pode variar de 85 a 95%.

A Eficiência Global considerada foi de 85% em um período de safra de 238 dias, resultando em uma moagem diária de 5.072 toneladas de cana-de-açúcar colhida mecanicamente em área própria. Esses valores são uma característica da unidade de processamento estudada e está diretamente relacionada com a capacidade de produção de açúcar e álcool.

4.2 Técnicas de pesquisa

Os equipamentos utilizados no corte mecanizado, carregamento, transporte rodoviário e de apoio, foram divididos em sistemas:

- Corte mecânico: composto pelas colhedoras automotrizes no corte mecanizado da cana-de-açúcar;
- Carregamento: relacionado ao carregamento da cana-de-açúcar pelo conjunto trator transbordo até as composições rodoviárias que farão o transporte;
- Transporte: formado pelas composições rodoviárias que realizarão o transporte da matéria prima até a unidade industrial.
- Apoio: responsável pela garantia de segurança e correto desenvolvimento das operações anteriormente citadas. É composto por caminhão bombeiro, oficina, comboio e trator de 75 cv com enleirador de palha.

Para o conjunto trator transbordo é utilizado um trator de 180 cv e transbordos de 24m³ com capacidade aproximada de 10 toneladas. Para a realização do transporte da cana-de-açúcar considerou-se como composições rodoviárias o rodotrem com dolly canavieiro (cavalo-mecânico de 440cv e dois semi-reboques de 90m³ cada, acoplados através do dolly) no sistema “bate-volta”, e o caminhão “escravo” para fazer o transporte do pátio da usina até a mesa alimentadora.

No estudo em questão, não foi considerado os gastos e os tempos ocasionados pela locomoção da frente de corte. Frente de corte é a denominação dada ao agrupamento de equipamentos e funcionários necessários para realizar o CCT de uma maneira eficaz e segura. As frentes de corte não são fixas, elas migram de uma área para outra de acordo com o planejamento e decorrer da colheita. Para uma maior segurança e eficiência técnica-operacional, adotaram-se no máximo cinco colhedoras por frente de colheita mecanizada. Para cada frente de colheita mecanizada é necessário uma estrutura completa de apoio.

De acordo com Pereira (2007), Suleiman Hassuanni, coordenador de pesquisa tecnológica do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), mencionou à Agência FAPESP durante o 5º Simpósio Internacional e Mostra de Tecnologia da Agroindústria Sucroalcooleira (Simtec) que de cada tonelada de cana, 140 quilos são de palha (em base seca), ou seja, 14%.

Segundo levantamento realizado pela própria empresa, através de amostragens nas áreas cultivadas, englobando todas as idades de corte e variedades, em média a palha representa cerca de 12% (em base seca) do peso da cana de açúcar. Considerando este coeficiente próprio obtido, para uma estimativa de moagem de 1.500.000 toneladas de cana limpa teríamos 1.709.986 toneladas de cana-de-açúcar composta por colmo e palha.

Para o dimensionamento da frota e efeito de comparação entre os dois sistemas estudados (com e sem limpeza da palha) foi considerado o volume de colmo e palha que a empresa possui em suas áreas próprias (1.169.621 toneladas), uma vez que todo esse material será transportado para a indústria visando a co-geração de energia elétrica além da tradicional produção de açúcar e álcool.

A quantidade de matéria vegetal (palha, ponteiros e folhas verdes) no caso da colheita da cana-de-açúcar crua é bem maior quando comparada com a colheita em que se emprega a queima. Essa matéria vegetal se não for eliminada pela colhedora durante o processo de colheita faz com que a densidade de carga seja reduzida, aumentando os custos com o transporte da matéria prima além de reduzir a eficiência de extração do caldo na indústria (BENEDINI et al., 2009).

Na modalidade mecânica de colheita, a produtividade das colhedoras varia em função da potência e da produtividade do canavial a ser colhido. Normalmente, estas máquinas colhem entre 500 e 600 toneladas por dia de trabalho acumulada as horas de paradas para manutenção (MILLER, 2008). Sendo assim, a capacidade de manipulação das colhedoras pode ser obtida pela equação 1.

$$CMD = CcO * TCH\chi * 24 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

CMD - capacidade de manipulação diária (ton/dia);

CcO - capacidade de campo operacional (ha/h);

TCH χ – tonelada média de cana limpa por hectare (ton/ha)

De acordo com Miller (2008), o número de colhedoras necessário para atender a demanda industrial depende da relação entre a moagem diária da usina e a capacidade de manipulação diária da máquina. O autor ressalta o risco de trabalhar com um único equipamento em uma frente de trabalho, pois um defeito neste equipamento poderá comprometer toda a programação e a realização do trabalho. Por esta razão, quando possível, o planejamento deve contemplar uma reserva técnica de equipamento, o que também pode acontecer com as aproximações para cima nos valores calculados e o fato de se considerar uma disponibilidade mecânica nas operações dos mesmos.

$$NC = MD / CMD \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

NC – necessidade de colhedora;

MD – moagem diária (ton);

A velocidade operacional da colhedora no sistema convencional (sem palha) foi de 5 km/h, o mesmo estabelecido pelo padrão da empresa. Ripoli et al. (2001) trabalhando com desempenho econômico de colhedora de cana sem queima, afirmam que a velocidade de colheita de 5,4 km/h apresentou o melhor desempenho econômico, considerando-se uma eficiência de campo de 60%.

No sistema onde não se realizou a retirada da palha, considerou-se uma velocidade inferior, de 4,5 km/h. Chegou-se nessa velocidade após tentar realizar a colheita sem a limpeza da palha com a mesma velocidade da colheita mecanizada onde os extratores da colhedora estavam ligados. Porém essa redução na velocidade se fez necessário para minimizar a incidência de parada de colhedora pelo “embuxamento”, fazendo assim, com que a colhedora parasse menos e obtivesse um melhor desempenho.

Em condição normal, cada colhedora necessita de pelo menos duas composições de transbordo para suprir as necessidades impostas pela produção de cada máquina, sendo que, normalmente cada uma destas composições é formada por duas unidades transportadoras

(Miller, 2008). Com isso é possível realizar os dimensionamentos dos transbordos e dos tratores que compõe esse sistema, como demonstrado nas equações 3 e 4. O ciclo realizado pelo conjunto transbordo está representado na Figura 1. Neste trabalho consideraram-se duas composições de transbordo por colhedora, onde cada composição é formada por dois transbordos, sendo calculados da seguinte forma:

$$NT = NC * 4 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

NT – necessidade de transbordo;

$$NTT = NT / 2 \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

NTT – necessidade de trator transbordo



Figura 2 – Representação do ciclo realizado pelo conjunto transbordo na operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Fonte:** Silva (2006).

A densidade de carga considerada foi a adotada por Leal (2010), para o qual no sistema convencional de colheita mecanizada é de 410 kg/m^3 e 240 kg/m^3 para o sistema em que a palha não é separada do colmo.

O transporte da cana-de-açúcar é dimensionado através da capacidade de carga que um semi-reboque apresenta, da carga efetiva que será transportada e do tempo do ciclo necessário para o carregamento, engate do semi-reboque, descarregamento, e viagem (ida e volta). Dividindo a capacidade de carga efetiva pelo tempo do ciclo, chega-se a capacidade de transporte, conforme as equações 5 e 6. São utilizados seis semi-reboques por cavalo mecânico (três conjuntos), sendo um conjunto carregando, um em tráfego e outro descarregando.

$$CCE = ((CC * DC * EfOp * DM)/1000)*2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

CCE – capacidade de carga efetiva do rodotrem (ton);

CC – capacidade de carga (m^3);

DC – densidade de carga (kg/m^3);

EfOp – eficiência operacional (%);

DM – disponibilidade mecânica (%)

$$TC = TCar + TEng + TDesc + ((2 * R)/((VV + VC)/2)) \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

TC – tempo do ciclo (h);

TCar – tempo de carregamento (h);

TEng – tempo de engate (h);

TDesc – tempo de descarregamento (h);

R – raio (km);

VV – velocidade vazio (km/h);

VC – velocidade carregado (km/h)

$$CT = (CCE / TC) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

CT – capacidade transportada por conjunto de rodotrem (ton/h);

A quantidade de cavalo mecânico é obtida ao se dividir a moagem horária pela carga transportada em toneladas por hora. Os semi-reboques são dimensionados ao se multiplicar o número de caminhões por seis. Entre cada semi-reboque é utilizado um dolly canavieiro, que serve para acoplar um semi-reboque ao outro formando o conjunto rodotrem. Portanto para se conseguir o número correto de dolly basta dividir o número de semi-reboques por dois.

A necessidade de caminhões, de semi-reboques, de conjuntos rodotrem e de dollys podem ser obtidos através das equações a seguir:

$$N\text{Cam} = ((MD/24)/CT) \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

NCam – necessidade de caminhões (cavalo mecânico);

$$NSR = N_{Cam} * 6 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

NSR – necessidade de semibreboque;

$$N_{Conj} = NSR/2 \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

NConj – número de conjunto de rodotrem;

$$NDC = NSR/2 \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

NDC – necessidade de dolly canavieiro;

Para o dimensionamento dos caminhões escravos, utiliza-se o número de conjuntos de rodotrem dividido pela quantidade de conjuntos rodotrem que são utilizados por cavalo mecânico, sendo tudo isso dividido por dois, como demonstrado na equação 12.

$$N_{CamEsc} = (N_{Conj}/(NSR/N_{Cam}))/2 \quad (\text{Equação 12})$$

Nesse caso, se for opção da empresa a colheita integral da cana-de-açúcar sem a separação da palha do colmo no campo, os equipamentos industriais deverão ser adequados para a realização da separação da palha do colmo a seco.

A solução completa para o sistema de limpeza de cana a seco, ou seja, com a separação das impurezas minerais e vegetais (peneira rotativa ou vibratória), esteiras transportadoras para aproveitamento da palha como combustível para as caldeiras, moegas, triturador de palha e ventiladores tem um custo aproximado de R\$ 5,2 milhões de acordo com cotações feitas no mercado.

Para o equipamento de limpeza de cana a seco foi considerada uma eficiência média de limpeza de 62,5%, sendo um valor médio entre 60 a 65% que com base em informações dos próprios fabricantes se aproxima da eficiência do equipamento quando existe cana picada e inteira passando no sistema, já que apenas 60% da cana são colhidas mecanicamente. Esta eficiência pode ser de até 70% quando só existe cana picada no equipamento.

Como este equipamento ainda não se encontra bem desenvolvido, acaba acarretando em alguns problemas como, arraste de impurezas no sistema de ventilação exigindo durante a safra varias paradas para que ocorra manutenção do equipamento, assim para os cálculos foi

considerado um fator de utilização do equipamento de 65%, ou seja, 35% de seu tempo de uso esta desligado para manutenção.

Para realização da análise de investimento, algumas premissas foram consideradas tendo como base o perfil e características específicas da empresa estudada. Para chegar à conclusão desta análise foram levados em consideração alguns equipamentos como a colhedora de cana, sistema de limpeza da cana a seco, setor de preparo e moagem de cana, setor de produção de álcool e o setor de geração de energia.

Considerou-se uma unidade industrial que produz somente álcool hidratado, com uma moagem de 1.500.000 toneladas de cana (colmo) por safra e 60% de mecanização. Com esse planejamento de moagem, obtém-se 386.250 toneladas de bagaço.

A transformação da matéria prima em produto final (no caso álcool hidratado) é dependente da quantidade de açúcares redutores totais (ART). Porém, durante o processo industrial ocorre uma perda de ART, que entre outros fatores é ocasionado pela introdução da palha na moagem.

Ao se simular os dois tipos de colheita mecanizada (com e sem palha) se obtêm duas configurações diferentes para a quantidade de ART perdido com acréscimo de palha na moagem, assim como quantidades diferentes de geração de energia para venda.

A quantidade de equipamentos obtidos no dimensionamento da frota, assim como os valores de investimento e custo das operações, depende basicamente de fatores como preços dos recursos utilizados e da eficiência com que a empresa utiliza estes recursos para produzir certa quantidade de produto, e principalmente da estrutura de custo utilizada no cálculo dos mesmos.

Para o cálculo do custo das operações mecanizadas do CCT foi utilizada a estrutura do custo operacional baseada em Martin et al. (1997), o qual compõe-se de custo operacional efetivo (COE), com a utilização de mão-de-obra, máquinas/equipamentos, veículos, insumos e o custo operacional total (COT), resultante do COE acrescido das despesas com depreciação de máquinas e equipamentos, encargos sociais, a contribuição especial da seguridade social rural (CESSR), assistência técnica/despesas gerais e encargos financeiros.

Para a análise de viabilidade econômica dos dois sistemas estudados, foi estruturado um fluxo de caixa, onde é possível verificar os valores das entradas e saídas dos recursos e produtos. Considerou-se como ano zero o ano da implantação do sistema proposto, sendo este composto por todas as saídas financeiras que a empresa terá. Esse desembolso se faz necessário para a aquisição/adequação dos equipamentos envolvidos tanto na parte agrícola como industrial. O primeiro ano da atividade representa a primeira safra efetiva com o

sistema sem limpeza da cana-de-açúcar já operando, e assim sucessivamente até o fim de um período de dez anos.

A partir dos fluxos de caixa, foram determinados o Valor Presente Líquido (VPL), considerando-se como taxa de desconto a taxa real de juros da poupança de 6% a.a., e a Taxa Interna de Retorno (TIR) (NORONHA, 1987), que por definição é aquela que torna o valor presente do fluxo líquido igual a zero, de acordo com a equação:

$$\sum_{t=0}^n L_t (1 + i^*)^{-t} = 0 \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:

$i^* = \text{TIR};$

$L_t = \text{fluxo líquido};$

$t = \text{período de tempo considerado, variando de zero até } n$

Outro indicador utilizado para analisar a viabilidade econômica foi o Período de Recuperação do Capital (*Payback Period*), que estabelece o período necessário para a recuperação do capital investido.

Os preços médios foram coletados através da solicitação de orçamentos para empresas do setor no ano de 2007 e apresentados em Real (R\$). Os custos operacionais foram apresentados em R\$/ha, R\$/hora e R\$/tonelada. Estas avaliações foram realizadas para todos os equipamentos utilizados no processo de CCT participantes da pesquisa.

Com os dados de campo tabulados e analisados sugerem-se algumas ações imediatas ou de médio prazo de forma a esclarecer, informar e apresentar os resultados que tenham alcançado maiores êxitos com a colheita mecanizada. O conhecimento desta realidade poderá contribuir também para que novas ações possam ser desenvolvidas, visando ampliar a capacidade das empresas agrícolas de gerar renda e emprego.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da Regional de General Salgado (SP)

De 2000 até 2009 houve um incremento de área com a cultura canavieira de quase 100% no Estado de São Paulo, número este que apesar de significativo, é muito inferior aos mais de 200% de expansão de área no mesmo período do Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de General Salgado (IEA, 2010) (Figura 3 e 4).

Na safra de 2007 e 2008 houve um aumento significativo na produção no EDR de General Salgado em relação aos anos anteriores (35% e 32%, respectivamente), que pode ser explicado pelo aquecimento do setor, onde este foi acarretado pelos bons preços pago pela tonelada de cana-de-açúcar e pelo aumento dos preços do álcool e do açúcar no mercado (Figura 3 e 4).

O aumento de área na EDR de General Salgado e a maior produtividade quando comparada com o Estado de São Paulo se deve ao fato da EDR estar localizada na região que é considerada a nova fronteira agrícola do Estado de São Paulo, com grande disponibilidade de terras, topografia adequada para o cultivo da cultura canavieira, além da busca constante dos produtores da região por inovações tecnológicas. O fato dos canaviais serem mais novos na EDR de General Salgado, devido à recente expansão, também é um dos motivos dessa diferença. A expansão da área da cultura da cana-de-açúcar no EDR de General Salgado e no Estado de São Paulo podem ser melhor visualizados nas Figuras 5 e 6.

A produtividade média da cultura de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo aumentou quase 13% nos últimos dez anos, passando de 76 TCH no ano de 2000 para 85,7 TCH em 2009. O EDR de General Salgado também apresentou um incremento na produtividade da ordem de 8,5% para esse mesmo período. A produtividade média da cultura nesse EDR é superior a média do Estado em 7%, ficando no ano de 2009 em torno de 92 TCH (IEA, 2010) (Figura 7).

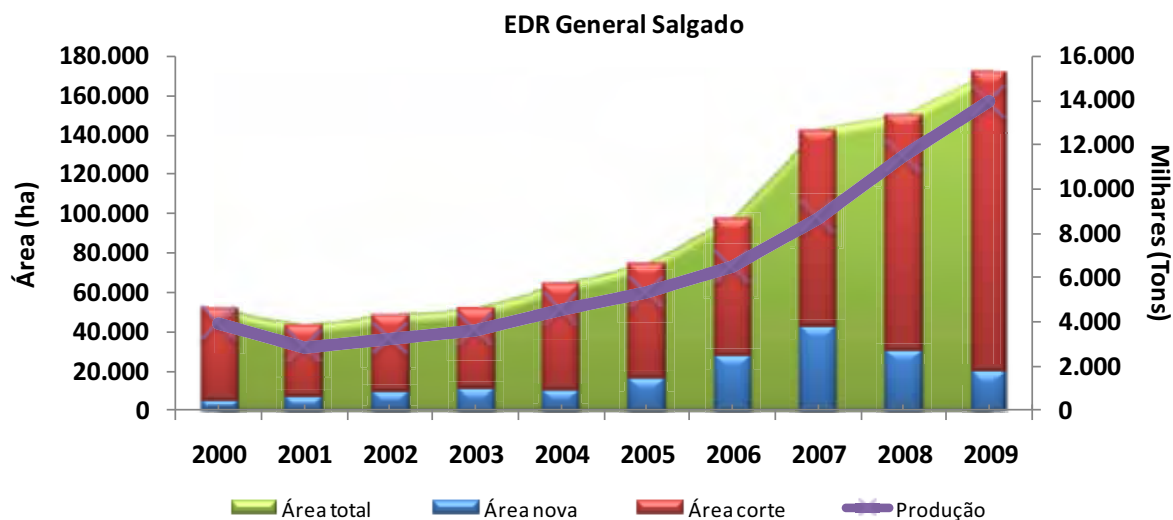


Figura 3 – Evolução da área e produção de cana-de-açúcar para indústria no EDR de General Salgado.
Fonte: Adaptado do IEA (2010).

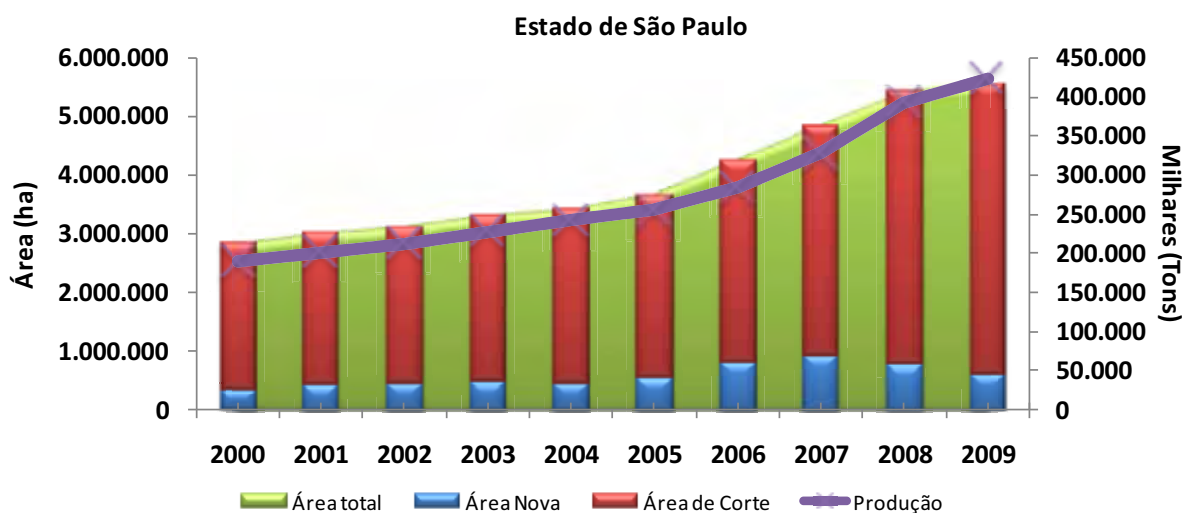


Figura 4 – Evolução da área e produção de cana-de-açúcar para indústria no Estado de São Paulo.
Fonte: Adaptado do IEA (2010).

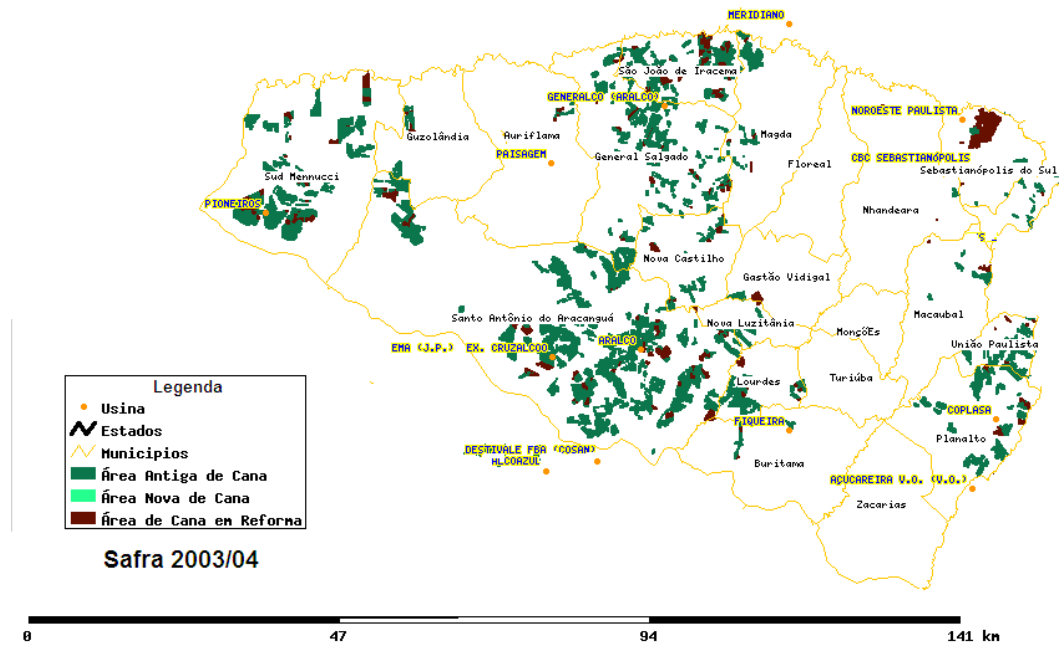


Figura 5 – Áreas com a cultura da cana-de-açúcar no EDR General Salgado na safra 2003/2004.
Fonte: Dados básicos do CANASAT – INPE, 2009.

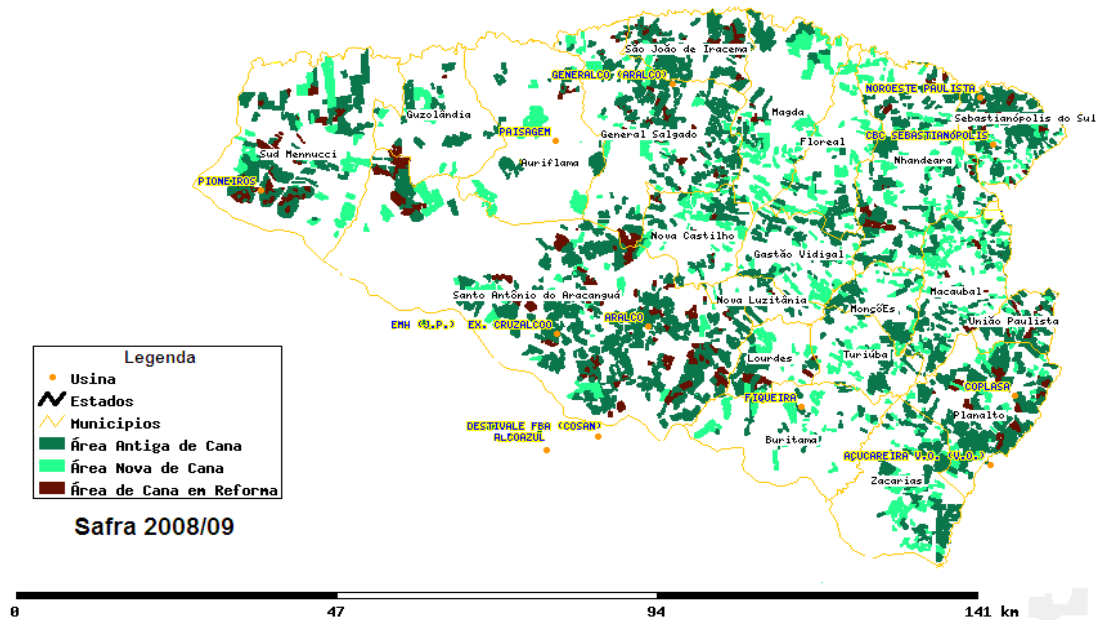


Figura 6 – Áreas com a cultura da cana-de-açúcar no EDR General Salgado na safra 2008/2009.
Fonte: Dados básicos do CANASAT – INPE, 2009.

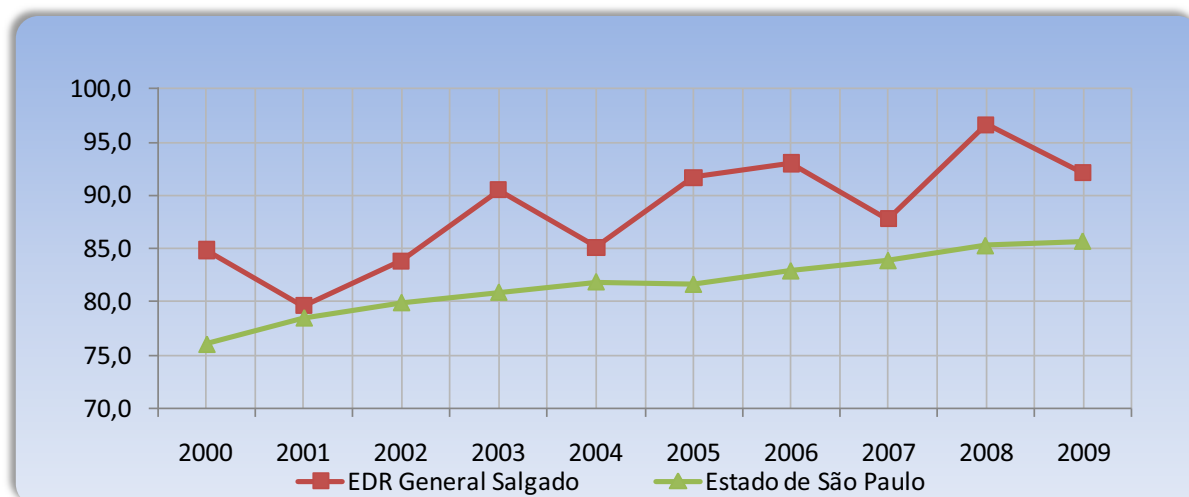


Figura 7 – Comparativo da evolução da produtividade de cana-de-açúcar para indústria no EDR de General Salgado e no Estado de São Paulo. **Fonte:** Adaptado do IEA (2010).

Ao analisar cada um dos municípios pertencentes ao EDR, verificou-se que todos apresentam crescimento na produção durante o período analisado, sendo os municípios de Macaúbal, União Paulista, Buritama, Nhandeara, Planalto os que mais se destacam, com mais de 1.000% de aumento, variando suas produções em 4.244%, 2.688%, 2.427%, 2.225%, 1.775% respectivamente. O único que sofreu um decréscimo ao longo dos últimos 10 anos foi o município de General Salgado, que foi desconsiderado por incoerência nos dados obtidos no IEA, (2010).

O município do EDR de General Salgado que apresenta a maior área absoluta de cana-de-açúcar para corte é Santo Antônio do Aracanguá, com 23.687 hectares, seguido de Nhandeara (15.500 hectares) e Sud Mennucci (12.268 hectares).

Dentre os municípios que apresentam as maiores médias de produção se destacam Gastão Vidigal com 125 toneladas/hectare e Macaúbal, Turiúba e Zacarias, ambas com 120 toneladas/hectare.

5.2 Sistema de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar (CCT)

O complexo que envolve a transformação da matéria prima cana-de-açúcar em produto final pode ser dividido em agrícola, CCT e industrial. Porém para se obter êxito na produção é necessário que todos cumpram seus papéis.

A área agrícola está diretamente ligada à produção da matéria prima. O CCT serve como um intermediário, realizando a colheita e o transporte. E a indústria em transformar a matéria prima em produto final, como açúcar, álcool, energia e outros subprodutos.

Atualmente existem várias formas de realizar as operações de corte, carregamento e transporte da cana-de-açúcar (CCT). É possível misturar formas de colheita (manual ou mecanizado) com os tipos de equipamentos utilizados.

No sistema de colheita manual, é comum a prática da queima prévia do canavial para facilitar o corte. Nesse caso a cana-de-açúcar fica inteira e é amontoada em feixes ao longo das linhas de cultivo. Essa prática é adotada para facilitar o trabalho das carregadoras mecânicas que tem por função carregar os caminhões ou carretas que trafegam na área colhida.

Na colheita mecanizada, o corte é feito por meio de colhedoras automotrizes, que cortam a cana em toletes e também realizam a despalha com o auxílio dos extratores. Nesse sistema, o conjunto trator transbordo trabalha na lateral da colhedora para o carregamento da cana picada. Dessa maneira, os caminhões não entram na área de cultivo, reduzindo a compactação e destruição das soqueiras. Portanto, o transbordo tem como função receber a cana-de-açúcar das colhedoras e transferi-las para os caminhões que aguardam nos carregadores principais.

O deslocamento da cana-de-açúcar da área de colheita até a indústria é realizada através de caminhões, que podem sofrer variações em seus modelos dependendo do tipo de colheita empregado. O mais conhecido e difundido nas empresas do setor é o caminhão com um reboque (Romeu e Julieta), mas também é usado o caminhão com dois reboques (treminhão) e o cavalo mecânico com dois semi-reboques (Rodotrem). Todos esses tipos de caminhões podem ser encontrados para colheita manual (cana inteira) ou mecanizada (cana picada). Nos conjuntos em que são acoplados reboques/semi-reboques é necessário que estes possuam rala fixa ou a utilização do dolly canavieiro.

Algumas empresas adotam o sistema de “Bate Volta”, onde os caminhões/cavalos mecânicos desacoplam as carretas carregadas no pátio da usina e engata-se outra carreta descarregada para o retorno a área de colheita. Para a movimentação dessas carretas no pátio industrial é utilizado o caminhão “escravo”. Esse sistema tem como objetivo maximizar o uso do cavalo-mecânico, diminuindo o tempo de permanência na usina visando o melhor aproveitamento da frota.

Na Figura 8 é possível observar como são distribuídas as operações de CCT dentro da usina, bem como também a frente de corte instalada na área agrícola.

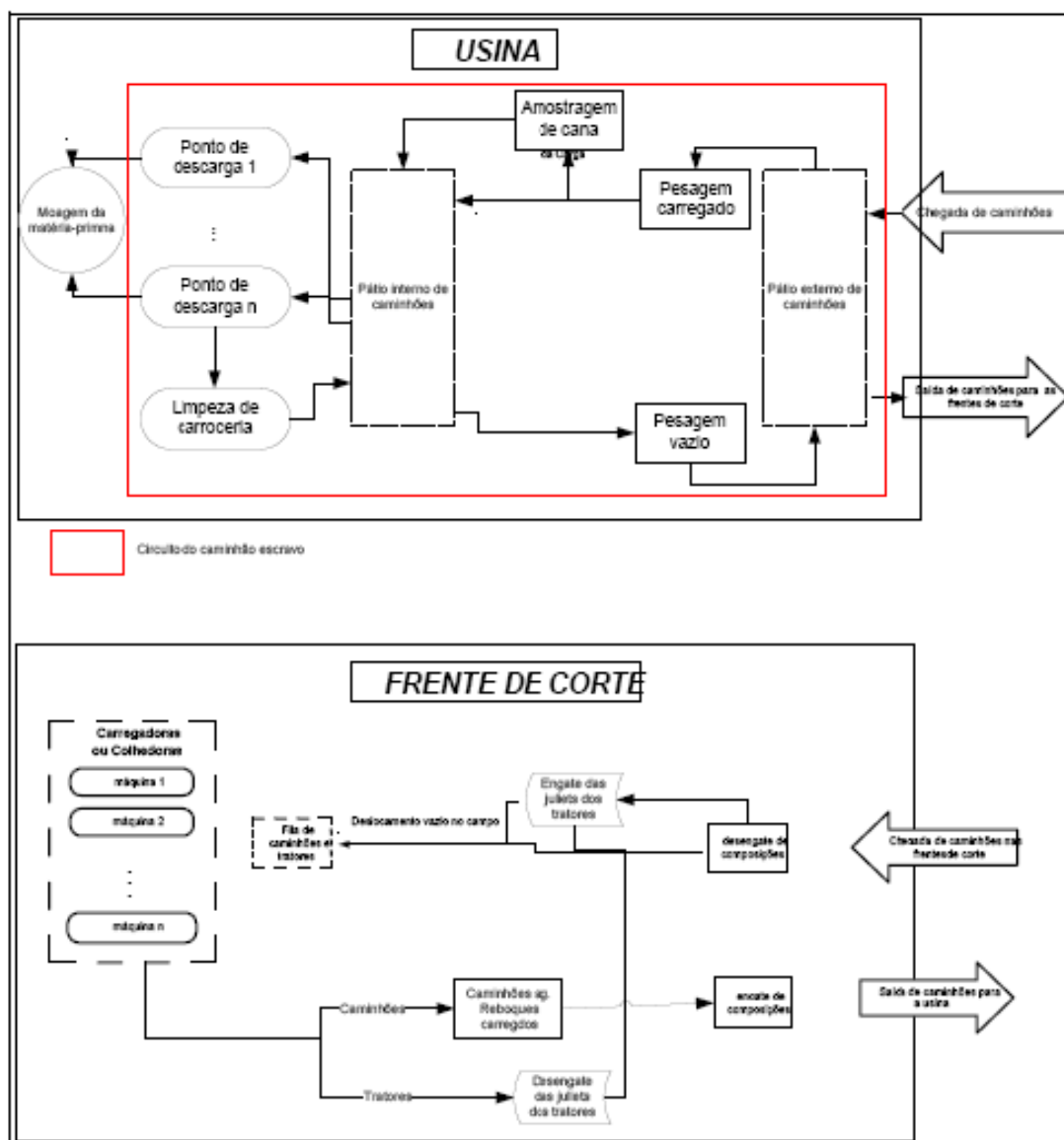


Figura 8 – Representação esquemática das operações de CCT.
Fonte: Hahn (1994).

As composições rodoviárias mais utilizadas para o transporte estão ilustradas na Figura 9. De acordo com o tipo de cana (inteira ou picada) a carroceria desses caminhões sofre variações.

COMPOSICAO	ESQUEMA	DESCRIÇÃO
Truck/Toco/Caminhão simples		Caminhão plataforma
Romeu e Julieta/Biminhão		Caminhão plataforma com uma carreta acoplada
Treminhão		Caminhão plataforma com duas carretas acopladas
Rodotrem		Cavalo mecânico com dois semi-reboques acoplados

Figura 9 – Ilustração das composições rodoviárias utilizadas no transporte da cana-de-açúcar.
Fonte: Silva (2006).

Existe uma relação direta entre o transporte da cana-de-açúcar e o descarregamento na indústria. Se houver atraso no descarregamento por qualquer que seja o motivo, faltará carreta suficiente para realizar o transporte, que por conseqüência acarretará em paralisação da colheita no campo.

Para a determinação do peso da carga, os veículos são pesados ao entrarem na indústria e após o descarregamento. A qualidade da cana é determinada através de amostragens nas cargas, onde se obtém o nível de impurezas, o brix (teor de sólidos solúveis – ácidos orgânicos e açúcares) e determinação do preço a ser pago ao produtor.

Após a pesagem e amostragem, os caminhões seguem para a fila de descarregamento, que pode variar pelo tipo de cana (inteira ou picada) e pelo tipo de caminhão.

O descarregamento da cana-de-açúcar pode ser realizado diretamente na mesa alimentadora ou em um pátio específico com o auxílio de guindastes tipo hilo, pontes rolantes, ou ainda por basculamento lateral dos caminhões. O equipamento ideal a ser utilizado no descarregamento é determinado pelo tipo de caminhões e de cana (inteira ou picada) adotados pela empresa. Essas diferentes opções de descarregamento estão ilustradas nas Figuras 10, 11, 12 e 13. As figuras 10 e 11 representam a maioria dos equipamentos presentes hoje nas unidades processadoras de cana-de-açúcar, porém ainda é possível encontrar em algumas unidades mais antigas os equipamentos das figuras 12 e 13.

Após o descarregamento da cana-de-açúcar na mesa alimentadora, inicia-se o processo industrial, realizando a lavagem da matéria prima e conduzindo para o esmagamento.

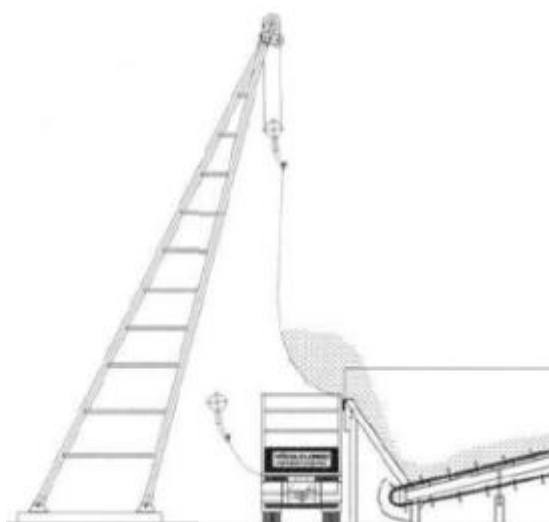


Figura 10 – Guindaste hilo para cana-de-açúcar inteira.
Fonte: Ripoli e Ripoli (2005).



Figura 11 – Guindaste hilo para cana-de-açúcar picada.
Fonte: Ripoli e Ripoli (2005).

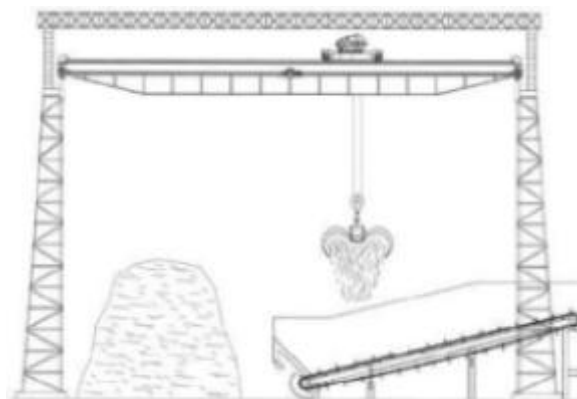


Figura 12 – Ponte rolante para cana-de-açúcar inteira armazenada no pátio.
Fonte: Ripoli e Ripoli (2005).



Figura 13 – Basculamento com auxílio de pistão hidráulico para cana-de-açúcar inteira.
Fonte: Ripoli e Ripoli (2005).

5.3 Adaptações industriais para o processamento da cana-de-açúcar crua com o transporte da palha

Com o aumento da mecanização na colheita de cana e a diminuição da prática de queima prévia da palha dos canaviais, tem aumentado significativamente a quantidade de palhiço (folhas, ponteiros e frações de colmos e raízes) que vai para as indústrias. E a quantidade de resíduos minerais que acompanham a cana crua também aumenta.

Para evitar grandes perdas de sacarose no processo industrial, é preciso separar essas impurezas com a utilização do sistema de limpeza a seco, instalado logo no descarregamento de cana na entrada da usina. Trata-se de uma solução já adotada por algumas usinas, que tem obtidos ótimos resultados.

Parte destas unidades separa e manda para a lavoura a palha e a terra recolhida. Já outras separam a palha da terra e a passam pela moenda. No entanto, o ideal seria a utilização da palha como combustível suplementar para as caldeiras de bagaço, possibilitando um aumento de geração de energia excedente que pode ser vendida. Porém as palhas retiradas apresentam um inconveniente, que é o fato de serem de tamanho grande e com fibras longas, por isso não são próprias para a queima nas caldeiras convencionais a bagaço. É preciso transformá-las em pequenos pedaços para que possa ser misturado ao bagaço e, conseqüentemente, serem queimadas nas caldeiras convencionais.

Uma das soluções encontrada foi o picador de palha. O picador de palha foi testado durante o ano de 2004, atingindo resultados satisfatórios. Ele é um equipamento simples, composto por um rotor com facas que giram a 1100 rpm, fazendo com que a palha passe por um cesto, que transforma as palhas de fibras longas em palha picada, ideal para a queima em caldeiras. Outra forma encontrada pelas Usinas de enviar esta palha para a caldeira é adicionando-a no último terno de moagem, assim não diminuiria a capacidade de moagem como se ela passasse por todo o processo e existe economia na construção de esteiras para o transporte da palha picada até a caldeira. Na figura 14 é possível observar a diferença no tamanho da palha antes e após passar pelo processo de redução de tamanho a fim de gerar uma maior eficiência na queima do material na caldeira.



Figura 14 – Palha inteira e palha picada. **Fonte:** Nunes (2007).

Para o devido aproveitamento da palha na co-geração de energia, o sistema deve ser composto por uma mesa alimentadora, ventiladores, esteira de cana e caixa coletora de palha e terra.

A figura 15 e 16 ilustra a mesa alimentadora onde a cana crua é descarregada pelo caminhão, iniciando-se o processo industrial.



Figura 15 – Mesa alimentadora. **Fonte:** Nunes (2007).



Figura 16 – Descarregamento da cana crua na mesa alimentadora.
Fonte: Hassuani (2007).

Os ventiladores tem como principal função gerar um fluxo de ar para a separação da palha e outras impurezas minerais da cana de açúcar, como visualizados na figura 17 juntamente com a esteira de transporte de cana.



Figura 17 – Ventiladores e esteira de transporte de cana.
Fonte: Hassuani (2007).

A caixa coletora tem por função captar todos os materiais como palha e impurezas minerais separados através dos ventiladores. As Figuras 18 e 19 ilustram a captação de impurezas separadas da cana-de-açúcar nos dois sistemas de colheita (queimada e crua). Observa-se a diferença que os dois sistemas apresentam de impurezas, sendo o de cana crua o com maior volume de impurezas, demonstrando a necessidade e eficiência da limpeza a seco.

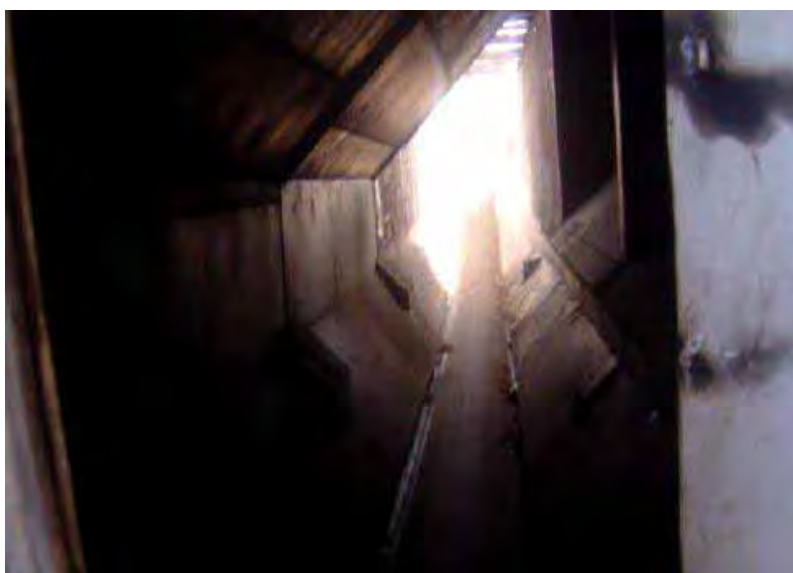


Figura 18 – Caixa coletora de impurezas (cana queimada).
Fonte: Hassuani (2007).



Figura 19 – Caixa coletora de impurezas (cana sem queima).

Fonte: Hassuani (2007).

5.3.1 O funcionamento do sistema de limpeza da cana de açúcar

O sistema faz com que um fluxo de ar, gerado pelos ventiladores, atravesse a "cascata" de cana, que passa da mesa alimentadora para a esteira de cana, sendo que os ventiladores são instalados atrás ou sob a mesa de alimentação para eliminar as impurezas por sopragem, variando a quantidade e a localização de acordo com o layout da instalação.

As mesas de alimentação, com 10 a 13 metros de comprimento e ângulos de 35°, 45° e 50°, além de receber e armazenar a cana, estão diretamente ligados a instalação dos ventiladores, à queda da cana de certa altura direta na esteira de talisca ou de borracha e a queda de areia e terra. Já na descarga da mesa, os ventiladores removem a palha e parte da areia. Utilizando apenas a cana picada o fluxo de ar realiza um trabalho melhor, chegando a níveis de limpeza próxima dos 70% da terra entrada. Na cana inteira este índice chega de 60 a 65%.

Esses índices são mais do que suficiente para que a usina processe o caldo e o bagaço sem transtornos. Assim as caldeiras queimam sem problema o bagaço advindo de moendas com limpeza por ventilação, bem como a seção de decantação e filtragem devidamente dimensionadas operam sem transtornos. Este processo tem duas formas de retirada da terra e da palha que inevitavelmente é arrastada pelo fluxo de ar: o sistema via seco e via úmida. No

sistema via seca a câmara recolhe a terra através de esteiras que enviam para uma moega para se dar o destino final. No sistema via úmida, uma cortina de água recolhe a terra e a palha, separada esta da terra por um *cush-cush*, e segue para o sistema de decantação, onde a água volta ao processo. Os ventiladores possuem uma capacidade de potência instalada de 120 a 150 CV.

O Centro de Tecnologia Canavieiro (CTC) possui o Projeto CTC de limpeza de cana a seco como pode ser observado nas figuras 20, 21, 22, 23 e 24.

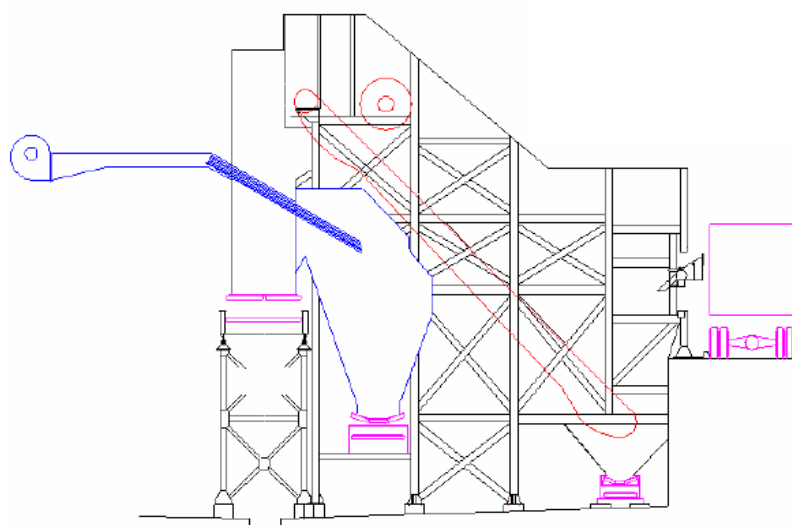


Figura 20 – Projeto do sistema de limpeza de cana a seco (Projeto CTC).
Fonte: Hassuani (2007).

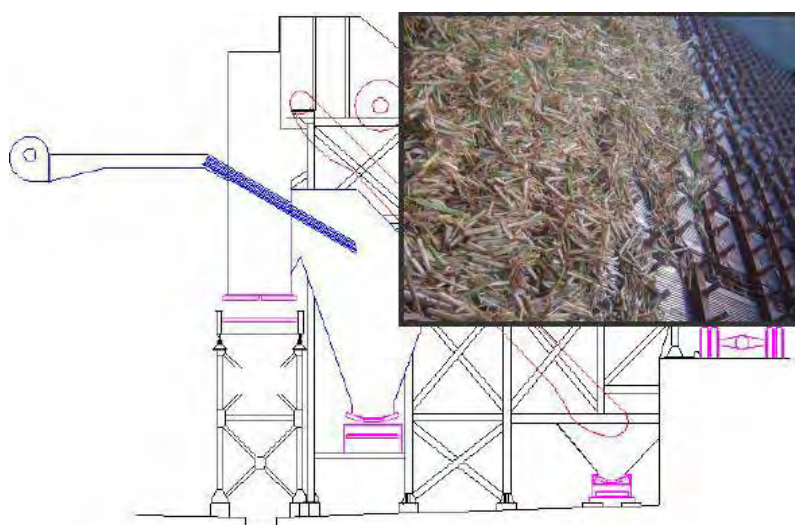


Figura 21 – Projeto CTC e mesa alimentadora.
Fonte: Hassuani (2007).

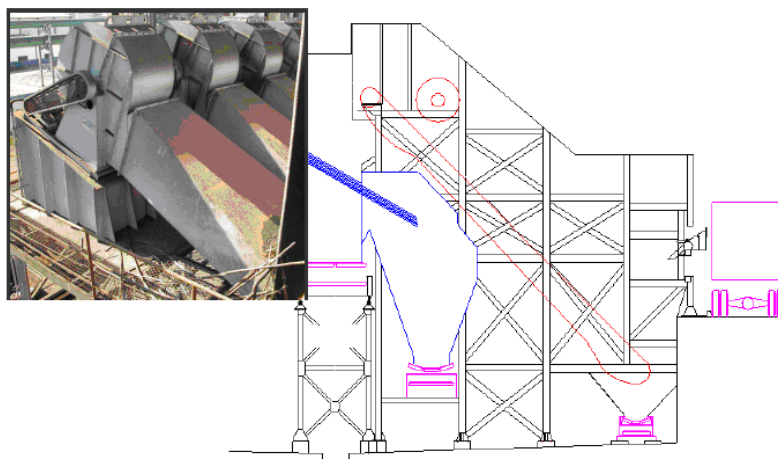


Figura 22 – Projeto CTC e os ventiladores.
Fonte: Hassuani (2007).

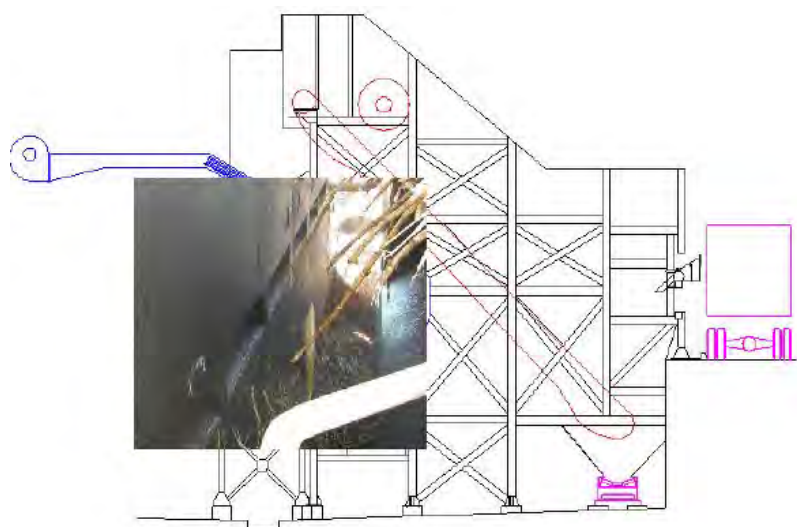


Figura 23 – Projeto CTC com saídas de ar, entrada de palha e terra na câmara e esteira de cana.
Fonte: Hassuani (2007).

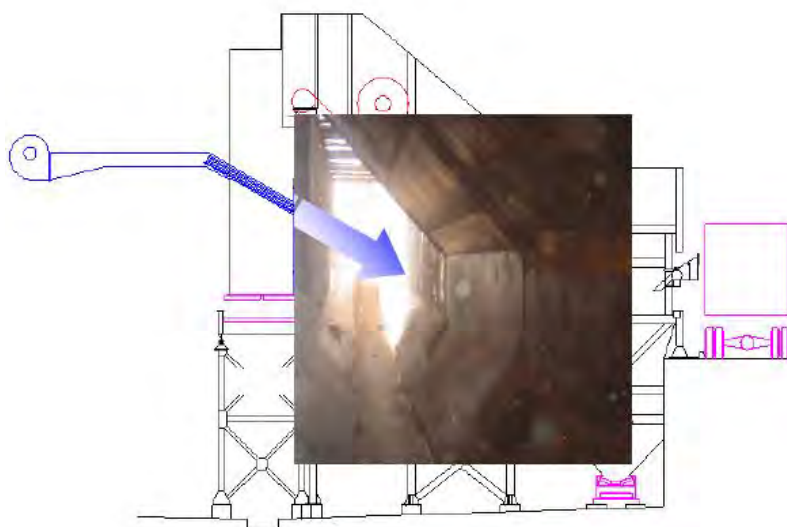


Figura 24 – Projeto CTC e caixa coletora de palha e terra.
Fonte: Hassuani (2007).

Na Figura 25 é possível observar o sistema de limpeza a seco instalado e em funcionamento.



Figura 25 – Sistema de lavagem a seco em operação.
Fonte: Hassuani (2007).

Outro modelo de limpeza de cana a seco é o projeto desenvolvido pela Techpetersen. Em relação a dados estatísticos não possui muita diferença em comparação ao projeto do CTC, mas difere principalmente nos locais de instalação dos equipamentos.

O ventilador da Techpetersen é instalado sob a mesa alimentadora, soprando as impurezas de baixo para cima, caindo em uma caixa coletora. Já no projeto do CTC o posicionamento dos ventiladores fica atrás da mesa alimentadora (onde seria a caixa coletora de impurezas da Techpetersen) e onde ficam os ventiladores da Techpetersen está situada a caixa coletora de impurezas do projeto do CTC. As Figuras 26 e 27 demonstram o projeto da Techpetersen.

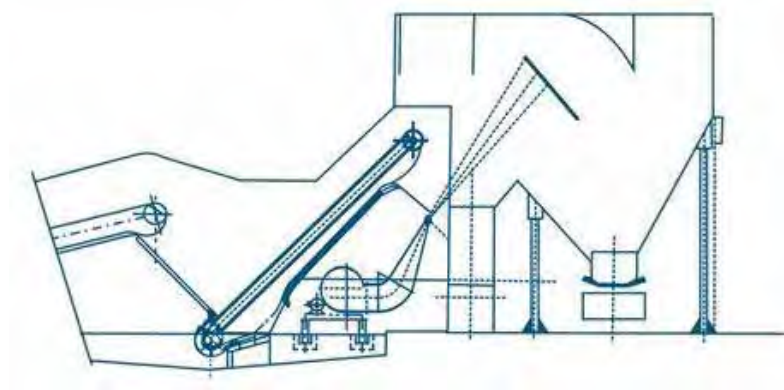


Figura 26 – Projeto Techpetersen.

Fonte: Techpetersen (2008).

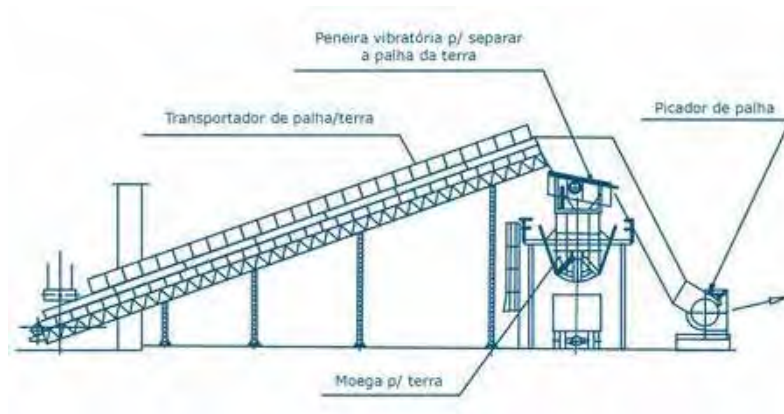


Figura 27 – Projeto Techpetersen.

Fonte: Techpetersen (2008).

5.4 Dimensionamento da frota para o CCT mecanizado de cana de açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria

Na última década foi possível observar o crescimento das áreas de pesquisa e desenvolvimento do setor sucroalcooleiro. Isso se deve ao fato das usinas de cana-de-açúcar buscar constantemente inovações tecnológicas para se adequarem aos mais diferentes cenários econômicos e produtivos que possam a vir a ocorrer.

O principal fator que influencia a implantação de novas técnicas e processos para aumentar eficiência e reduzir custos é o aumento da concorrência no setor tem acarretando em maior competitividade. O aproveitamento da palha resultante da colheita mecanizada para a co-geração de energia é um exemplo entre as diversas inovações que o setor sucroalcooleiro vem passando. A co-geração de energia a partir desse material se tornou uma atrativa fonte de renda, passando a ser vista como um grande diferencial para que a usina de cana-de-açúcar se torne competitiva em um setor tão acirrado.

Para conseguir ser competitivo, é necessário que a área agrícola e industrial estejam sincronizadas, visando obter a máxima qualidade da matéria prima de cana-de-açúcar.

Na área agrícola, não basta apenas produzir uma cana de qualidade e/ou qualidade, é necessário também saber coordenar e realizar os processos de corte, carregamento e transporte, fazendo com que essa matéria prima chegue à área industrial com qualidade e no tempo adequado para suprir a demanda do processo industrial.

Todo o sistema de recepção da cana-de-açúcar (pesagem, amostragem, descarregamento) também deve ser eficiente mantendo de forma constante a alimentação das moendas.

A quantidade de equipamentos utilizados no corte e carregamento da cana-de-açúcar difere nos dois sistemas de colheita estudados. A diferença na velocidade de colheita refletiu em uma capacidade de campo 11% menor no sistema em que não se realiza a limpeza. Essa variação faz com que a capacidade de manipulação diária de cana-de-açúcar nesse sistema seja também menor. Com isso, o sistema de colheita sem limpeza necessita de uma colhedora a mais para suprir a demanda industrial de matéria prima e não comprometer o planejamento de moagem (Tabela 01).

Tabela 01 – Dimensionamento de colhedoras de cana-de-açúcar para o CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.

COLHEITA	UNIDADES	COM LIMPEZA	SEM LIMPEZA	VAR. %
Espaçamento do canavial	m	1,4	1,4	0%
Velocidade operacional	km/h	5,0	4,5	-11%
Eficiência operacional	%	40	40	0%
Disponibilidade mecânica	%	85	85	0%
Capacidade campo operacional	ha/h	0,24	0,21	-11%
Produtividade média (cana limpa)	t/ha	110	110	0%
Capacidade de manipulação	t/h	26,2	23,3	-11%
Capacidade de manipulação diária	t/dia	628	559	-11%
Necessidade de colhedoras	unid.	9	10	11%

Fonte: Dados da pesquisa.

Apesar do sistema sem limpeza da palha necessitar de uma colhedora a mais, é possível verificar na Tabela 02 que o número de frente de colheita é igual nos dois sistemas, resultando também na mesma quantidade de caminhões bombeiro, oficina e comboio. O único equipamento de apoio que diferiu foi o trator enleirador de palha, pois o mesmo só se faz necessário onde a palha fica no campo, encobrindo parte dos carregadores.

Apesar de haver diferença na densidade de carga dos transbordos, nos dois sistemas analisados, o que resultou na alteração do dimensionamento foi o fato do número de colhedoras serem diferentes. Com isso, obteve-se 36 transbordos no sistema com limpeza contra 40 no sem limpeza da palha (Tabela 02).

Com base nos coeficientes levantados na empresa e adotados nesse trabalho, foi possível calcular a quantidade de transbordos e tratores necessários em cada sistema para o carregamento e transporte da cana-de-açúcar colhida até os semi-reboques (Tabela 02).

Tabela 02 – Dimensionamento dos equipamentos utilizados nas operações de carregamento e apoio para o CCT mecanizado de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria.

CARREGAMENTO	UNIDADES	COM LIMPEZA	SEM LIMPEZA	VAR. %
Volume de carga do transbordo	m ³	24	24	0%
Densidade de carga	kg/m ³	410	240	-41%
Carga média do transbordo	Ton	9,8	5,8	-41%
Transbordo por colhedora	unid.	4	4	0%
Transbordo	unid.	36	40	11%
Trator 180 cv	unid.	18	20	11%
Colhedora por frente de corte	unid.	5	5	0%
Frente de colheita	unid.	2	2	0%
Bombeiro	unid.	2	2	0%
Oficina	unid.	2	2	0%
Comboio	unid.	2	2	0%
Trator/Enleirador	unid.	2	0	-100%

Fonte: Dados da pesquisa.

De acordo com Vian e Marin (2010), a quantidade ideal de cana a ser transportada do campo para a usina pode mudar de acordo com variações do ambiente, como clima, localização das frentes de corte (quando a colheita precisa ser feita em áreas muito distantes da usina), tipo de estrada e especificações da frota. A ociosidade de caminhões no pátio é motivo de grande preocupação devido ao alto custo de investimento, mão-de-obra e combustível, além da falta que estes veículos fazem no campo, pois se não houver caminhões disponíveis para receber a cana colhida, paralisa o trabalho dos operários e máquinas. Outro fator relevante é que a cana - inteira ou picada - principalmente se for queimada, pode se deteriorar caso permaneça por muito tempo em estoque ou em fila no pátio de descarga.

Na Tabela 03, o aumento da quantidade necessária de dolly canavieiro e de caminhão escravo no sistema de CCT sem limpeza da palha são reflexos do aumento de semi-reboques e cavalos mecânico utilizados no transporte. Isso se deve ao fato do sistema de colheita sem ventilação transportar uma maior quantidade de palha para a indústria. Sendo assim, a densidade de carga é reduzida, sendo necessário um maior número de viagens para transportar uma mesma quantidade de material em peso.

Tabela 03 – Dimensionamento dos equipamentos utilizados na operação de transporte da cana-de-açúcar no CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.

TRANSPORTE	UNIDADES	COM LIMPEZA	SEM LIMPEZA	VAR.%
Capacidade de carga semi-reboque	m ³	90	90	0%
Densidade de carga	kg/m ³	410	240	-41%
Eficiência operacional	%	63	63	0%
Disponibilidade mecânica	%	85	85	0%
Carga efetiva semi-reboque	t	19,76	11,57	-41%
Semi-Reboque por composição	unid.	2	2	0%
Carga efetiva conjunto rodotrem	t	39,52	23,13	-41%
Raio médio	km	25	25	0%
Veloc. vazio	km/h	55	55	0%
Veloc. carregado	km/h	30	30	0%
Tempo de carregamento	h	0,17	0,17	0%
Tempo de engate	h	0	0	0%
Tempo de descarreg.	h	0,25	0,25	0%
Tempo viagem (ida/volta)	h	1,18	1,18	0%
Tempo ciclo	h	1,59	1,59	0%
Carga transportada	t/h	24,81	14,52	-41%
Capacidade diária de transporte	t/dia	595,35	348,50	-41%
Semi-reboque/cavalo	unid.	6	6	0%
Caminhões	unid.	9	15	67%
Semi-Reboque	unid.	54	90	67%
Dolly	unid.	27	45	67%
Caminhão escravo	unid.	5	8	67%

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 04 ilustra a comparação do dimensionamento da frota nos sistemas mecanizados de CCT com e sem limpeza da palha. Para as operações de corte e carregamento, a diferença é de 11%. No transporte essa diferença é ainda mais significativa, ficando em 67%. Na operação de apoio não há alteração do número de equipamentos, com exceção do trator enleirador de palha, que não é utilizado no sistema sem limpeza da palha.

Tabela 04 – Comparativo do dimensionamento da frota do CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria.

DIMENSIONAMENTO DA FROTA	COM LIMPEZA	SEM LIMPEZA	VAR.%
Colhedora	9	10	11%
Transbordo	36	40	11%
Trator 180 cv	18	20	11%
Bombeiro	2	2	0%
Oficina	2	2	0%
Comboio	2	2	0%
Trator Enleirador	2	0	-100%
Caminhão	9	15	67%
Semi-Reboque	54	90	67%
Dolly	27	45	67%
Caminhão escravo	5	8	67%

Fonte: Dados da pesquisa.

5.5 Investimento inicial necessário para o corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria

Os equipamentos necessários para a devida implantação do sistema mecanizado de corte, carregamento e transporte na área total de cana própria da empresa foram obtidos através de cotações realizadas no ano de 2007. No caso dos equipamentos de apoio, os valores apresentados na Tabela 05 são referentes ao custo do caminhão com os implementos já instalados. Essas cotações, multiplicadas pelo dimensionamento de máquinas de cada sistema, resultaram no investimento inicial necessário (Tabela 05).

Tabela 05 – Comparativo do investimento inicial (em mil R\$) necessário para introdução do CCT mecanizado com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.

OPERAÇÃO	UNITÁRIO	TOTAL				VAR.%
		COM LIMPEZA		SEM LIMPEZA		
CORTE						
Colhedora	800,00	7.200,00	29%	8.000,00	24%	11%
Subtotal	800,00	7.200,00	29%	8.000,00	24%	11%
CARREGAMENTO						
Trator 180cv	159,00	2.862,00	11%	3.180,00	10%	11%
Transbordo	88,00	3.168,00	13%	3.520,00	11%	11%
Subtotal	247,00	6.030,00	24%	6.700,00	20%	11%
TRANSPORTE						
Cavalo mecânico	350,88	3.157,88	13%	5.263,14	16%	67%
Semi reboque	87,00	4.698,00	19%	7.830,00	24%	67%
Dolly	43,60	1.177,20	5%	1.962,00	6%	67%
Caminhão escravo	280,00	1.260,00	5%	2.100,00	6%	67%
Subtotal	761,48	10.293,08	41%	17.155,14	52%	67%
APOIO						
Bombeiro	251,65	503,31	2%	503,31	2%	0%
Oficina	125,40	250,80	1%	250,80	1%	0%
Comboio	243,32	486,64	2%	486,64	1%	0%
Trator 75cv	85,00	170,00	1%	0,00	0%	-100%
Enleirador de palha	20,00	40,00	0%	0,00	0%	-100%
Subtotal	725,37	1.450,75	6%	1.240,75	4%	-14%
TOTAL	2.533,85	24.973,83	100%	33.095,89	100%	33%

Fonte: Dados da pesquisa.

Entre os valores para aquisição dos maquinários destaca-se o elevado valor das colhedoras (R\$ 800.000,00), com mais do que o dobro do segundo item mais oneroso, que foi o cavalo mecânico (R\$ 350.876,00).

O caminhão escravo, o bombeiro e o comboio também são equipamentos de alto custo unitário, no valor de R\$ 280.000,00, R\$ 251.654,00 e R\$ 243.319,00 respectivamente. Porém, como são poucas unidades necessárias para a implantação do CCT mecanizado, o investimento total desses equipamentos são facilmente superados por outros itens.

No sistema com a limpeza da palha, as colhedoras continuam sendo as que representam uma maior percentagem do investimento total necessário (29%), seguidas pelos semi-reboques (19%), e pelos transbordos e cavalos mecânico, com 13% cada.

Para o sistema onde não se realiza a limpeza da palha, tanto as colhedoras como os semi-reboques representam cada um 24% do total do investimento, seguidos pelos cavalos mecânicos (16%) e pelos transbordos com 11%.

Ao agrupar os equipamentos por operações do CCT, nota-se que em ambas as situações estudadas, a que apresenta um maior desembolso inicial é a de transporte. Porém no total, o sistema sem limpeza da palha apresenta um gasto com os equipamentos 33% maior. Isso se deve a maior necessidade de composições rodoviárias para o transporte da cana-de-açúcar juntamente com a palha, além de uma colhedora a mais.

Essa diferença entre o sistema com e sem limpeza da palha também se repete para as demais operações do CCT. A única exceção é na operação de apoio, onde os equipamentos/maquinários são dimensionados com base no número de frentes de colheita (que não diferiu entre os dois sistemas estudados). O fator que fez com que o custo de aquisição dos equipamentos de apoio variasse entre os dois sistemas foi o fato de não ser necessário o trator aceiro para a colheita em que se transporta a palha para a indústria.

5.6 Custo operacional total do corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria

Dentre os diversos custos que uma empresa sucroalcooleira possui, um dos mais significantes é o do CCT. Ele é de grande importância por representar 30 a 40% do custo total da cana-de-açúcar colocada na esteira da indústria, apresentando, portanto grande peso no custo de fabricação do produto final.

A partir do valor de aquisição dos veículos/equipamentos e dos coeficientes técnicos obtidos na empresa, foi efetuado o cálculo do custo operacional total (COT) das operações envolvidas no CCT mecanizado para os dois casos em estudo.

Em todas as operações envolvidas no CCT mecanizado, o custo fixo não sofreu variação entre os dois sistemas estudados. O custo total horário também não diferiu na comparação dos dois sistemas, exceto na operação de colheita e na operação de apoio.

Devido a essa variação na colheita e operação de apoio, o custo total do CCT expresso em R\$/h foi menor em 10,72% no sistema em que não se realizou a limpeza da cana-de-açúcar. Dessa redução no custo, R\$5,88/hora são oriundos da operação de colheita, e R\$43,83/hora resultantes da economia durante a operação de apoio (Tabela 06).

A operação de apoio apresenta uma particularidade, que é a presença do trator enleirador de palha somente no sistema onde se realiza a limpeza da cana-de-açúcar no campo. Essa especificidade de equipamento ocasiona um maior custo para a operação de apoio nesse sistema.

O custo horário total por equipamento utilizado na operação de apoio, com exceção do trator enleirador de palha, não diferiu entre os dois sistemas estudados. A diferença de 38% entre os custos totais horários da operação de apoio é em virtude de não ser necessário a utilização do trator enleirador de palha no sistema de colheita da cana-de-açúcar sem limpeza da palha (Tabela 06).

Tabela 06 – Demonstrativo dos custos operacional total (COT) em R\$/hora das operações do CCT mecanizado da cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.

OPERAÇÃO	R\$/hora		Variação	
	Com Limpeza	Sem Limpeza	(%)	(R\$)
CORTE				
Collhedora	197,30	191,43		
<i>Subtotal</i>	<i>197,30</i>	<i>191,43</i>	-2,98%	(5,88)
CARREGAMENTO				
Trator	34,26	34,26	0,00%	-
Transbordo	3,50	3,50	0,00%	-
<i>Subtotal</i>	<i>37,76</i>	<i>37,76</i>	0,00%	-
TRANSPORTE				
Cavalo mecânico	75,94	75,94	0,00%	-
Semireboque	4,97	4,97	0,00%	-
Dolly	2,06	2,06	0,00%	-
Caminhão escravo	30,69	30,69	0,00%	-
<i>Subtotal</i>	<i>113,66</i>	<i>113,66</i>	0,00%	-
APOIO				
Bombeiro	24,80	24,80	0,00%	-
Comboio	23,60	23,60	0,00%	-
Oficina	22,62	22,62	0,00%	-
Trator 75cv	40,24	-	-100,00%	(40,24)
Ancinho enleirador	3,59	-	-100,00%	(3,59)
<i>Subtotal</i>	<i>114,86</i>	<i>71,02</i>	-38,16%	(43,83)
TOTAL CCT	463,57	413,86	-10,72%	(49,71)

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao se analisar o custo total do CCT em R\$/ha, observa-se uma variação de 23,66% entre os dois sistemas. Nesse caso o sistema que apresentou um maior custo foi o sem limpeza da cana-de-açúcar (R\$2.235,48/ha), com uma diferença de R\$ 427,66/ha em relação ao outro sistema estudado. O aumento do custo de transporte nesse sistema é o maior responsável por esse incremento nos custos, respondendo por 82% dessa alteração (Tabela 07).

Na operação de colheita, o custo com reparo e manutenção das colhedoras do sistema sem limpeza foi menor. Isso ocorreu pelo fato de não ter sido considerado os gastos com os conjuntos de extratores utilizados para separar a palha do colmo, e também por esse sistema apresentar menor gasto de combustíveis devido a não utilização dos extratores da máquina.

A capacidade de campo operacional entre os dois sistemas apresentam resultados distintos devido à diferença nas velocidades, fazendo com que a operação de colheita mais onerosa fosse a que não realizou a limpeza da cana-de-açúcar, pois esta apresentou uma

menor velocidade de deslocamento. Com isso o COT das colhedoras apresentou uma variação de 8,89% (Tabela 07).

A operação de carregamento da cana-de-açúcar apresentou uma variação no COT de 12,23% que é devido à diferença considerada na capacidade de campo da colhedora, que interfere diretamente no rendimento dos conjuntos transbordos, uma vez que estes operam ao lado das colhedoras

O transporte da cana-de-açúcar até o complexo industrial é realizado através de composições rodoviárias. A carga efetiva transportada no sistema onde se realiza a limpeza é de 24,81 ton/hora, como já demonstrado anteriormente. Isso faz com que o rendimento de transporte desse sistema seja maior do que no sem limpeza em 70,87%, que transporta apenas 14,52 ton/hora. Essa diferença de volume transportado por hora faz com que a capacidade de campo operacional seja diferente entre os sistemas, acarretando um custo mais elevado (67%) de investimento para as composições rodoviárias do sistema sem limpeza.

O COT por equipamento de apoio diferiu apenas 1% entre os sistemas estudados, porém ao se analisar a variação total nessa operação, a diferença é de 37,5%, conforme pode ser observado na Tabela 08. O fato de não considerar o conjunto trator enleirador de palha nos equipamentos que compõe a operação de apoio do CCT mecanizado no sistema em que não se realiza a limpeza da cana-de-açúcar é o principal fator dessa redução nos custos.

Ao analisar o custo unitário do CCT, o sistema tradicional (com limpeza da cana-de-açúcar) apresentou um custo de R\$ 16,43/ton, enquanto o sistema sem limpeza da cana-de-açúcar foi 23,66% maior, R\$20,32/ton (Tabela 07). Essa diferença já era esperada, uma vez que o transporte da matéria prima até a indústria perde eficiência ao se carregar a palha e colmo da cana-de-açúcar juntos.

Tabela 07 – Demonstrativo dos custos operacional total (COT) em R\$/hectare das operações do CCT mecanizado da cana-de-açúcar com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.

OPERAÇÃO	R\$/hectare		Variação	
	Com Limpeza	Sem Limpeza	(%)	(R\$)
CORTE				
Collhedora	829,01	902,71		
<i>Subtotal</i>	<i>829,01</i>	<i>902,71</i>	8,89%	73,70
CARREGAMENTO				
Trator	287,90	323,12	12,23%	35,22
Transbordo	58,75	65,94	12,23%	7,19
<i>Subtotal</i>	<i>346,65</i>	<i>389,06</i>	12,23%	42,41
TRANSPORTE				
Cavalo mecânico	336,76	575,30	70,83%	238,54
Semireboque	132,13	225,72	70,83%	93,59
Dolly	27,38	46,77	70,83%	19,39
Caminhão escravo	28,65	28,94	1,01%	0,29
<i>Subtotal</i>	<i>524,92</i>	<i>876,73</i>	67,02%	351,81
APOIO				
Bombeiro	23,16	23,39	1,01%	0,23
Comboio	22,04	22,26	1,01%	0,22
Oficina	21,12	21,33	1,01%	0,21
Trator 75cv	37,58	-	-100,00%	(37,58)
Ancinho enleirador	3,35	-	-100,00%	(3,35)
<i>Subtotal</i>	<i>107,24</i>	<i>66,98</i>	-37,54%	(40,26)
TOTAL CCT	1.807,82	2.235,48	23,66%	427,66
Produtividade (t/ha)	110	110		
R\$/ton	16,43	20,32	23,66%	3,89

Fonte: Dados da pesquisa.

A figura 28 ilustra o investimento total necessário e o custo total operacional do CCT por safra para os sistemas com e sem limpeza da palha. A diferença entre os investimentos necessários é de 33%, ou R\$ 8,12 milhões. Ao se considerar a área com colheita mecanizada da cana-de-açúcar (9.327 ha), é possível determinar o custo operacional total do CCT por safra para os dois sistemas estudados. Como o custo operacional total em R\$/hectare para o sistema com limpeza da palha foi de 1.807,82, obtêm-se um custo total de CCT por safra de R\$ 16.861.889. O custo operacional total do sistema sem limpeza da palha em R\$/hectare foi 23,66% maior, fazendo com que o custo total do CCT na safra apresentasse a mesma variação, resultando em R\$ 20.850.774, ou R\$ 3.988.885 a mais por ano no sistema em que não se realiza a limpeza da palha da cana-de-açúcar no campo.

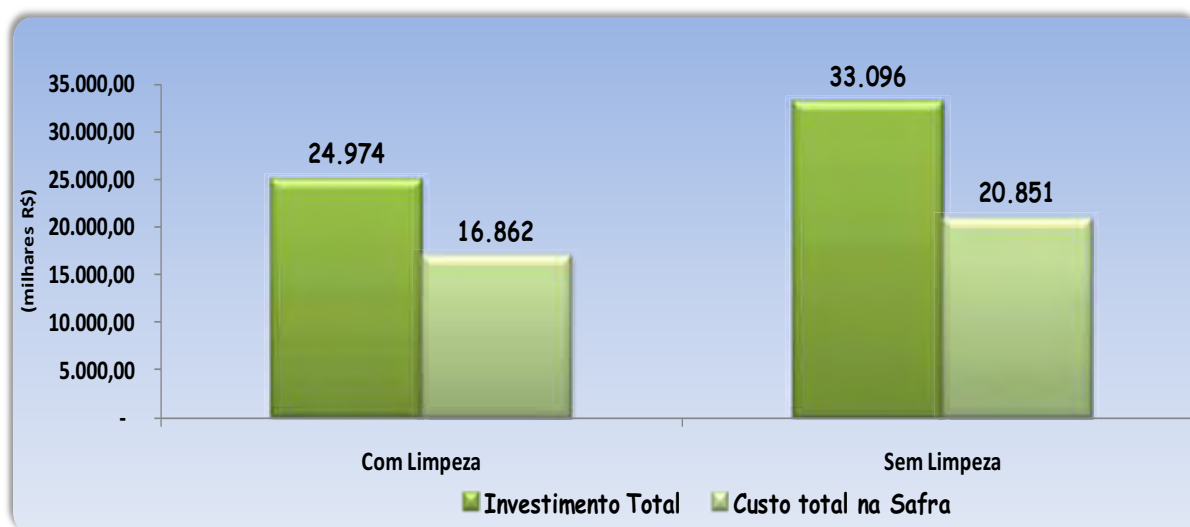


Figura 28 – Comparativo do investimento inicial e do custo operacional total (em mil R\$) do CCT mecanizado na safra para os sistemas com e sem limpeza da palha, em área própria, em 2007.

5.7 Análise de investimento

Como no sistema de colheita mecanizada sem limpeza, a presença de palha no processo industrial é maior, e isso acarreta em uma menor produção de álcool hidratado devido a maior perda de ART. Em contrapartida, o incremento da palha propicia uma maior geração de energia, que ao ser exportada e vendida resulta em uma maior receita para a empresa.

Para chegar à quantidade de ART perdido, somou-se ao bagaço resultante a quantidade de palha que não é retirada pelo sistema de limpeza e acaba sendo introduzida na moagem. Com o volume total de bagaço e palha que participa do processamento industrial, é possível obter a quantidade de álcool hidratado perdido multiplicando pelo fator de conversão de 0,01895534 kg de ART seqüestrado por kg de bagaço+palha produzido.

No sistema onde se realiza a limpeza da palha no campo, o potencial de exportação de energia elétrica considerado foi de 125.679 MW por safra, enquanto no sistema em que a palha é transportada para a indústria o potencial foi de 261.464 MW por safra. Nesses valores já está considerada o gasto energético que a presença da palha causa no processo industrial.

O valor de comercialização do álcool hidratado utilizado para efeito dos cálculos foi de R\$600,00/m³, enquanto que para a produção de energia elétrica o valor considerado foi de R\$120,00/MW exportado.

No sistema com limpeza da palha, a indústria processa 1.500.00 toneladas de colmo, resultando em 386.250 toneladas de bagaço. Essa produção de bagaço acarreta em um seqüestro de ART de 7.321,50 toneladas. Essa perda de ART equivale a deixar de produzir 4.475,64 m³ de álcool hidratado ou R\$ 2.685.382. O volume de bagaço resultante do processo industrial apresenta um potencial de exportação de energia elétrica de 125.679 MW ou uma receita de R\$ 15.081.440 por safra.

Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar sem limpeza da palha, a indústria processa 1.500.00 toneladas de colmo e aproximadamente 125.992 toneladas de palha. Essa palha é originada da área mecanizada própria.

Considerando a eficiência de lavagem (62,5%) e a taxa de utilização do equipamento de limpeza de 65%, 51.184 toneladas de palha são separadas e encaminhadas diretamente para a caldeira, não entrando assim para o processo nas moendas. As outras quase 74.808 toneladas de palha se juntam aos 1.500.000 toneladas de colmo e são processados pelo sistema industrial.

Tabela 08 – Análise de investimento (em mil R\$) para a implantação do sistema de colheita de cana-de-açúcar sem limpeza da palha, em área própria, para um período de 10 anos nas características técnicas agroindustriais da empresa avaliada, em 2007.

IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA SEM LIMPEZA	SAFRAS										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Custos Sem Palha (A)	24.973,8	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9	16.861,9
Custos Com Palha (B)	33.095,9	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8	20.850,8
Custo Agrícola (A-B)	-8.122,1	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9	-3.988,9
Custo Indústria	-5.200,0	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1	-520,1
Receita (equiv. energia)		16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3	16.294,3
Balanço Líquido	-13.322,1	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3	11.785,3
Balanço Acumulado	-13.322,1	-1.536,8	10.248,5	22.033,8	33.819,1	45.604,4	57.389,7	69.175,0	80.960,3	92.745,5	104.530,8
VPL	73.418,7										
TIR	88%										
PAYBACK	1,13										
Fonte: Dados da pesquisa.											

Do volume de colmo e palha que passou pela moenda, 461.058 toneladas saem no fim do processo como 386.250 toneladas de bagaço e cerca de 74.808 toneladas de palha. Com isso é possível obter a perda de ART que houve, ficando esta em 8.739,50 toneladas. Essa perda de ART equivale a deixar de produzir 5.342,46 m³ de álcool hidratado ou R\$ 3.205.478 por safra.

As 461.058 toneladas de bagaço e palha resultantes do processo industrial somadas com as 51.184 toneladas de palha que foram separadas pelo sistema de limpeza a seco apresentam um potencial de exportação de energia elétrica de 261.464 MW ou uma receita de R\$ 31.375.709 por safra.

A análise da viabilidade econômica do CCT mecanizado de cana-de-açúcar sem a limpeza da palha pode ser observada na Tabela 08. O custo agrícola é resultante da diferença dos custos do sistema sem palha e do sistema com palha. Na safra “zero”, o custo indústria é o valor necessário de investimento para realizar a adequação da indústria e assim implantar o sistema sem limpeza de palha. Nas demais safras, o custo indústria é a diferença entre os valores da quantia da perda equivalente em álcool hidratado nos dois sistemas estudados. A receita foi obtida pela diferença entre os potenciais de exportação de energia elétrica.

Considerando as características técnicas agroindustriais já demonstradas anteriormente da empresa envolvida no estudo, é possível verificar na Tabela 08 que o capital investido (*Payback Period*) é de 1,13 anos, ou seja, o investimento inicial será recuperado já no primeiro ano de safra em que o sistema estiver implantado e devidamente operando, pois o balanço acumulado passa a ser positivo.

O VPL obtido foi de R\$ 73.418,7 e a TIR de 88%, maior que a taxa de desconto considerada no projeto, de 6% a.a., o que demonstra que a implantação do sistema de CCT mecanizado sem a limpeza da palha, para estas condições é viável economicamente.

6 CONCLUSÕES

Pelos dados analisados, é possível verificar que a diferença na velocidade operacional das colhedoras entre os dois sistemas estudados é o fator determinante que resulta na necessidade de uma colhedora a mais onde não é realizada a limpeza da cana-de-açúcar.

Na operação de carregamento, a presença da palha não altera o dimensionamento, pois o mesmo é realizado tendo como base o número de colhedoras. Ao contrário do carregamento, o transporte da cana-de-açúcar sofre influencia direta da presença da palha, necessitando de 67% a mais de equipamentos para suprir a demanda industrial de matéria prima.

Como há diferença no dimensionamento dos equipamentos entre os dois sistemas estudados, o valor do investimento entre eles também difere, sendo este 33% maior onde não se realiza a limpeza da palha.

O COT em R\$/hora sofreu variação devido a diferença das velocidades de deslocamento na operação de colheita entre os sistemas e pelo fato de não ser necessário a utilização do trator enleirador de palha no sistema sem limpeza da palha. O sistema tradicional de CCT mecanizado se mostrou mais oneroso em R\$ 49,71/hora.

Ao analisar o COT em R\$/hectare, ocorre o inverso, o sistema mais oneroso passa a ser o sem limpeza da palha com uma diferença de R\$ 427,66/hectare. Porém, ao se realizar a análise de viabilidade econômica é possível concluir que, apesar do sistema sem limpeza apresentar uma necessidade de investimento inicial maior e um incremento no COT por safra de 23,66%, o fato do potencial de exportação de energia elétrica se tornar 108% maior nesse sistema faz com que ele se torne economicamente viável.

Em relação à possibilidade de implantar o sistema de CCT mecanizado sem limpeza da palha, observamos algumas inovações tecnológicas industriais capazes de auxiliar na manutenção da qualidade do produto final. Porém a implantação de projetos dessa natureza, que permitam uma melhor sustentabilidade do setor sucroalcooleiro, exige altos investimentos. Com a adoção dessas práticas, espera-se que o Brasil se firme como referência mundial na produção alternativa de energia.

7 ILUSTRAÇÃO DA PESQUISA



Figura 29 – Colheita mecanizada de cana-de-açúcar com limpeza da palha, acompanhada pelo conjunto transbordo.



Figura 30 – Transferência da carga do transbordo para o semi-reboque, responsável por fazer o transporte rodoviário.



Figura 31 – Detalhe de um dolly canavieiro utilizado para acoplar dois semi-reboques.



Figura 32 – Detalhe da fila de semi-reboques aguardando o carregamento no campo nos carregadores principais.



Figura 33 – Pneu de alta flutuação do transbordo para minimizar a compactação do solo no sistema de colheita mecanizada.



Figura 34 – Colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua mostrando o grande volume de palha que é separado pelo extrator primário.



Figura 35 – Colhedora aguardando a manutenção programada no campo.



Figura 36 – Manutenção programada sendo realizada no campo pelo fabricante da colhedora.



Figura 37 – Fabricação do chassi de um semi-reboque de cana-de-açúcar picada.



Figura 38 – Caixa de armazenagem de cana-de-açúcar picada que irá ser colocada sobre o chassi do semi-reboque.



Figura 39 – Dolly canavieiro em fase final de fabricação.



Figura 40 – Semi-reboque de cana-de-açúcar picada em fase final de fabricação.

REFERÊNCIAS

- BENEDINI, M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. **Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada**. Sertãozinho: Canaoeste, 2009. Disponível em: <http://www.canaoeste.com.br/boletim2009_03.pdf>. Acesso em: 14 maio 2010.
- BIODIESELBR. **Co-geração de energia**: processamento do álcool. Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/cogeracao-energiaetanol.htm>>. Acesso em: 07 fev. 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia - MME. Apresenta informações sobre o Ministério e suas atividades. Brasília, 2008. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 10 dez. 2008.
- CAMARGO, A. M. M. P.; CASER, D. V.; CAMARGO, F. P.; OLIVETTE, M. P. A.; SACHS, R. C. C.; TORQUATO, S. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, Estado de São Paulo, 2001- 2006. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 47-66, 2008.
- CASTRO, N. J.; DANTAS, G. A.; LEITE, A. L. S. Instrumentos para compatibilizar o atrito entre remuneração do MWh sucroalcooleiro e a garantia da modicidade tarifária. **Economia & Energia**, Belo Horizonte, v. 12, n. 67, abr./maio 2008.
- COELHO, S. T. **Mecanismo para implementação da cogeração de eletricidade a partir da biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo. 1999. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.
- COSTA, C. C. **Medidas protecionistas utilizadas pelos Estados Unidos e União Européia para o açúcar**: impacto sobre a economia das regiões exportadoras do Brasil. 2004. 291 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- FLORENTINO, H. O.; SPADOTTO, A. F. O problema da mochila no carregamento do palhço da cana-de-açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 30., 2007, Florianópolis. **Anais...** São Carlos: Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2007. 5 p. Disponível em: <http://www.sbmec.org.br/eventos/cnmac/xxx_cnmac/PDF/230.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2008.

FRANCISCO, V. L. F. dos S.; SUEYOSHI, M. de L. S.; PINO, F. A.; CAMARGO, A. M. M. P. de. Censo Agropecuário no estado de São Paulo: resultados regionais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 11, p. 75, 1997.

FURTADO, F. **Mecanização da colheita da cana traz benefício ambiental**. **Ciência Hoje Online**, São Paulo, 24 set. 2002. Disponível em: <<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/1382>>. Acesso em: 04 abr. 2009.

GOES, T. **A energia que vem da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, 2008. 3 p. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2008/A%20energia%20que%20vem%20da%20cana%20de%20acucar%20ultimo.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2009.

GOLDEMBERG, J. A cogeração no setor sucroalcooleiro. **Opiniões**, Ribeirão Preto, jan./mar. 2008. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=100>>. Acesso em: 05 jul. 2009.

GRASIELA, L. **Pedidos de autorização para a queima da cana somam 6 mil em SP**. [S.l.]: Agrolink, 2010. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/noticias/NoticiaDetalhe.aspx?CodNoticia=108390>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

HAHN, M. H. **SISTEC**: simulador de sistema de transporte da cana-de-açúcar. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

HASSUANI, S. Limpeza a seco de cana: tecnologia CTC. In: WORKSHOP CANA CRUA E LIMPEZA DE CANA: experiência acumulada, 6., 2010, Jaboticabal. **Palestras...** Jaboticabal: [s.n.], 2010.

HOLLANDA, J. B. de. Eficiência energética na indústria de cana. **Opiniões**, Ribeirão Preto, jan./mar. 2008. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/aa/materia.php?id=106>>. Acesso em: 05 jul. 2009.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA – IEA. **Área e produção dos principais produtos da agropecuária do estado de São Paulo**. São Paulo: IEA, 2010. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/subjetiva.aspx?cod_sis=1>. Acesso em: 06 abr. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR). **CANASAT**: inicializar mapa: safras. São José dos Campos, 2009. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/frame.jsp>>. Acesso em: 05 jul. 2009.

LEAL, M. R. L. V. **Ensaio de colheita de cana picada com limpeza parcial**. Araçatuba: UDOP, 2009. Disponível em:
<<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=26404>>. Acesso em: 06 abr. 2010.

MAGALHÃES, P. S. G.; BRAUNBECK, O. A. Colheita de cana-de-açúcar: atualidades e perspectivas. In: BALBUENA, R. H.; HUGO BENEZ, S.; JORAJURÍA, D. **Ingeniería rural y mecanización agrária en el ámbito latinoamericano**. La Plata: Editora de la Universidad Nacional de La Plata, 1998. v. 1, p. 262-73.

MAGALHÃES, P. S. G. **Máquinas e implementos**. Brasília: Embrapa, 2010. Disponível em:
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_22122006154841.html>. Acesso em: 13 maio 2010.

MARTIN, N. B.; SERRA, R.; OLIVEIRA, M. D. M.; ÂNGELO, J. A.; OKAWA, H. **Sistema “CUSTAGRI”**: sistema integrado de custos agropecuários. São Paulo: IEA/SAA, 1997.

MILLER, L. C. **Definição das práticas agrícolas a serem realizadas nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar**. Araras: Sigacana, 2008. Disponível em:
<http://www.sigacana.com.br/d_COLHEITA%5C4.
PLANEJ_E_OPER_DA_COLHEITA_DE_CANA_INDUSTRIAL_atualiz.htm>. Acesso em: 12 maio 2010.

MIRANDA, V.; GOMES, R. A. Potencial de acréscimo de energia elétrica a partir da cogeração no setor sucroalcooleiro no Estado de Goiás. **Conjuntura Econômica Goiana**, Goiânia, n. 10, p. 28-37, jun. 2009.

NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; MORAES, E. E.; MARCHI, A. S. Avaliação de perdas invisíveis de cana-de-açúcar nos sistemas da colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 3, p. 539-546, set./dez. 2003.

NOGUEIRA, M. P. **Gestão de custos e avaliação de resultados**: agricultura e pecuária. 2. ed. Bebedouro: Scot Consultoria, 2007. 244 p.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários**: administração financeira, orçamento e avaliação econômica. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1987. 269 p.

NUNES JUNIOR, D.; PINTO, R. S. A.; KIL, R. A. **Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira**: safra 2003-2004. Ribeirão Preto: IDEA, 2005. 195 p.

NUNES, M. H. CTC: avanços e resultados: histórico da tecnologia. In: WORKSHOP TECNOLOGIA DE LIMPEZA DE CANA A SECO, 2007. **Palestras...** [S.l.: s.n., 2007].

PEREIRA, M. A. Energia total da cana. São Paulo: Agência Fapesp, 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.fapesp.br/materia/7493/noticias/energia-total-da-cana.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2010.

RIPOLI, T. C. C.; CARVALHO FILHO, S. M.; MOLINA JÚNIOR, W. F.; RIPOLI, M. L. C. Desempenho econômico de colhedora em cana crua. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, p. 1-5, 2001.

RIPOLI, M. L. C. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) e do seu potencial energético**. 2002. 111 f. Dissertação (Mestrado) – 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: Ed. Autor, 2005. 302 p.

SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILLAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, jan/abr 2007.

SILVA, J. E. A. R. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para auxiliar o gerenciamento de sistemas de corte, carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SOUZA, M. S.; PRADO, R. M.; PAIXAO A. C. S.; CESARIN, L. G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271- 278, mar. 2005.

SOUZA, Z. J. **Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: entraves estruturais e custos de transação: uma avaliação das formas de comercialização da energia co-gerada pelo setor sucroalcooleiro**. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.

SOUZA, Z. J.; AZEVEDO, P. F. Geração de energia elétrica excedente no setor sucroalcooleiro: um estudo a partir das usinas paulistas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, v. 44, n. 2, p. 179-199, abr./jun. 2006.

TECHPETERSEN. **Limpeza a seco**. Piracicaba, 2008. Disponível em: <http://www.techpetersen.com.br/p_limpeza_seco.php>. Acesso em: 05 jan. 2008.

TSUNECHIRO, A.; COELHO, P. J.; CASER, D. V.; BUENOS, C. R. F.; PINATTIS, E.; CASTANHO FILHO, E. P. , BINI, D.L.C. Valor da produção agropecuária e florestal do estado de São Paulo em 2009. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 40, n. 5, p. 52-62, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **2010/2011**: a safra que ‘não foi possível’ em 2009/2010. São Paulo: Unica, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticias/show.asp?nws Code={1A44C1EA-92CE-44C1-AE09-431825C01193}>>. Acesso em: 26 abr. 2010.

USTULIN, E. J.; SEVERO, J. R. **Cana-de-açúcar**: proteger o ambiente e continuar gerando empregos. Brasília: Canal do Produtor, 2004. Disponível em: <<http://www.cna.org.br/site/noticia.php ?n=1172>>. Acesso em: 07 fev. 2008.

VEIGA FILHO, A. A. **Questões recentes sobre o setor sucroalcooleiro**. São Paulo: IEA, 2002. Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea/subjetiva.aspx?cod_sis=1>. Acesso em: 15 abr. 2009.

VELINI, E. D.; NEGRISOLI, E. Controle de plantas daninhas em cana crua. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 22., 2000, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira da Ciência das Plantas Daninhas, 2000. p. 148-164.

VIAN, C. E. F.; MARIN, F. C. **Logística e transporte**. Brasília: Embrapa, 2010. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_133_22122006154842.html>. Acesso em: 10 jan. 2010.