

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

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL E DE CUSTOS
ENTRE ENFARDADORAS NO RECOLHIMENTO DE PALHIÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

MARCELO SCANTAMBURLO DENADAI

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

BOTUCATU – SP

Julho – 2014

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

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL E DE CUSTOS
ENTRE ENFARDADORAS NO RECOLHIMENTO DE PALHIÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR**

MARCELO SCANTAMBURLO DENADAI

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra

Co-Orientadora: Prof^ª. Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini

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

BOTUCATU – SP

Julho – 2014

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

D391a Denadai, Marcelo Scantamburlo, 1990-
Avaliação do desempenho operacional e de custos entre
enfardadoras no recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar /
Marcelo Scantamburlo Denadai. - Botucatu : [s.n.], 2014
ix, 53 f. : fots. color., ils. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014
Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra
Coorientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini
Inclui bibliografia

1. Biomassa. 2. Resíduos vegetais. 3. Custo operacional.
I. Guerra, Saulo Philipe Sebastião. II. Esperancini, Maura
Seiko Tsutsui. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio
de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciên-
cias Agrônômicas. IV. Título.

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

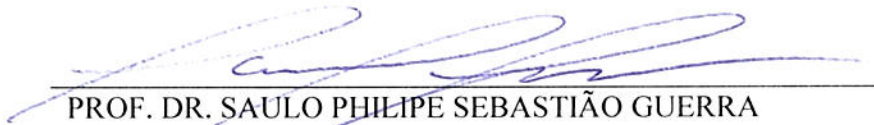
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: “AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL E DE CUSTOS
ENTRE ENFARDADORAS NO RECOLHIMENTO DE PALHIÇO DE
CANA-DE-AÇÚCAR”**

ALUNO: MARCELO SCANTAMBURLO DENADAI

ORIENTADOR: PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA



PROF. DR. MARCELO DE ALMEIDA SILVA



PROF. DR. FABRÍCIO LEITE

Data da Realização: 11 de julho de 2014.

“Seja quem você for, seja qual for a posição social que você tenha na vida. A mais alta ou a mais baixa. Tenha sempre como meta muita força, muita determinação, e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna

“Não sabendo que era impossível, ele foi lá e fez.”

Jean Cocteau

Dedico esta dissertação

*Aos meus pais, por terem me preparado para a vida como ela é.
Por sempre me apoiarem e nunca terem me deixado
desistir dos meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra, pela confiança, compromisso, respeito pela pesquisa, orientação e apoio para a realização e conclusão deste trabalho. Também pelas oportunidades oferecidas e por ser conselheiro nos mais diversos assuntos.

Ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças, pela confiança, ensinamentos, conselhos, e oportunidades de trabalho oferecidas no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA).

À Prof.^a Dra. Maura Seiko Tsutsui Esperancini, pela co-orientação e aulas de economia, possibilitando as análises de custo deste trabalho.

À banca examinadora, Marcelo de Almeida Silva e Fabrício Leite, pelas contribuições neste trabalho, e enriquecimento pessoal.

À Agrícola Três Lagoas por abrir as portas para a realização do ensaio das máquinas.

À Vermeer, pela parceria no projeto de avaliação das enfardadoras e ajuda de custo.

Aos professores do Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia (DEST), pelos ensinamentos.

Aos funcionários do DEST, pela disposição em ajudar e convivência.

Ao funcionário do Departamento de Engenharia Rural, Emanuel Rangel Spadim, pela amizade e disposição em ajudar a qualquer hora.

Aos colegas do NEMPA, em especial Indiamara, Renato, Fernando, João, Helen, Diego, Thiago, Murilo, Jefferson, Fabrício, Rômulo, Giulia, Luiz, Humberto, Guilherme, Fellippe, Gustavo, Felipe e Raoni pelos momentos de convivência no trabalho, amizade e também pelos momentos de descontração.

À minha namorada, Carolina Ruv, pela correção de Português deste trabalho, compreensão, paciência, e por sempre estar ao meu lado, tanto nos melhores momentos como nos mais difíceis.

À minha família, em especial meus pais Santo e Jandira, e minha irmã Daniela, pelo exemplo que são, e total apoio durante o mestrado.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE EQUAÇÕES.....	IX
RESUMO.....	01
SUMMARY.....	02
1 INTRODUÇÃO.....	03
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
2.1 Cana-de-açúcar.....	05
2.1.1 Morfologia da planta.....	05
2.1.2 O setor canavieiro brasileiro.....	06
2.2 Biomassa agrícola.....	10
2.3 Palhiço de cana-de-açúcar.....	12
2.4 Enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar.....	15
2.5 Custos operacionais.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Avaliação do desempenho operacional.....	23
3.2 Custos operacionais.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Desempenho operacional.....	35
4.2 Custos operacionais.....	38
5 CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área utilizada para ensaio das enfardadoras.....	22
Figura 2 – Enleiramento do palhico do palhico de cana-de-açúcar na área do ensaio.....	23
Figura 3 – Esquema de enfardadora cilíndrica.....	23
Figura 4 – Esquema de enfardadora prismática.....	24
Figura 5 – Ensaio da enfardadora cilíndrica na área de ensaio.....	24
Figura 6 – Ensaio da enfardadora prismática na área de ensaio.....	25
Figura 7 – Exemplo de rastreamento do trator via GPS durante o ensaio.....	26
Figura 8 – Fardos cilíndrico e prismático avaliados.....	27
Figura 9 – Amostragem de impureza mineral nos fardos.....	28
Figura 10 – Amostras para determinação da impureza mineral.....	29
Figura 11 – Leiras na área de ensaio.....	29
Figura 12 – Vista da área no final dos ensaios.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 1.....	36
Tabela 2 – Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 2.....	37
Tabela 3 – Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 3.....	38
Tabela 4 – Custos fixos do trator na operação de enfardamento.....	39
Tabela 5 – Custos variáveis do trator na operação de enfardamento.....	39
Tabela 6 – Custos fixos da enfardadora na operação de enfardamento.....	40
Tabela 7 – Custos variáveis da enfardadora na operação de enfardamento.....	40
Tabela 8 – Custos totais de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar em Lençóis Paulista/SP, com enfardadora cilíndrica e prismática.....	41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Impureza mineral nos fardos.....	28
Equação 2 – Custo de combustível.....	31
Equação 3 – Custo de óleos lubrificantes e filtros.....	31
Equação 4 – Custos acumulados de reparo e manutenção.....	31
Equação 5 – Custo do operador.....	32
Equação 6 – Cálculo da depreciação das máquinas.....	32
Equação 7 – Cálculo dos juros.....	33
Equação 8 – Cálculos de abrigo e seguro.....	33

RESUMO

A biomassa tem grande importância em relação às principais fontes de energia utilizadas no mundo, e também por ser uma energia renovável. O enfardamento tem sido amplamente utilizado na agricultura desde a década de 1970 e permite o aumento da densidade do material, uma vez que compacta a biomassa em fardos. Após a proibição da queima dos canaviais, uma grande quantidade de resíduo vegetal, que antes era queimado, começou a ser deixado sobre o solo, podendo ser aproveitado para a geração de energia elétrica e produção de etanol de segunda geração. Dentre as diversas formas de recolhimento da palha no campo, tem-se discutido e utilizado a retirada da mesma em fardos, pois aumenta a eficiência no transporte desse material. Atualmente, as enfardadoras utilizadas no enfardamento do palhiço são as mesmas utilizadas e projetadas para o enfardamento de feno. Dentre elas, destacam-se dois sistemas básicos de funcionamento, as cilíndricas e as prismáticas, existindo questionamento sobre qual sistema proporciona menor custo. O objetivo deste trabalho foi a avaliação do desempenho operacional de duas enfardadoras para palhiço e estimativa dos custos no enfardamento do palhiço de cana-de-açúcar. As máquinas ensaiadas compreenderam o conjunto trator e enfardadoras, sendo utilizado trator de mesma potência para as duas enfardadoras. Os ensaios foram realizados baseando-se nas normas da ASABE, com cinco repetições para análise estatística, sendo os custos divididos em fixos e variáveis. Dentre as variáveis coletadas em campo, destacam-se o estudo de tempos e movimentos do conjunto, rastreamento da área trabalhada com GPS, avaliação da biomassa no campo, avaliações dos fardos e mensuração do consumo de combustível. Para comparação das enfardadoras foi realizada análise de variância ao nível de 5% de significância por meio do programa estatístico Sisvar. Não foi observado diferença significativa no desempenho operacional das enfardadoras avaliadas, porém foi observado diferença significativa para o custo de enfardamento, sendo a enfardadora cilíndrica com o menor custo operacional.

Palavras-chave: biomassa, enfardamento, custo operacional, resíduo vegetal.

SUMMARY

PERFORMANCE AND OPERATING COSTS OF ROUND AND SQUARE BALERS ON SUGARCANE STRAW BALING. Botucatu, 2014. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: MARCELO SCANTAMBURLO DENADAI

Adviser: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Co-adviser: MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Biomass has great importance in relation to the main sources of energy used in the world, and because it is a renewable energy. The baling has been widely used in agriculture since the 1970s and allows increased density of the material, once compact biomass in bales. After the prohibition of burning sugarcane at fields, a large amount of raw material, which was burned before, began to be left on the soil and can be harnessed for power generation and production of second generation ethanol. Among the various forms of payment of straw in the field, has been discussed and used its removal in bales, as increases efficiency in transportation of this material. Currently, balers used in baling trash are the same used and designed for baling hay. Among them, we highlight two basic operating systems, the round and square, questioning existing system which provides lower cost. The objective of this study was to evaluate the operational performance of two balers and the estimated costs of baling sugarcane straw. The machines tested understood the tractor and set balers, tractor being used with the same power for the two balers. The tests were performed based on the standards of the ASABE, with five replicates for statistical analysis, the costs being divided in fixed and variable. Among the variables collected in the field, we highlight the time and motion study of the set, GPS tracking, evaluation of biomass on the field, evaluation of bales and measurement of fuel consumption. For comparative of balers, analysis of variance was performed at 5% significance level with assistance from Sisvar statistical program. No significant difference in the operating performance of the evaluated balers were observed, but a significant difference was observed for the cost of baling, with the cylindrical baler presented the lowest operating cost.

Keywords: biomass, baling, operating cost, plant residue.

1. INTRODUÇÃO

A maior parte da energia consumida em todo mundo provém, essencialmente, de combustíveis fósseis, havendo uma preocupação em relação à sua possível escassez no futuro, além de outras consequências ambientais, visto que a queima dos combustíveis fósseis gera poluentes, trazendo mudanças climáticas.

O Brasil apresenta uma matriz de geração de energia elétrica de origem predominantemente renovável, sendo a geração hidráulica responsável por 70% da oferta interna. A desvantagem deste sistema é a segurança da oferta de eletricidade, tendo por base que em períodos de seca, a geração de energia elétrica em parques hidrelétricos fica comprometida. Neste cenário, torna-se necessário a busca por fontes alternativas de energia, como a cogeração de energia através do aproveitamento de resíduos vegetais.

Com a proibição das queimadas dos canaviais no país, e mais restritamente no estado de São Paulo, houve aumento do uso de sistemas mecanizados na colheita da cana-de-açúcar. Desta forma, o palhicho que antes era queimado e não aproveitado, sob o ponto de vista não nutricional, e que apresenta um grande volume de biomassa, começou a permanecer com mais frequência sobre as áreas canavieiras.

Essa biomassa deixada no campo, chamada de palhicho como definiu o Professor Dr. Tomaz Caetano Cannavam Rípoli (in memoriam) da ESALQ/USP, em grande quantidade prejudica o desenvolvimento da cana-de-açúcar, diminui a eficiência de herbicidas, e ainda oferece proteção para pragas indesejadas na cultura, sendo atualmente um consenso que sua retirada é necessária. Para possibilitar a retirada de forma econômica

deste material, destacam-se as enfardadoras, que compactam a biomassa em grandes fardos, diminuindo os custos com transporte.

As enfardadoras são equipamentos utilizados para recolher e compactar capim, palha, feno e restos culturais gerados pela prévia utilização de colhedoras mecanizadas, não sendo projetadas para o recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar. A biomassa compactada em fardos pode ser amarrada por cordas de sisal, ráfia, telas sintéticas ou ainda, arames ou barbantes. Os fardos podem variar desde pequenos, facilitando o carregamento manual, até fardos de mais de 700 kg de massa.

Em função da crescente demanda energética, dado o desenvolvimento econômico do país e a necessidade de energia limpa e renovável, juntamente com os problemas ocasionados pela grande quantidade de palhiço, a operação de enfardamento vem ganhando espaço solucionando esses problemas, suprimindo parte da demanda energética brasileira e agregando valor à cultura com a biomassa recolhida em fardos. Nesse processo estão disponíveis no mercado enfardadoras de diversas marcas, utilizando dois sistemas diferentes, as enfardadoras cilíndricas e as prismáticas.

O uso de equipamentos para o recolhimento de parte dessa biomassa vem ajudando os fornecedores de cana-de-açúcar a incrementar suas receitas a partir da venda dessa biomassa existente em grande escala, para as indústrias gerarem energia, existindo ainda a possibilidade de produção de briquetes com a instalação de pequenas unidades processadoras ou de grande porte em consórcio ou associação.

Preços dos insumos, capacidades operacionais, custos de aquisição e manutenções diferentes são os fatores mais questionados por quem pretende adotar a operação de enfardamento em seu sistema produtivo.

O desenvolvimento de estudos é fundamental para a investigação do processo de aproveitamento da biomassa residual de cana-de-açúcar, principalmente para a geração de energia relativa a estas fontes renováveis, na medida em que se busca maximizar a geração e, simultaneamente, minimizar o custo de recolhimento e transporte desta biomassa até os centros de processamento.

Os objetivos desse trabalho foram a avaliação do desempenho operacional de duas enfardadoras de sistemas completamente diferentes, sendo uma cilíndrica e outra prismática, bem como a estimativa dos custos de enfardamento do palhiço de cana-de-açúcar em área produtora do Estado de São Paulo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à ordem *Graminales*, família *Poaceae*, gênero *Saccharum* e comercialmente utilizam-se híbridos deste gênero. Morfologicamente as raízes são fasciculadas, contendo 85% do sistema radicular nos primeiros 50 cm. Os rizomas são constituídos por nós, internós e gemas, e o colmo é caracterizado por nós e entrenós bem marcados. Fisiologicamente é uma planta C4, apresentando alta taxa de fotossíntese, maior eficiência na utilização e resgate do CO₂, elevada adaptação às condições de altas temperaturas, luminosidade e relativa escassez de água, possuindo alta capacidade de absorver água pelas folhas, porém a principal via é pelo sistema radicular (URIBE, 2010).

A temperatura adequada juntamente com a grande quantidade de energia solar e de água, forneceram o ambiente ideal para que a cana-de-açúcar se aclimatasse no Brasil (CORDEIRO, 2008). É cultivada no Brasil desde o século XVI e até hoje assume grande importância no cenário nacional e internacional (LEITE et al., 2008).

2.1.1 Morfologia da planta

A cana-de-açúcar desenvolve-se sob a forma de touceiras, cuja parte aérea é formada por colmos, folhas, inflorescências e sementes, enquanto a parte subterrânea é composta por raízes e rizomas (MOZAMBANI et al., 2006). A parte morfológica da cana-de-açúcar de interesse comercial é o colmo, que possui sacarose industrializável. A composição química dos colmos é extremamente variável em função de diversos fatores

como variedade da cultura, idade fisiológica, condições climáticas durante o desenvolvimento e maturação, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo e tipo de cultivo (MARQUES et al., 2001).

O colmo da cana-de-açúcar é uma haste sem ramificações, com secção transversal aproximadamente circular, diferenciada em segmentos compostos por um nó e um entrenó. Os nós são normalmente espaçados, em intervalos de 15 a 25 cm, sendo mais espaçados na parte superior do colmo, onde ocorre o alongamento, e mais próximos entre si na base da planta (BLACKBURN, 1984).

As folhas são compostas pela bainha e pela lâmina foliar e são conectadas ao colmo na base dos nós, de modo alternado em duas linhas opostas no colmo (JAMES, 2003). De forma geral, a planta é constituída de um sistema radicular, dos colmos, onde a sacarose é predominantemente estocada, e das folhas dispostas ao redor da cana, nos nódulos inter colmos e também na parte superior da planta onde se localiza a gema apical (MANTELATTO, 2005).

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, que perfilha de maneira abundante na fase inicial do desenvolvimento. Quando se estabelece como cultura, o auto-sombreamento induz a inibição do perfilhamento e a aceleração do colmo principal. O crescimento em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento, sendo este processo indesejável em culturas comerciais (RODRIGUES, 1995).

Para a ocorrência do seu processo de maturação, a cultura da cana-de-açúcar exige temperaturas baixas e déficit hídrico, para que haja repouso fisiológico e maior acúmulo de sacarose nos colmos (ANDRADE, 2006). Na região Sudeste do Brasil, este processo tem ocorrência natural a partir dos meses de abril/maio, com clímax no mês de agosto (DEUBER, 1988).

2.1.2 O setor canavieiro brasileiro

A área cultivada com cana-de-açúcar colhida e destinada à atividade sucroalcooleira na safra 2013/14 foi estimada em 8.799 mil hectares, distribuídas em todos os estados produtores, conforme suas características. O estado de São Paulo é o maior produtor com 51,3% (4.515 mil hectares), seguido por Goiás com 9,3% (818 mil hectares), Minas Gerais com 8,0% (781 mil hectares), Paraná com 7,0% (620 mil hectares), Mato

Grosso do Sul com 7,1% (624 mil hectares), Alagoas com 5,0% (442 mil hectares) e Pernambuco com 3,2% (286 mil hectares). Nos demais estados produtores, as áreas são menores, com representações abaixo de 3%. A área de cana-de-açúcar destinada à produção na safra de 2013 apresentou um crescimento de 3,7%, ou seja, 314 mil hectares em relação à safra anterior (CONAB, 2013).

A produtividade média brasileira está estimada em $74,1 \text{ t ha}^{-1}$, 6,9% maior que na safra 2012/13, que foi de $69,4 \text{ t ha}^{-1}$. A recuperação das condições climáticas, a partir do segundo semestre nas principais regiões produtoras da Região Centro-Sul, proporcionou esse crescimento no volume de cana-de-açúcar disponível para moagem nesta safra. Outro fator que certamente contribuiu para este resultado é a entrada da produção de áreas renovadas e áreas novas que apresentaram produtividades maiores (CONAB, 2013).

O aumento na produção da cultura e dos produtos provenientes de seu processamento é decorrente do incremento da área cultivada, da introdução de novas variedades, do manejo adequado do solo, uso de resíduos agroindustriais, aplicação racional de adubos e corretivos, e utilização de reguladores vegetais, permitindo antecipação positiva da safra com qualidade da matéria-prima, e da introdução constante de novas tecnologias no processo industrial, refletindo em maior eficiência (DINARDO-MIRANDA, 2008).

Um importante sistema de cultivo como o da cana-de-açúcar pode apresentar diferenças significativas em seu estoque de carbono do solo, sendo que essas diferenças são atribuídas à variação de manejo empregado e ao tempo em que a mudança do uso da terra ocorreu. O manejo adequado do solo pode melhorar sua estrutura física e fertilidade, reduzindo as emissões de CO_2 pelo maior acúmulo de material vegetal sob o solo, acarretando em alta produtividade das plantas (BELZÁRIO, 2008).

A demanda da produção de cana-de-açúcar no Brasil é consolidada pela grande utilização de seus produtos, pois o país possui uma das maiores frotas de carros biocombustíveis, levando a uma maior utilização de combustíveis renováveis como o etanol (SILVA, 2012).

No Brasil, a exploração canavieira sempre contemplou economicamente a quantidade de sacarose contida na matéria-prima, que é processada para a obtenção de açúcar comercial, etanol, aguardente, e seus derivados. Estudos mostram que a energia contida na matéria-prima e que lhe confere alto poder calorífico, quase nunca foi valorizada no Brasil, pois não havia o comércio regular e de longo prazo, que incentiva a sua transformação em energia elétrica, para ser comercializado na rede pública. Deste modo,

apesar de existir tecnologia de cogeração de alta eficiência no mundo, as unidades industriais brasileiras não foram concebidas para plena exploração do potencial energético da cultura canavieira. A tecnologia adotada era a de incineração do bagaço para a geração de energia elétrica utilizada internamente e da queima do palhiço no campo, para facilitar o corte manual (GERMEK, 1985).

Segundo Koblitz (2004), o Brasil revisou a sua matriz energética e acompanhando a tendência mundial de valorização de fontes renováveis, tais como a eólica e de biomassas, passou a partir de 2000 a contemplar o uso de fontes renováveis de energia sob novas leis e decretos. Estes definiram formas de comercialização da energia elétrica brasileira por meio de leilões, assegurando por longo prazo as garantias para a amortização do capital investido no sistema de cogeração, abrindo espaço e oportunidade para comercialização de energia de fontes de biomassa, na qual a fibra da cana destaca-se juntamente com os resíduos do processamento de cereais e de serragem da madeira.

Algumas tentativas foram empreendidas no setor sucroalcooleiro, tais como a mistura do palhiço na matéria-prima, reduzindo o tamanho dos particulados que constituem o palhiço, o que causaram problemas de entupimento do sistema alimentador de bagaço das caldeiras, dificultando seu emprego na forma originária da lavoura (KOBELITZ, 2004). Mas isso reduz a capacidade e a eficiência do processo de extração e pode comprometer a qualidade do produto final como fica evidenciado nos comentários de Hugot (1984).

O Brasil foi o primeiro país do mundo que conseguiu desenvolver em nível comercial, uma alternativa energética para os combustíveis fósseis, pois o ciclo cana/etanol é considerado limpo, sendo que um hectare de plantação produz por ano, 75 toneladas de cana-de-açúcar, que fornecem 8,5 toneladas de açúcar ou 5.400 litros de etanol e 19,5 toneladas de bagaço, com 50% de umidade. No processo de produção agrícola, a queima do canavial produz 1,2 toneladas de CO₂ e absorve 0,9 toneladas de oxigênio da atmosfera (ESTON, 1990).

A queima deste bagaço, que produz quase a mesma energia que o álcool, libera quatro toneladas de CO₂. Por sua vez, os 5.400 litros de etanol, ou 4,3 toneladas, sendo queimados, produzem 8,2 toneladas de CO₂. Portanto, o ciclo combustível total da cana-de-açúcar emite para a atmosfera 13,4 toneladas de CO₂. Esta mesma quantidade de cana retira da atmosfera para crescer, 109 toneladas de CO₂ e devolve 70 toneladas de oxigênio. Resumindo, o ciclo cana/etanol retira da atmosfera cerca de oito vezes

o CO₂ que produz, enquanto a queima da gasolina produz três toneladas de CO₂ por tonelada de combustível sem nenhuma compensação, e produz outros poluentes muito mais nocivos (ESTON, 1990).

A pré-operação de queima do canavial em condições não reguláveis e otimizadas para colheita gera 1,2 toneladas de CO₂ e que é perdido para a atmosfera, e que poderia ser aproveitado com a queima otimizada em caldeiras para a geração de vapor, e também proporcionaria a geração de energia elétrica adicional pelas unidades industriais (ESTON, 1990).

Para Feller (2004), a colheita da cana crua pode sequestrar da atmosfera 1,6 toneladas de carbono por hectare por ano enquanto que o plantio direto de grãos pode sequestrar de 0,4 a uma tonelada de carbono por hectare por ano.

A fibra da cana-de-açúcar e o palhiço, oriundos desta situação de corte mecanizado com recolhimento do resíduo da colheita, permite maior cogeração de energia elétrica nas unidades industriais. Isso traz benefícios para o desenvolvimento sustentável do setor sucroalcooleiro brasileiro e de sua matriz energética, como novas fontes de energia renováveis e limpas (RIPOLI e RIPOLI, 2004).

Utilizando-se de pesquisas operacionais das máquinas no campo, permite-se a construção de modelos operacionais com abordagem científica para fins de resolução de problemas, contribuindo para a tomada de decisões da administração executiva das empresas (WAGNER, 1986).

Outro sistema adotado na colheita da cana-de-açúcar sem queima prévia é a colheita integral, onde não é removida a palha dos colmos. Esse sistema compacta menos o solo por utilizar uma única passagem na operação de corte e colheita, evitando a agregação de terra no material a ser transportado. A terra na matéria-prima causa problemas de corrosão de equipamento, bombas e de tratamento do caldo (RIPOLI et al., 2003). Além disso, de acordo com este autor, a eliminação da limpeza da matéria prima na lavoura diminui o consumo de combustível da operação, e permite reduzir o custo da colheita de cana-de-açúcar, eliminando o sistema de corte superior dos colmos e de ventilação, simplificando a estrutura de apoio e manutenção de colheita.

Este sistema de colheita integral exige a limpeza de pré-tratamento das impurezas de origem vegetal antes do processo de extração junto à unidade industrial, e consumirá energia com o acionamento de motores elétricos, mas economizará em diesel, combustível fóssil. Há que se destacar que a energia elétrica é produzida por cogeração deste

próprio material residual da colheita e da extração, bagaço e palhiço (RIPOLI e RIPOLI, 2004).

2.2 Biomassa agrícola

Segundo a Diretiva 2003/30/CE, de 8 de Maio (UNIÃO EUROPEIA, 2003), o termo biomassa como vem sendo definido, aplica-se a toda fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, floresta e indústrias conexas, bem como a fração biodegradável dos resíduos industriais e urbanos. De uma forma mais simplificada pode-se dizer que é o material biológico suscetível de aproveitamento energético.

A biomassa energética é o resultado obtido da atividade fisiológica das plantas, que podem se comportar como verdadeiras usinas, podendo assim transformar a energia solar, por meio do processo fotossintético, em energia química (VASCONCELOS et al., 2007). Quando a biomassa é processada de forma eficiente, química ou biologicamente, extrai a energia armazenada nas ligações químicas e a subsequente energia produzida combinada com o oxigênio. O carbono é então oxidado para produzir CO₂ e água. Esse processo é cíclico e o CO₂ é então disponível para produzir nova biomassa (McKENDRY, 2002).

O termo biomassa refere-se, em sentido amplo, a qualquer tipo de matéria orgânica renovável de origem vegetal ou animal, ou procedente da transformação natural ou artificial da mesma. Esses materiais têm em comum a origem direta ou indireta do processo de fotossíntese, apresentando-se de maneira periódica e não limitada no tempo, ou seja, de forma renovável (VIANNA et al., 2000).

Muller (2005) cita que na década de 70 a biomassa foi considerada como alternativa viável para atendimento às demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte. No entanto, a partir de 1985 os preços do petróleo voltaram a cair, desencadeando desinteresse novamente por energias alternativas. Posteriormente, na década de 90, a biomassa ganhou destaque novamente no cenário energético mundial devido ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas de transformação, pela ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e pela incorporação definitiva da temática ambiental nas discussões sobre desenvolvimento sustentável.

A assinatura do Protocolo de Kyoto em 1997, quando ficou estabelecido que os países em desenvolvimento deveriam reduzir significativamente emissões de gases de efeito estufa foi um fator de destaque para aumento da utilização da biomassa, indicando que a participação de energias renováveis tende a ocupar uma posição de destaque na matriz energética mundial (MULLER, 2005).

Sempre existiu interesse na busca de novas formas de aproveitar a biomassa disponível, e o fator econômico tem um impacto maior ao analisar o processamento e utilização desta biomassa. O uso econômico da biomassa depende de pesquisas eficazes de coleta, carregamento e tecnologias de transporte, e principalmente do custo para utilizar este material, transformando-o em um produto de valor comercial mais elevado (BRAUNBECK et al., 2005).

Lizotte et al. (2009) encontraram em seu estudo quantidade de 6,4 a 8,3 toneladas de palha de milho por hectare após a colheita dos grãos, sendo que menos de 5% dessa palha é aproveitada para fins energéticos. Se não aproveitada, essa palha irá decompor-se e fará parte da matéria orgânica do solo.

Define-se como matéria orgânica, segundo Kiehl (1979), os materiais vegetais ou animais em fase de decomposição ou humificados que sofreram processo de decomposição biológica através de microrganismos. As principais fontes de matéria orgânica são as plantas, pela deposição de ramos, folhas e raízes encontrados em diferentes estádios de decomposição.

Os recursos mundiais de biomassa são abundantes, e existem várias técnicas para produzir energia de maneira economicamente eficiente, em vez das formas não comerciais utilizadas nos países mais pobres. Em cenários futuros haverá muitas vantagens em produzir energia proveniente da biomassa, principalmente quando as fontes de energia renováveis se tornarem competitivas em relação aos combustíveis fósseis, o que se espera ser possível por volta de 2020. No Brasil, a biomassa como fonte de energia possui vantagens significativas, principalmente por diversificar a matriz energética brasileira, por contribuir para um desenvolvimento sustentável do país, podendo colaborar para a garantia de suprimento de energia a comunidades isoladas, principalmente nas regiões norte e centro oeste do país e pelas vantagens ambientais (GENOVESE et al., 2006).

Porém, a biomassa desde que explorada com base em boas práticas agrícolas e ambientais, não é considerada responsável pelo aumento de dióxido de carbono

(CO₂) na atmosfera, pois todo o CO₂ que é liberado nos processos de transformação, corresponde ao que foi absorvido pela biomassa durante a fotossíntese (MOURA, 2005).

A utilização de biomassa na geração de energia é de grande interesse para o país, especialmente quando direcionado a usos como na geração de eletricidade, produção de vapor e combustíveis para transporte. O mais importante, independente da tecnologia empregada é a redução do custo da matéria prima, incluindo os custos de coleta e transporte (JANNUZZI, 2003). Há ainda o baixo custo de aquisição, liberação de resíduos menos agressivos ao meio ambiente, menor corrosão dos equipamentos, maior utilização de mão-de-obra e a redução das emissões de poluentes, uma vez que estes compostos apresentam balanço nulo de emissão de CO₂ (GRAUER; KAWANO, 2008).

Contudo, apesar das vantagens proporcionadas pela biomassa, deve-se tomar cuidado e realizar mais pesquisas na escolha do sistema de recolhimento de biomassa, que irá impactar diretamente no custo de aproveitamento energético deste material (CANTO et al., 2011).

2.3 Palhico de cana-de-açúcar

A colheita mecanizada, sem a queima do canavial é realidade no setor sucroalcooleiro, diminuindo a quantidade de solo contido nesta matéria-prima, porém aumenta a quantidade de resíduo vegetal, trazendo benefícios ao meio ambiente e à saúde do ser humano (RIPOLI e RIPOLI, 2004).

Este resíduo vegetal, remanescente da cultura canavieira e rico em energia, representa uma fonte alternativa para a cogeração de energia elétrica, agregando valor na agroindústria sucroalcooleira. Este material é definido como palhico, sendo constituído de palha, folhas verdes, ponteiros, terra e outros materiais vegetais (RIPOLI, 1991).

Diversos estudos foram desenvolvidos para definir o melhor sistema de recolhimento deste material para ser empregado na cogeração de energia, destacando-se os sistemas de recolhimento do palhico a granel utilizando colhedoras de forragem, recolhimento com enfardamento feito por enfardadoras cilíndricas e prismáticas, sistema de enfardamento por prensas algodoeiras, e colheita integral com as colhedoras operando com os sistemas de corte dos ponteiros e limpezas desligados (RIPOLI, 2001).

Para Ripoli et al. (2003), o sistema de recolhimento de palhiço a granel consome mais combustível pelas operações de enleiramento, de recolhimento propriamente dito, de transporte e de descarregamento, e com maior porcentagem de terra no material, afetando o teor de energia contida no palhiço, aumentando a compactação do solo, além de ocasionar problemas nos equipamentos.

No campo, os sistemas de recolhimento foram modelados por Sartori (2001) e seus custos valorizados por Ripoli et al. (2003), porém não se encontrou material que orientasse qual seria o menor custo do processamento do palhiço na unidade industrial recebido no pátio até a alimentação do sistema de cogeração misturado ao bagaço.

A denominação genérica e errônea para o resíduo da colheita de cana-de-açúcar, sem queima prévia, segundo Ripoli e Ripoli (2004), tem sido “palha”, quando o correto tecnicamente seria “palhiço”, porque tal material não se constitui apenas de folhas de cana-de-açúcar com baixo grau de umidade.

Para Ripoli (2001), esta matéria-prima desperta o interesse dos empresários, uma vez que o equivalente energético do palhiço está em torno de 1,2 barris de petróleo por tonelada de material. Esse palhiço é encontrado nos canaviais na ordem de 9 a 32 t ha⁻¹ com base em peso úmido. Ou seja, dependendo das condições da cultura, um hectare de canavial oferece entre 11 e 33 equivalentes barris de petróleo. Esta variabilidade é, segundo Sartori (2001), decorrente da variedade plantada, idade da planta e condições edafoclimáticas. Torresan (2003) também aponta que devem ser consideradas as diferenças metodológicas adotadas em cada experimento e também o tempo decorrido entre a colheita mecanizada e a coleta das amostras.

A manutenção da produtividade dos agroecossistemas depende do manejo dado ao solo, e dentre os principais aspectos a serem observados estão o processo de transformação da matéria orgânica e a atividade da biomassa microbiana (SUGUITANI et al., 2001).

A degradação de um material orgânico depende do tipo, qualidade e quantidade adicionada ao solo, podendo modificar a estrutura, capacidade de retenção de água, consistência, densidade, porosidade, aeração e condutividade elétrica do mesmo (FIGUEIREDO et al., 2000).

Desta forma, os acúmulos de palhiço por vários anos nas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, contribuem como fonte de matéria orgânica, servindo como alimento para os organismos ali presentes, proporcionando a manutenção da produtividade

da cultura (ORLANDO FILHO et al., 1998). Em relação à física do solo, em solos com maior cobertura vegetal ocorre maior capacidade de retenção de água, proporcionando maior manutenção de umidade, responsável por grande parte das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (ORLANDO FILHO et al., 1998).

Em contraponto, Timm (2002) concluiu que a troca da prática da queima da cultura de cana-de-açúcar antes da colheita para a prática de deixar o palhicho como cobertura vegetal da superfície do solo não afetou o escoamento superficial, o fluxo de água no solo no limite inferior do volume de solo em estudo e o armazenamento de água no solo. No mesmo estudo, o autor também concluiu que a presença da cobertura vegetal na superfície do solo, na cultura de cana-de-açúcar, pode reduzir as temperaturas médias na superfície do solo na ordem de 7°C, evitando picos de temperatura na superfície durante o período inicial da cana soca. A cobertura vegetal, contudo, afeta negativamente o desenvolvimento da cultura reduzindo o número de colmos e seu peso úmido, em torno de 13%.

Abramo Filho et al. (1993) estudaram os resíduos da colheita mecanizada de cana crua e encontraram uma camada de 8 a 10 cm de palhicho fazendo com que a temperatura do solo fosse 5°C mais baixa que a ambiente. Os autores comentam que as massas de resíduos resultantes da colheita da cana dependem de uma série de condições intrínsecas à colhedora, à cultura e ao manejo da mesma.

Uma maneira eficaz de evitar a erosão hídrica nas áreas agricultáveis é impedir o seu início utilizando técnicas que evitem o impacto direto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. Manter o solo coberto por meio de material orgânico, protegendo-o das intempéries, especialmente durante as reformas dos canaviais utilizando-se de adubação verde e de rotação com leguminosas, e adoção de sistema de preparo do solo onde se realiza o mínimo de operações mecanizadas e na época correta. O manejo conservacionista de solos viabiliza, tecnicamente, o preparo reduzido em áreas de cana-de-açúcar sem queima do palhicho e, ainda, propicia redução de custos da ordem de 30% quando comparado ao uso de grade e subsolador convencional (COPERSUCAR, 2001).

As atividades agrícolas alteram as propriedades que definem a qualidade do solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999; FREIXO et al., 2002). Mudanças no ambiente decorrentes de práticas de manejo inadequadas podem levar ao rápido declínio do estoque de matéria orgânica do solo em áreas tropicais e subtropicais. A manutenção da

matéria orgânica no solo é, portanto, fundamental para a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (MIELNICZUK et al., 2003).

Segundo Cerri et al. (1988), os efeitos da preservação dos restos de colheita dos canaviais, mostram que o sistema de colheita mecanizado sem queima, favorece o acúmulo de matéria orgânica e sequestro de carbono, mediante o retorno ao solo de resíduos da cultura que antes eram queimados, além de reduzir a emissão de gases CO₂ e CH₄ em comparação com o sistema de produção com a queima do palhicho.

Por outro lado, Carvalho (1996) afirma que apesar das visíveis vantagens quanto ao aspecto ambiental, grande quantidade de palhicho sobre o terreno de cultivo acaba por interferir e dificultar os tratos culturais pós-colheita.

Uma camada de palhicho sobre o solo contribui no controle de plantas daninhas, sendo que de 7,5 a 9,0 t MS.ha⁻¹ de palhicho, quando uniformemente distribuídas sobre o solo, foi suficiente para o controle de plantas daninhas. Nessas condições, a eficiência de controle foi considerada igual ou maior do que se consegue por meio de aplicações bem sucedidas de herbicidas (COPERSUCAR, 2001).

A utilização da cobertura verde ou morta dos restos vegetais no controle das plantas daninhas é atribuída não apenas à ação do impedimento físico da camada vegetal ou à impossibilidade da passagem de luz, prejudicando a germinação das sementes de outras plantas, mas também à alelopatia, definida como sendo qualquer efeito causado por uma planta ou microorganismos, que direta ou indiretamente é prejudicial a outro indivíduo por meio da liberação de compostos químicos ao ambiente (LORENZI, 1984). O autor também afirma que, por meio da ação alelopática, alguns centímetros de palha da cana impedem a germinação de tiririca, *Cyperus rotundus*.

Segundo Carvalho (1996), em áreas de colheita de cana crua, a brotação inicial da soqueira normalmente é retardada devido aos efeitos de sombreamento e barreira física ocasionados pela cobertura morta. Porém, decorrido o ciclo da cultura, a quantidade de perfilhos nestas áreas é praticamente a mesma de quando se cultiva o canavial de maneira tradicional.

2.4 Enfardamento de palhicho de cana-de-açúcar

No sistema de colheita de cana-de-açúcar sem queima prévia o palhicho é deixado no campo, e é enleirado por meio de ancinho enleirador, e compactado em

fardos cilíndricos ou prismáticos. Estes fardos são colocados em caminhões através de garras carregadoras e transportados para usina, onde são descarregados com a pá carregadora já existente no pátio (INOCENTE, 2011).

Segundo Magalhães & Braunbeck (2001), o palhiço apresenta uma baixa massa específica e, para diminuir os custos com transporte, sugerem que seja efetuado um adensamento, onde o volume inicial é reduzido aproximadamente 15 vezes. Segundo os autores, as tecnologias disponíveis para o adensamento são as enfardadoras de forragem cilíndricas e prismáticas.

Segundo Guerra et al. (2013), as enfardadoras são equipamentos utilizados para recolher e compactar capim, palha, feno ou restos culturais gerados pela prévia utilização de colhedoras mecanizadas. Os dois formatos de fardos podem ser amarrados por cordas de sisal, ráfia, telas sintéticas ou ainda, arames ou barbantes. Os fardos podem variar desde poucos quilos, propícios para o carregamento manual, até fardos de mais de 700 kg de peso.

Balastreire (1987) comentou que a mesma enfardadora usada para feno, também pode ser utilizada para enfardar outros materiais como o palhiço de cana-de-açúcar, compactando em média de 6,0 a 7,5 t h⁻¹, com massa específica de 170 kg m⁻³ e umidade entre 20 e 35%.

A Copersucar (2001) realizando estudos para avaliar a viabilidade de recolher o palhiço deixado no campo, após a colheita de cana crua, e ensaiando algumas enfardadoras, afirma que o enleiramento melhora a capacidade de enfardamento, reduz os danos ao mecanismo recolhedor, que pode trabalhar afastado do solo, e evita a propagação do fogo acidental. Também comparando os tipos de fardos, os resultados indicam que o sistema das enfardadoras de fardos prismáticos é o mais indicado, pois apresentam maior capacidade operacional, maior facilidade de operação com palha e pedaços de cana, e melhor ocupação do espaço da carroceria do caminhão no transporte dos fardos.

Para a realização de estudos sobre sistemas de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar é necessário a caracterização física dessa biomassa. Deve-se quantificar o palhiço recolhido, bem como determinar a quantidade de terra agregada ao material recolhido e o custo total do sistema de recolhimento (FRANCO, 2003).

Aguilar et al. (1989) realizaram uma pesquisa em Cuba com resíduos de cana-de-açúcar colhida sem queima prévia com o objetivo de usá-los para fins energéticos. Os resultados obtidos para os resíduos de cana-de-açúcar foram comparados

com os do bagaço, sendo encontrados 33,78% de umidade e 19,97 MJ kg⁻¹ de poder calorífico superior para os resíduos, enquanto que para o bagaço foram encontrados 47,98% de umidade e poder calorífico de 20,51 MJ kg⁻¹.

Torrezan (2003) analisou alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética em operações de enleiramento e enfardamento prismático de palhico de cana-de-açúcar colhida mecanicamente, sem queima prévia. A variedade de cana-de-açúcar foi a RB825336, plantada em espaçamento de 1,40 m, em seu terceiro corte. O palhico foi amostrado e analisado antes das operações de enleiramento e enfardamento, sendo obtido o poder calorífico superior de 18,43 MJ kg⁻¹ e inferior de 17,00 MJ kg⁻¹. O valor médio do potencial energético do palhico foi considerado em termos de equivalente barril de petróleo por hectare (EBP ha⁻¹), sendo da ordem de 55,4 EBP ha⁻¹. Foram realizados enleiramentos simples, duplo e triplo. O palhico foi enleirado por meio de ancinho enleirador e enfardado com enfardadora prismática para fenação. Verificou-se que houve aumento do teor de terra com enleiramentos sucessivos, sendo que o tratamento de enleiramento triplo apresentou em média 6,41% de terra nos fardos, enquanto que os tratamentos de enleiramento duplo e simples mostraram 6,31% e 5,71%, respectivamente.

A norma D497.7 da ASABE (2011) informa que a eficiência média de campo para enfardadoras de fardos grandes é de 65%, variando numa faixa de 55 a 75%, e a velocidade de campo dessas máquinas varia de 4,0 a 8,0 km h⁻¹, sendo a velocidade média na ordem de 6,0 km h⁻¹.

Molina Jr. et al. (1995) verificaram aspectos econômicos e operacionais para o enfardamento do palhico por meio de uma enfardadora de forragem, visando seu aproveitamento energético. A variedade da cana-de-açúcar foi a SP71-6163 em canaviais de 2º e 3º cortes. O palhico apresentou umidade média de 24% e poderes caloríficos superior (PCS) e inferior da ordem de 18,08 MJ kg⁻¹ e 16,66 MJ kg⁻¹. Em relação ao desempenho do conjunto trator-enfardadora foi verificado 1,11 t h⁻¹ de resíduo colhido e 0,26 ha h⁻¹ trabalhada. Os resíduos foram enfardados sem enleiramento prévio com a intenção de não contaminar os fardos com matéria mineral, porém este procedimento não foi eficiente obtendo-se 3,2% de terra. O custo da operação na época calculado, foi de R\$ 40,18 e R\$ 34,59 por tonelada de palhico recolhido, transformando os valores para moeda brasileira (R\$).

Furlani Neto et al. (1997) determinaram a energia disponível no palhico remanescente de cana-de-açúcar variedade SP71-1406, 4º corte, e SP71-6163, 3º

corte, colhida em canaviais com e sem queima prévia. Foram encontrados os poderes caloríficos, podendo concluir que a queima da cana-de-açúcar antes da colheita causou uma perda energética em termos de PCS de 96.830 MJ ha⁻¹ (39,2%) para a SP71-1406 e de 281.754 MJ ha⁻¹ (59,4%) para a SP71-6163.

De acordo com Michelazzo (2005), o aproveitamento do palhiço é dificultado devido ao seu alto custo de recolhimento. Assim, ele realizou uma análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento do palhiço da cana-de-açúcar desde a colheita até a entrega na esteira da usina e observou que o custo do transporte do palhiço diminuiu com o aumento da massa específica da carga transportada. A partir de cerca de 200 kg m⁻³ de massa específica, observa-se uma queda menos acentuada no custo. A aproximadamente 500 kg m⁻³, não se nota redução no custo de transporte. Contudo se o palhiço, a ser recolhido, for produzido longe da usina, os sistemas de enfardamento são os mais adequados.

Bizuti (2003) estudou parâmetros de desempenho operacional para o enleiramento e enfardamento cilíndrico do palhiço de cana-de-açúcar. Foram realizados enleiramento simples e duplo onde foi verificada a quantidade de solo nos fardos cilíndricos de acordo com o tipo de enleiramento, sendo 10,6% de solo para o tratamento com uma passada do enleirador e 8,1%, para o com duas passadas. O poder calorífico do palhiço foi de 18,4 MJ.kg⁻¹.

Ripoli (2002) determinou a umidade, o poder calorífico e o equivalente energético em barris de petróleo para o palhiço enfardado por enfardadora cilíndrica e prismática. A operação de enfardamento foi realizada dez dias após a colheita da cana-de-açúcar. A variedade da cana-de-açúcar foi a RB825336, de 3º corte, de 11 meses, com produtividade agrícola de colmos de 78 t ha⁻¹. A umidade dos fardos variou de 14,7 a 30,5%, e o seu equivalente energético estimado foi de 6,3 a 17,8 barris de petróleo por hectare.

Ripoli (2004) analisou a colheita integral da cana-de-açúcar e o enfardamento do palhiço residual da colheita convencional. A área de estudo foi um canavial sem queima prévia, colhido por sistema mecanizado, variedade de cana-de-açúcar SP80-1816 com espaçamento de plantio foi de 1,40 m. O palhiço no sistema de colheita integral apresentou umidade média de 48,6%, sendo 65,56% para as folhas verdes, 20,9% para as folhas secas e 78,1% para os ponteiros. A umidade e o teor de terra para o palhiço “in natura”, antes da operação de enleiramento foram de 16,6% e 2,9%, respectivamente. Para o palhiço

enfardado foi encontrada umidade média entre diversos tratamentos de 14,5%, teor de solo de 6,4% e poder calorífico útil de 7,6 MJ kg⁻¹.

Segundo Ripoli (2004), as variáveis fundamentais que definem o melhor sistema de recolhimento do palhiço são índice de solo, eficiência energética do sistema, e custo efetivo por equivalente energético do palhiço posto na usina, sendo os parâmetros que devem ser avaliados nos ensaios de campo.

De acordo com Nery (2000), os resultados da avaliação dos desempenhos operacional e econômico oferecem subsídios que auxiliam a tomada de decisão na implantação de sistemas de colheita.

2.5 Custos operacionais

Em um ensaio padronizado de recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar por enfardamento cilíndrico, Ripoli e Gamero (2007) analisaram duas enfardadoras cilíndricas e dois tipos de enleiradores, obtendo custos de enfardamento variando de R\$ 28,71 ha⁻¹ a R\$ 40,20 ha⁻¹.

Michelazzo e Braunbeck (2008) afirmaram que no sistema de fardo cilíndrico, o custo de amarração do fardo encarece o sistema, quando comparado com o sistema prismático. Isso ocorre principalmente pela quantidade de barbante utilizado, sendo cerca de 250 g por fardo, com valor unitário por volta de R\$ 9,00 kg⁻¹ na época. O custo apenas do barbante era cerca de R\$ 10,00 t⁻¹ de palhiço enfardado, representando quase 40% do custo total do enfardamento.

Em um estudo que analisa a quantidade de biomassa de resíduos de grãos pequenos disponíveis e sua expectativa de uso economicamente viável na Sérvia, feito por Zekic et al. (2010), o custo do enfardamento prismático obtido foi de R\$ 19,02 ton⁻¹, enquanto o enfardamento cilíndrico custou R\$ 19,45 ton⁻¹. Ao comparar ambos os custos de enfardamento e queima da biomassa com os custos gerados com a queima de carvão, o fardo prismático demonstrou-se 28% mais barato, enquanto o fardo cilíndrico foi, cerca de, 34% mais viável que o carvão.

Perea et al. (2012), no Brasil, avaliaram um sistema de enfardamento cilíndrico para recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar para fins energéticos, e obtiveram produtividade de 6,89 t ha⁻¹ e custo de recolhimento de palhiço em fardos cilíndricos de R\$ 62,97 t⁻¹.

A partir do planejamento e dimensionamento, a análise da viabilidade do modelo permite identificar as possibilidades econômicas decorrentes do investimento, permitindo assim tomadas de decisões de forma racional (OLIVEIRA, 2012).

Chavanne e Frangi (2011) relatam em seu trabalho, que tornar esses sistemas de aproveitamento energético da biomassa, viáveis, é complicado, visto que demanda um importante capital e altos custos operacionais, devido à grande necessidade de mão de obra especializada e aquisição de máquinas caras, aumentando o custo da matéria-prima.

Segundo Souza (2012), o reaproveitamento do palhiço em larga escala depende em linhas gerais da rota tecnológica utilizada para converter a energia bruta em energia disponível, da viabilidade técnica do seu recolhimento, da viabilidade técnica do seu processamento, da viabilidade econômica considerando todos os custos, investimentos necessários e receitas provenientes da conversão do palhiço em energia.

Rodriguez (2009) afirmou que a queima de palha para geração de energia elétrica, com o tempo, será importante não só para o incremento de rendas no setor sucroalcooleiro, mas também para a diversificação da matriz energética do Brasil.

O crescimento de capacidades futuras deve ser feito a partir da redefinição e automação de processos internos para aumentar a eficiência. Consideravelmente, a pesquisa permite investir na otimização de processos de colheita. Com a colheita em última etapa do ciclo de produção, os custos do produtor rural dependem diretamente da quantidade e qualidade do capital gerado por essas máquinas. Desse modo, a análise econômica do modelo de enfardamento de palhiço, derivado da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, mostra-se relevante ao atual contexto do setor sucroalcooleiro, sendo esse trabalho uma proposta de analisar tal sistema de recolhimento de palhiço (LENAERTS et al., 2012).

O conceito de eficiência econômica tem sido o ponto chave do desenvolvimento da teoria econômica, constituindo um critério básico utilizado pelos economistas para a escolha entre alocações alternativas de recursos dentro de um sistema econômico. Em linhas gerais, eficiência econômica significa que o sistema econômico está maximizando a utilização de seus recursos escassos ou minimizando os custos de suas atividades (CAVALCANTI, 1998).

Se economicamente viável, poderia levar o país a adotar, de forma mais expressiva, alternativas de geração de energia elétrica, que há vários anos as usinas

sucroalcooleiras estão utilizando, visando o suprimento próprio de energia elétrica e, mais recentemente, muitas delas já comercializam o excedente com as distribuidoras (NAGAOKA et al., 2003). Atualmente esse modelo de cogeração de energia é realidade.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de campo no município de Lençóis Paulista, interior do Estado de São Paulo, em propriedade rural que adota o enfardamento do palhiço de cana-de-açúcar como uma das atividades comerciais. O talhão utilizado no ensaio estava sendo cultivado com a variedade SP81-3250 de cana-de-açúcar em seu 4º corte mecanizado, espaçamento de plantio de 1,5 m, sendo a produtividade de colmos de 75 t ha⁻¹ no ano do trabalho, 2012 (Figura 1). A localização do talhão encontra-se nas proximidades do ponto geográfico Latitude 22,507265° S e Longitude 48,808233° W, com altitude de 600 metros e declividade máxima de 5%, sendo utilizado 7,5 hectares deste para o ensaio. O solo foi classificado, segundo dados da propriedade, como um Latossolo Vermelho Escuro, e a precipitação anual de 1200 mm no ano da avaliação.



Figura 1. Área utilizada para ensaio das enfardadoras. (Lençóis Paulista, 2014)

Na propriedade foi escolhida uma área considerada homogênea na distribuição de palhço de cana-de-açúcar, minimizando os erros no comparativo das máquinas. A área também era plana, sendo apta às operações mecanizadas, onde o palhço foi enleirado após sete dias da colheita da cana-de-açúcar (Figura 2).



Figura 2. Enleiramento do palhço de cana-de-açúcar na área do ensaio. (Lençóis Paulista, 2014)

3.1 Avaliação do desempenho operacional

Os ensaios foram realizados com base na norma D497.7 da ASABE (2011), consistindo na avaliação operacional de dois sistemas de enfardamento disponíveis de enfardadoras comerciais, cilíndricas (Figura 3) e prismáticas (Figura 4).

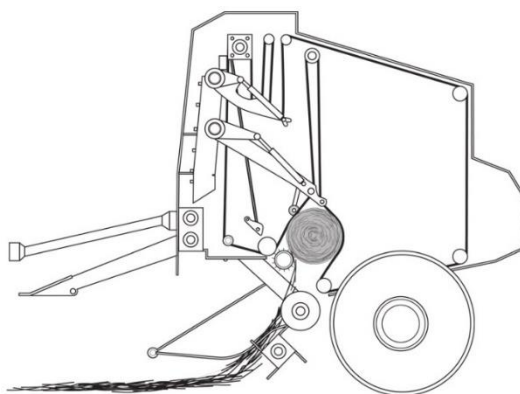


Figura 3. Esquema de enfardadora cilíndrica. (www.myfarmlife.com)

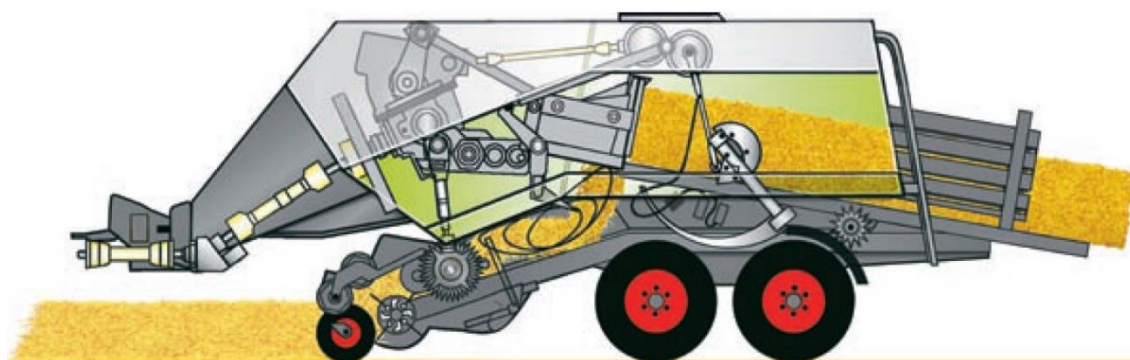


Figura 4. Esquema de enfardadora prismática. (CLAAS, 2012)

O trator utilizado no ensaio foi um Valtra BT190 com TDA (tração dianteira auxiliar), de 139,7 kW (190 cv) de potência no motor. A enfardadora cilíndrica utilizada foi a Vermeer modelo 605 Super M, com um eixo e câmara de compactação variável. A variação da câmara de compactação é permitida somente no diâmetro do fardo, sendo que para o ensaio foi fixado o valor de 1,20 m de diâmetro, com 1,60 m de largura (Figura 5). Essa enfardadora contém roletes em seu interior, e a medida que o palhido de cana-de-açúcar vai sendo recolhido, é compactado pelos roletes até atingir a compactação desejada, ajustada em um monitor no interior da cabine do trator. Após a câmara de compactação ser completamente preenchida, deve-se parar a alimentação da enfardadora, parando por completo o deslocamento do trator, e assim, o mecanismo amarrador do fardo entra em funcionamento. Quando o fardo é completamente amarrado, é liberado no campo.



Figura 5. Ensaio da enfardadora cilíndrica na área de ensaio. (Lençóis Paulista, 2014)

A enfardadora prismática utilizada foi a Challenger modelo LB34B, marca Valtra, com um eixo (Figura 6). Essa enfardadora difere da cilíndrica por não precisar parar a alimentação de palhico com a parada do trator, para realizar a amarração do fardo. O palhico é compactado continuamente por um êmbolo que realiza aproximadamente 45 golpes por minuto, havendo um sistema atador/amarrador que separa um fardo do outro, conforme o comprimento, que pode ser ajustado. O fardo tem altura e largura fixas, sendo 0,90, e 1,20 m, respectivamente. O comprimento do fardo adotado no ensaio foi fardos de 2,20 m de comprimento, sendo o padrão utilizado pela propriedade.



Figura 6. Ensaio da enfardadora prismática na área de ensaio. (Lençóis Paulista, 2014)

Foram coletadas cinco repetições para cada conjunto trator/enfardadora em delineamento inteiramente casualizado, onde cada repetição consistiu em tiros entre 2500 à 3000 metros, sendo totalizado seis horas máquina de observação em 10 unidades experimentais. Dentre os dados coletados, destaca-se o estudo de tempos e movimentos, sendo discriminado e contabilizado com o auxílio de um cronômetro, todos os tempos observados durante a operação do conjunto, como tempos gastos em manobras, paradas e tempos de operação. Dentre os tempos de operação, este divide-se em tempo efetivo de operação, tempo gasto para amarração do fardo, e tempo de descarregamento do mesmo.

O estudo de tempos e movimentos em conjunto com a mensuração do consumo de combustível, rastreamento das máquinas por aparelho GPS, e avaliações dos

fardos e áreas forneceram os demais dados necessários para os cálculos de capacidade de campo.

O consumo de combustível foi obtido através da metodologia citada por Fiorese et al. (2012), sendo mensurado o volume de combustível gasto a partir de dois fluxômetros instalados no sistema de alimentação do motor do trator. O primeiro é instalado entre os filtros de limpeza e a bomba injetora, sendo mensurado o volume de entrada de combustível para o motor. O segundo é instalado no retorno do sistema de alimentação do motor, combustível que não foi utilizado na combustão, e a partir da diferença entre esses dois valores, tem-se o volume de combustível gasto em determinado tempo. Com as informações de volume de combustível, de entrada e retorno, e tempo, foram calculados os consumos horários de combustível no ensaio.

Durante toda a coleta de dados de tempos e movimentos, o trator foi rastreado ponto a ponto a cada cinco segundos por aparelho com sistema GPS, modelo 60CSx da Garmin. Esse rastreamento permitiu o conhecimento exato da área trabalhada, bem como o monitoramento da velocidade de operação em todos os trechos da área (Figura 7).

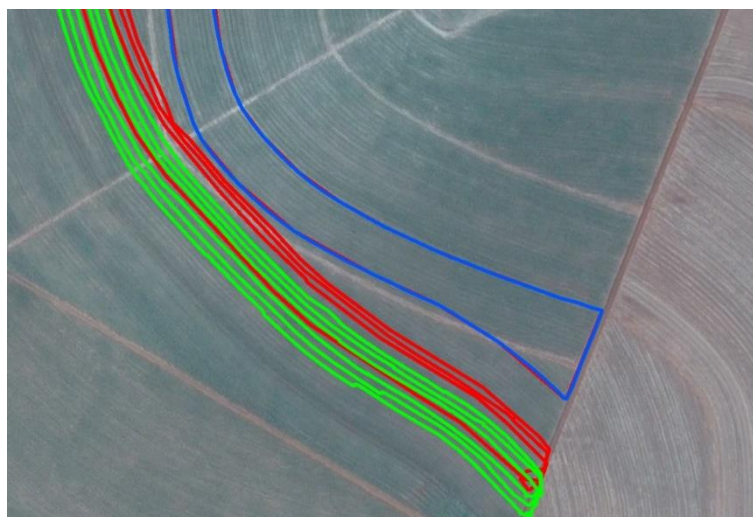


Figura 7. Exemplo de rastreamento do trator via GPS durante o ensaio (linhas representam trajetória do trator).

Na avaliação dos fardos, tem-se como parâmetros medidos, massa, volume, umidade de enfardamento e impureza mineral do fardo, sendo o volume obtido através da mensuração da altura, largura e comprimento do fardo através de fita métrica

graduada (Figura 8). A massa dos fardos foi obtida através de balança de plataforma com capacidade máxima de 10 toneladas, modelo Dina3 da Dinamica Generale, devidamente calibrada em laboratório.



Figura 8. Fardos cilíndrico (esquerda) e prismático (direita) avaliados. (Lençóis Paulista, 2014)

Os dados de umidade foram mensurados através do medidor digital de umidade Preagro 25 fabricado pela Farmcomp Agroeletronics, devidamente calibrado, que informava instantaneamente os valores de umidade dos fardos. O medidor consiste em uma haste de 50 centímetros que é inserida no fardo, calculando a umidade por condução elétrica entre dois pontos conhecidos na haste. Para os dados de umidade, cada repetição consistiu em uma amostra composta de 10 leituras de umidade, sendo realizada duas leituras por fardo.

Para cálculo da impureza mineral dos fardos foram coletados também cinco repetições, conforme o esquema descrito para umidade, sendo obtidos através de amostrador tipo “core sampler”, fabricado pela Scientific Systems Inc., acoplado à uma furadeira elétrica (Figura 9). O amostrador era inserido no fardo no sentido transversal, retirando cerca de 50 gramas de palhico. Coletadas as repetições, as amostras foram levadas ao laboratório, sendo a impureza mineral determinada pela queima completa dos constituintes orgânicos do palhico em mufla até calcinação (Figura 10).



Figura 9. Amostragem de impureza mineral nos fardos. (Lençóis Paulista, 2014)

O procedimento consistiu na homogeneização da amostra, transferência de 10 a 15 gramas de palhicho para um cadinho devidamente tarado, e inserção do mesmo em mufla com temperatura inicial de 100°C, sendo aumentada até 800°C e permanecendo nesta por duas horas. Após a queima completa, aguarda-se o resfriamento do cadinho, sendo a impureza mineral expressa pela Equação 1.

$$IM = \frac{(MF - T) * 100}{MI - T} - 1,38 \quad (1)$$

Onde:

IM : impureza mineral (%)

MF : massa final do cadinho, após queima (g)

T : tara do cadinho (g)

MI : massa inicial do cadinho, antes da queima (g)

O valor 1,38 refere-se ao percentual de cinzas padrão encontrado para palhicho de cana-de-açúcar, conhecido como “branco”, que deve ser descontado do valor final.

As avaliações da área consistiram na determinação da quantidade de palhicho existente antes do recolhimento do palhicho, após seu enleiramento, e na quantidade recolhida em fardos. Para a determinação do palhicho existente antes do início das operações, foi pesado todo o palhicho existente em uma área de 3 m², sendo representado por duas linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m, por 1 m de comprimento, corrigindo para base seca.



Figura 10. Amostras para determinação da impureza mineral. (Lençóis Paulista, 2014)

Para a determinação da quantidade de palhiço enleirada, após o enleiramento foi repetido o processo anterior, sendo o palhiço enleirado a diferença entre a primeira e segunda pesagem, isto é, antes e depois da operação de enleiramento (Figura 11). Já a quantidade de palhiço recolhida em fardos, foi obtida diretamente pela pesagem dos fardos amostrados, e com os números da quantidade de fardos por área, extrapolado os valores para toneladas de matéria seca enfardada por hectare.



Figura 11. Leiras na área de ensaio. (Lençóis Paulista, 2014)

Para comparação das enfardadoras, os dados foram tabulados com ajuda do programa Excel 2013 da Microsoft, e posteriormente foi realizada análise de variância para a comparação de médias (ANOVA) através do programa estatístico Sisvar para um nível de 5% de significância.

3.2 Custos operacionais

Os ensaios de desempenho operacional dos dois conjuntos de enfardadoras (Figura 12), forneceram as informações para os cálculos dos custos das operações, sendo realizados com base na norma EP496.3 da ASABE (2006). Os preços dos insumos utilizados foram obtidos com o produtor e o das máquinas com seus fabricantes e/ou representantes de venda.

Os custos foram calculados, segundo a metodologia citada, em custos fixos e variáveis, sendo calculados em custos fixos, a depreciação, juros, e taxas de abrigo e seguro. Para custos variáveis foram considerados consumo de combustível, consumo de óleos lubrificantes e filtros, custos de reparos e manutenção e operador.



Figura 12. Vista da área no final dos ensaios. (Lençóis Paulista, 2014)

Com as informações de volume de combustível, de entrada e retorno, e tempo, foi calculado o consumo horário de combustível e seu custo (CC), conforme Equação 2.

$$CC = \left(\frac{VE - VR}{TD} \right) * P * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (2)$$

Onde:

- CC : custo de combustível (R\$ ha⁻¹)
 VE : volume de entrada de combustível (L)
 VR : volume de retorno de combustível (L)
 TD : tempo decorrido entre leituras de VE e VR (h)
 P : preço do combustível (R\$ L⁻¹)
 CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

O custo de óleos lubrificantes e filtros, foi estimado em 15% do custo total de combustível, conforme Equação 3.

$$CO = CC * 0,15 \quad (3)$$

Onde:

- CO : custo de óleos lubrificantes e filtros (R\$ ha⁻¹)
 CC : custo de combustível (R\$ ha⁻¹)

Os custos acumulados de reparo e manutenção foram estimados em 10% ao ano do valor de aquisição para enfardadoras e 1% para trator, conforme Equação 4.

$$Crm = \left(\frac{Va * 0,1}{h} \right) * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (4)$$

Onde:

- Crm : custos acumulados de reparo e manutenção (R\$ ha⁻¹)
 Va : valor de aquisição da máquina nova (R\$)
 h : horas de uso anual da máquina
 CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

Para os custos com operador do trator foi considerado um turno de trabalho de nove horas, sendo o praticado nas propriedades que enfardam, e aproveitado somente seis horas de operação, horas efetivas de trabalho. Foram considerados 25 dias de trabalho em um mês, sendo o salário recebido pelo operador no valor de R\$ 900,00 mês⁻¹. Para cálculo, o salário mensal foi acrescido em 67%, sendo referente aos encargos sociais pagos pelo empregador, conforme a Equação 5.

$$Co = \frac{SMop * 1,67}{Htd * Dtm} * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (5)$$

Onde:

Co : custo do operador (R\$ ha⁻¹)

SMop : salário médio recebido pelo operador (R\$ mês⁻¹)

Htd : horas trabalhadas por dia

Dtm : dias trabalhados por mês

CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

O cálculo da depreciação é expresso pela Equação 6.

$$D = \frac{(Va - Vf)}{(Vu * h)} * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (6)$$

Onde:

D : depreciação (R\$ ha⁻¹)

Va : valor de aquisição da máquina nova (R\$)

Vf : valor final da máquina após o término da vida útil (R\$)

Vu : vida útil da máquina (anos)

h : horas de uso anual da máquina

CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

O cálculo dos juros é expresso pela Equação 7.

$$R = \frac{(Va + Vf)}{2} * r * \frac{1}{h} * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (7)$$

Onde:

- R : custo dos juros (R\$ ha⁻¹)
 Va : valor de aquisição da máquina nova (R\$)
 Vf : valor final da máquina após o término da vida útil (R\$)
 r : taxa utilizada (%)
 h : horas de uso anual da máquina
 CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

Os cálculos de abrigo e seguro são expressos pela mesma equação, representando, juntos, 1% do valor de aquisição da máquina nova, conforme Equação 8.

$$A = \frac{Va * r}{h} * \left(\frac{1}{CCE} \right) \quad (8)$$

Onde:

- A : custo de abrigo e seguro (R\$ ha⁻¹)
 Va : valor de aquisição da máquina nova (R\$)
 r : taxa aplicada (%)
 h : horas de uso anual da máquina
 CCE : capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹)

A vida útil para tratores agrícolas foi adotada como sendo de 10 anos, e cinco anos para as enfardadoras, segundo seus usuários. Foi considerado um uso anual de 2000 horas, tanto para trator como enfardadoras.

A taxa de juros empregada nos cálculos foi de 9% ao ano, sendo uma média dos juros usualmente praticados nos investimentos. Para valor final das máquinas, após o término da vida útil, foi considerado valor de sucata como sendo 10% do valor de aquisição da máquina nova.

Para comparação das enfardadoras, os dados foram tabulados com auxílio do programa Excel 2013 da Microsoft, e posteriormente foi realizada análise de variância para a comparação de médias através do programa estatístico Sisvar, para um nível de 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desempenho operacional

Na variável massa dos fardos observou-se maior valor para os fardos cilíndricos (Tabela 1). Esta variável deve ser relacionada com o volume dos fardos, sendo observado melhor para o comparativo, a partir dos valores de densidade do fardo (Tabela 2), que mostram o mesmo resultado favorável à enfardadora cilíndrica. Outra variável que deve ser observada é a maior velocidade constatada para a enfardadora cilíndrica, percorrendo maiores quantidades de leiras quando comparada com a prismática.

Nota-se que a maioria das variáveis da Tabela 1 não foram significativas, constatando o devido cuidado com a escolha da área de ensaio para as duas enfardadoras, conforme observa-se nos valores de biomassa encontrada no campo e nas leiras. Analisando a quantidade de biomassa no campo para as áreas do ensaio, juntamente com a distância entre os fardos compactados e impureza mineral, pode-se afirmar uma boa homogeneidade na distribuição do palhiço sobre o solo, bem como umidade e impureza mineral, devido aos baixos valores de coeficiente de variação observados.

A umidade de enfardamento está abaixo da encontrada nos trabalhos de Ripoli (2002) e Ripoli (2004), que encontraram valores acima de 14,5%, porém, o mesmo autor afirma ter encontrado umidade de até 30,5% durante seus trabalhos de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar.

Os resultados encontrados para impureza mineral deste trabalho estão próximos ao encontrado por Toressan (2003), que constatou a presença de 5,7% de

impurezas em seu ensaio de campo enfardando palhiço de cana-de-açúcar em enleiramento simples, como o deste trabalho. Comparado com o trabalho de Bizutti (2003), os resultados de impureza estão abaixo do seu, encontrando 10,6% de impurezas minerais, mostrando melhoria da qualidade de enfardamento deste trabalho.

Tabela 1. Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 1.

VARIÁVEIS AVALIADAS	CILÍNDRICA	PRISMÁTICA	C.V. (%)
Rotação do motor (rpm)	1980**	2030	0,7
Velocidade média (km h ⁻¹)	7,7**	4,9	2,1
Biomassa campo (t MS ha ⁻¹)	23,8	23,4	12,0
Biomassa enleirada (t MS ha ⁻¹)	15,4	15,5	10,5
Umidade no enfardamento (%)	13,5	13,5	13,8
Distância entre fardos (m)	89	83	6,0
Impureza mineral (%)	5,85	5,45	14,2
Massa do fardo (kg MS)	405**	325	4,3
Biomassa recolhida em fardos (t MS ha ⁻¹)	8,5	7,2	13,5

** = $P < 0,01$

As velocidades de trabalho das enfardadoras também estão de acordo com a norma D497.7 da ASABE (2011), que informa a velocidade de operação entre 4,0 e 8,0 km h⁻¹, sendo encontrado neste trabalho 4,9 e 7,7 km h⁻¹ para prismática e cilíndrica respectivamente.

A quantidade de palhiço recolhida em fardos não apresentou diferença significativa, e neste ensaio variou entre 7,2 e 8,5 t ha⁻¹, para prismática e cilíndrica, sendo superior ao encontrado no trabalho de Perea et al. (2012).

Por outro lado, a enfardadora prismática destaca-se no número de fardos efetivos por hora, capacidade de campo efetiva e rendimento efetivo (Tabela 2). Todas as variáveis favoráveis à enfardadora prismática do ensaio estão relacionadas com o fato desta não ter a obrigatoriedade de parar seu deslocamento para amarração do fardo e descarregamento do mesmo. Na enfardadora prismática a compactação do palhiço é contínua, havendo um sistema atador, composto de agulhas e mecanismos que fazem o nó do barbante no fardo. Já na enfardadora cilíndrica há a necessidade de completa parada do

conjunto. Somente após o conjunto não estar mais deslocando-se sobre o solo o sistema de amarração e consequente descarregamento são acionados.

Através dos rendimentos efetivo e operacional, pode-se observar melhor este comportamento. No rendimento efetivo a enfardadora prismática é mais eficiente pois não desperdiça tempo parada, mesmo a velocidade de operação da cilíndrica sendo superior que a prismática. Todavia, para o rendimento operacional o resultado desta variável muda, obtendo melhores valores para a cilíndrica. Isto pode ser explicado devido ao tempo de paradas para manutenção da enfardadora. Devido à complexidade da enfardadora prismática, quando esta necessita de manutenção por embuchamentos, ou quaisquer outros problemas, necessita de maior tempo parada. Sendo assim, seu rendimento operacional é menor quando comparado com a cilíndrica.

Tabela 2. Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 2.

VARIÁVEIS AVALIADAS	CILÍNDRICA	PRISMÁTICA	C.V. (%)
Enfardamento efetivo (fardos h ⁻¹)	39,6	53,6**	11,9
Enfardamento operacional (fardos h ⁻¹)	29,0	34,3	25,6
Número de fardos por área (fardos ha ⁻¹)	20,9	22,1	13,9
Densidade do fardo (kg MS m ⁻³)	164**	132	4,3
Barbante de amarração do fardo (kg t MS ⁻¹)	2,01	0,56**	5,8
Consumo de combustível (L t MS ⁻¹)	1,52	1,57	14,2
Capacidade de campo teórica (ha h ⁻¹)	4,68	3,36	-
Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹)	1,91	2,42**	4,0
Capacidade de campo operacional (ha h ⁻¹)	1,40	1,54	22,6
Rendimento efetivo (%)	40,8	72,0**	3,2
Rendimento operacional (%)	73,4	63,7	22,7

** = P < 0,01

O rendimento operacional de ambas enfardadoras estão de acordo com a norma D497.7 da ASABE (2011), que informa a eficiência deste tipo de máquina entre 55 e 75%.

Deve-se tomar cuidado na interpretação dos rendimentos bem como seu entendimento, pois mesmo o rendimento operacional sendo maior para a enfardadora cilíndrica, é a prismática que tem as melhores capacidades de campo efetiva e operacional.

Dentre os resultados obtidos, existe uma alternância entre qual enfardadora apresenta os melhores desempenhos. A partir desses resultados observa-se que a variável fundamental na análise das enfardadoras é a capacidade de enfardamento de biomassa por hora. Sendo assim foram calculadas as produtividades operacionais, que consideram todo o tempo durante o ensaio, e as produtividades efetivas, que levam em conta somente o tempo de trabalho das enfardadoras, não sendo observado diferenças significativas entre elas para este ensaio (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados operacionais do enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar com enfardadora cilíndrica e prismática – parte 3.

VARIÁVEIS AVALIADAS	CILÍNDRICA	PRISMÁTICA	C.V. (%)
Produtividade efetiva (tMS h ⁻¹)	16,0	17,4	10,6
Produtividade operacional (tMS h ⁻¹)	11,8	11,1	27,6

Analisando os dados de produtividade, ou seja, biomassa compactada por hora, os resultados encontrados neste trabalho estão acima dos encontrados por Balastreire (1987), que encontrou a produtividade das enfardadoras variando entre 6,0 e 7,5 tMS h⁻¹, com densidade de 170 kg m⁻³ e umidade entre 20 e 35%. A umidade de enfardamento deste trabalho foi de 13,5%, e a densidade dos fardos variou entre 132 e 164 kg m⁻³. Os menores valores de umidade e densidade, quando comparado com os resultados deste autor, justificam a maior produtividade encontrada, pois as enfardadoras gastam menor tempo comprimindo a biomassa, e esta tem menor resistência devido sua menor umidade, isto é, trabalham em maior velocidade, enfardando mais biomassa.

4.2 Custos operacionais

Através dos resultados de desempenhos operacionais das duas enfardadoras foram calculados os custos operacionais para os dois sistemas de enfardamento.

Os dados complementares para os cálculos das estimativas de custos operacionais foram obtidos com os fornecedores de máquinas e o produtor de cana-de-açúcar da área de ensaio. Para a enfardadora cilíndrica foi informado o custo de aquisição como sendo de R\$ 160.000,00, e para a prismática de R\$ 300.000,00. Para trator de 139,7 kW de potência, o custo de aquisição obtido foi de R\$ 200.000,00.

Sendo divididos em custos fixos e variáveis, conforme a norma EP496.3 da ASABE (2006), os resultados foram divididos, dentre os custos fixos e variáveis, em custos referentes ao trator e às enfardadoras (Tabelas de 4 a 7). Cada tabela apresenta detalhadamente cada subitem calculado para o custo total de enfardamento de palhico de cana-de-açúcar.

Não foram encontradas diferenças significativas para os custos fixos e variáveis referentes ao trator, apresentando valores semelhantes para ambas enfardadoras (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4. Custos fixos do trator na operação de enfardamento.

CUSTOS FIXOS TRATOR	CILÍNDRICA (R\$ tMS⁻¹)	PRISMÁTICA (R\$ tMS⁻¹)	C.V. (%)
Depreciação	R\$ 0,57	R\$ 0,52	10,7
Juros	R\$ 0,31	R\$ 0,29	10,1
Abrigo	R\$ 0,05	R\$ 0,04	12,2
Seguro	R\$ 0,02	R\$ 0,01	36,5
TOTAL	R\$ 0,94	R\$ 0,87	10,8

Tabela 5. Custos variáveis do trator na operação de enfardamento.

CUSTOS VARIÁVEIS TRATOR	CILÍNDRICA (R\$ tMS⁻¹)	PRISMÁTICA (R\$ tMS⁻¹)	C.V. (%)
Combustível	R\$ 2,80	R\$ 2,91	14,1
Lubrificante	R\$ 0,42	R\$ 0,44	14,3
Reparo e manutenção	R\$ 0,06	R\$ 0,06	9,7
Operador	R\$ 0,63	R\$ 0,58	10,7
TOTAL	R\$ 3,91	R\$ 3,98	13,5

Diferentemente dos custos referentes ao trator, foram encontradas diferenças significativas para todos os subitens calculados nos custos referentes às

enfardadoras (Tabelas 6 e 7). Para todos os subitens referentes às enfardadoras, os resultados são favoráveis à enfardadora cilíndrica, apresentando menor custo de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar.

Tabela 6. Custos fixos da enfardadora na operação de enfardamento.

CUSTOS FIXOS ENFARDADORA	CILÍNDRICA (R\$ tMS⁻¹)	PRISMÁTICA (R\$ tMS⁻¹)	C.V. (%)
Depreciação	R\$ 0,90**	R\$ 1,57	11,3
Juros	R\$ 0,25**	R\$ 0,43	11,2
Abrigo	R\$ 0,04**	R\$ 0,07	11,0
Seguro	R\$ 0,01**	R\$ 0,02	0,0
TOTAL	R\$ 1,20**	R\$ 2,09	11,2

** = P < 0,01

Tabela 7. Custos variáveis da enfardadora na operação de enfardamento.

CUSTOS VARIÁVEIS ENFARDADORA	CILÍNDRICA (R\$ tMS⁻¹)	PRISMÁTICA (R\$ tMS⁻¹)	C.V. (%)
Reparo e manutenção	R\$ 0,50**	R\$ 0,87	10,9
Sisal / ráfia	R\$ 7,03**	R\$ 8,11	5,2
TOTAL	R\$ 7,53**	R\$ 8,98	4,6

** = P < 0,01

A depreciação, tanto para o trator como para as enfardadoras, foram os subitens mais onerosos dentro dos custos fixos. Neste ensaio representou 60% do custo fixo dos tratores e 75% do custo fixo das enfardadoras, sendo o fator mais importante a ser observado nos custos fixos operacionais (Tabelas 4 e 6).

Nos custos variáveis dos tratores o fator mais importante é o custo do combustível, representando 72,4% dos custos variáveis dos tratores (Tabela 5). Nos custos variáveis das enfardadoras, destaca-se o custo com barbante para amarração do fardo, chamado de sisal para as enfardadoras cilíndricas e ráfia para as enfardadoras prismáticas. O custo de aquisição destes materiais foi encontrado como sendo R\$ 3,50 kg⁻¹ para sisal e R\$ 14,50 kg⁻¹ para a ráfia. Michelazzo e Braunbeck (2008) apresentaram em seu trabalho o

custo do sisal para amarração dos fardos cilíndricos era de R\$ 9,00 kg⁻¹, mostrando uma queda com o aumento da prática de enfardamento de biomassa.

Os custos dos barbantes de amarração representaram 93,3% e 90,3% dos custos variáveis das enfardadoras cilíndrica e prismática, respectivamente (Tabela 7). O custo de amarração variou entre R\$ 7,03 t⁻¹ e R\$ 8,11 t⁻¹, sendo menor ao encontrado por Michelazzo e Braunbeck (2008), que apresenta o valor de aproximadamente R\$ 10,00 t⁻¹.

Foi observado que houveram diferenças significativas nos custos fixos e variáveis para as enfardadoras à um nível de 5% de probabilidade. Foi observado diferença significativa e maior custo operacional para a enfardadora prismática, sendo 12,3% superior em relação ao custo operacional da enfardadora cilíndrica (Tabela 8). Logo, a enfardadora cilíndrica foi a que apresentou o menor custo de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar para este trabalho, R\$ 13,58 t⁻¹, sendo três vezes maior ao encontrado por Ripolli e Gamero (2007).

Zekic et al. (2010) também compararam enfardadoras em seu trabalho, obtendo os custos de R\$ 19,45 t⁻¹ e R\$ 19,02 t⁻¹ respectivamente para enfardadora cilíndrica e prismática. Nesse estudo, a enfardadora prismática apresentou menor custo de enfardamento, diferentemente dos resultados encontrados no presente trabalho. Porém as enfardadoras cilíndrica e prismática deste autor apresentam custos muito próximos, tendo diferença de R\$ 0,43 t⁻¹ enfardada.

Tabela 8. Custos totais de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar em Lençóis Paulista/SP, com enfardadora cilíndrica e prismática.

CUSTOS ESTIMADOS	CILÍNDRICA (R\$ t MS ⁻¹)	PRISMÁTICA (R\$ t MS ⁻¹)	C.V. (%)
Custo fixo - trator	R\$ 0,94	R\$ 0,87	10,8
Custo fixo - enfardadora	R\$ 1,20**	R\$ 2,09	11,2
Custo fixo total	R\$ 2,14**	R\$ 2,96	11,0
Custo variável - trator	R\$ 3,91	R\$ 3,98	13,5
Custo variável - enfardadora	R\$ 7,53**	R\$ 8,98	4,6
Custo variável total	R\$ 11,44**	R\$ 12,96	5,3
CUSTO TOTAL	R\$ 13,58**	R\$ 15,93	5,9

** = P < 0,01

Os custos variáveis em sua totalidade representaram 84,2% e 81,3% dos custos totais de enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar, sendo que o custo de amarração do fardo representou 51,8% e 50,9% do custo total de enfardamento para as enfardadoras cilíndrica e prismática, respectivamente. O custo de amarração é portanto, o fator mais oneroso no enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar, seguido do custo de combustível, representando 20,6% e 18,2%, respectivamente, do custo total de enfardamento.

5 CONCLUSÕES

- Não foram observadas diferenças nos desempenhos operacionais das enfardadoras cilíndrica e prismática ensaiadas;
- O custo total de enfardamento foi menor para a enfardadora cilíndrica;
- O custo de amarração dos fardos é o item mais oneroso na operação de enfardamento, seguido pelo custo com combustível.

REFERÊNCIAS

ABRAMO FILHO, J.; MATSUOCA, S.; SPERANDIO, M.L; MARCHETI, L. L. Resíduo da colheita mecanizada de cana crua. *Álcool & Açúcar*, Piracicaba, v. 67, n. 2, p. 23-25, 1993.

AGUILAR, A.; PENA, V.; FRIEDDMAN, P.B. La combustion de los residuos agrícolas de caña de azúcar. Parte I: características de los combustibles. Havana: Cuba Azúcar, 1989. 40 p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St. Joseph, Agricultural Machinery Management ASABE EP496.3. 2006.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE Standards. St. Joseph, Agricultural Machinery Management ASABE D497.7. 2011.

ANDRADE, L.A. B. Cultura da cana-de-açúcar. In: CARDOSO, M. das G. (Ed.). *Produção de aguardente de cana-de-açúcar*. 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2006. p. 25-67.

BALASTREIRE, L.A. Gerenciamento de operações agrícolas. In: BALASTREIRE, L. A. Máquinas agrícolas. São Paulo: Editora Manole, cap. 2, p.30-61, 1987.

BAYER, C.; MIELNICZUC, J. Dinâmicas e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, pág. 9-26, 1999.

BELZÁRIO, M.H. Mudança no estoque de carbono devido ao uso da terra no sudoeste da Amazônia. 2008. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BIZUTI, S.F.G. Enleiramento e enfardamento cilíndrico de palhço de cana-de-açúcar: alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética. 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

BLACKBURN, F. Sugar-cane. New York: Longman, 1984. 414p.

BRAUNBECK, O.; MACEDO, I.; CORTEZ, L.A.B. Modernizing Cane Production to Enhance the Biomass Base in Brazil. In: Realizing the Potential (Silveira S, ed.). Elsevier, pág. 75-94, 2005.

CANTO, J.L.; KLEPAC, J.; RUMMER, B.; SAVOIE, P.; SEIXAS, F. Evaluation of two round bailing systems for harvesting understory. Biomass and Bioenergy, v. 35, pág. 2163-2170, 2011.

CARVALHO, G.J. de. Análise da potencialidade autoalelopática de restos culturais da colheita de cana-de-açúcar. 1996. 72 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

CAVALCANTI, J. C. Eficiência versus equidade. Jornal do Commercio, Recife, 11 set. 1998. Disponível em: <http://www2.uol.com.br/JC/_1998/1109/ec1109h.htm>. Acesso em: 2 abr. 2013.

CERRI, C.C.; POLO, A.; ANDREUX, F.; LOBO, M.C.; EDUARDO, P.E. Resíduos orgânicos da agroindústria canavieira: 1. Características físicas e químicas. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v.6, n.3, p.34-37, jan./fev. 1988.

CHAVANNE, X.; FRANGI, J. -P. Comparison of the energy efficiency to produce agroethanol between various industries and processes: Synthesis. Biomass and Bioenergy, v.35, n.7, p. 2737-2754, 2011.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento da Safra Brasileira 2013/2014. Disponível em:< http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 03 set. 2014.

COOPERATIVA DE PRODUTORES DE CANA AÇÚCAR ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO LTDA - COPERSUCAR - PROJETO BRA/96/G31. Conservação do Solo. Cenbio Notícias, Brasília, v.4, n.12, 2001. Disponível em <http://www.cenbio.org.br/index1.htm>. Acesso em: 05 nov. 2001.

CORDEIRO, A. Etanol para alimentar carros ou comida para alimentar gente? In: PLATAFORMA BNDES. Impactos da indústria canavieira no Brasil: poluição atmosférica, ameaça a recursos hídricos, riscos para produção de alimentos, relações de trabalho atrasadas e proteção insuficiente à saúde de trabalhadores. [S.I.]: Instituto Brasileiro de Análises Sociais e Econômicas, 2008. Cap. 1, p. 9-22.

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. In: IV SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 1988, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Copersucar, 1988. p. 33-40.

DINARDO-MIRANDA, L.L. Pragas. In: DINARDO MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). Cana-de-açúcar. Campinas: Instituto Agrônomo, p.349-404. 2008.

ESTON, N. E. Etanol o combustível despolutente. Revista. AEA - Associação Brasileira de Energia Alternativa no. 3/4 v. 5 mai./jul. 1990.

FELLER, C.O. Encontro Internacional de Substâncias Húmicas em São Pedro-SP, IHSS
Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas. São Pedro-SP, 26 a 30 de julho de 2004.

FIGUEIREDO, L.H.A.; DIAS JÚNIOR, M.S.; FERREIRA, M.M. Teor de água crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Vermelho eutrófico. R. Bras. Ci. Solo, v.24, n.3, p.487- 493, 2000.

FIORESE, D.A., DALLMEYER, A.U., ROMANO, L.N., SCHLOSSER, J.F.,
 MACHADO, P.R.M. Desempenho de um motor agrícola em bancada dinamométrica com
 biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com com óleo diesel. *Ciência Rural*, Santa
 Maria, v.42, n.4, p.660-666, 2012.

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

FREIXO, A.A.; MACHADO, P.L.O.A.; GUIMARÃES, C.M.; SILVA, C.A.; FADIAGAS, F.S. Estoque de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. *Revista. Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 425-434, 2002.

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

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo, In: Congresso internacional sobre geração distribuída e energia no meio rural, 2006, Campinas. Disponível em: <<http://paginas.agr.unicamp.br/energia/agre2006/pdf/54.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2008.

GERMEK, H.A. Tecnologia e novos produtos, armas dos fabricantes de equipamentos no proálcool. p. 4 - 26, Revista do álcool, São Paulo set./out., ano 4, n. 31, 1985.

GRAUER, A.; KAWANO, M. Aproveitamento de resíduos para biomassa é rentável.

Revista da Madeira, n. 110, 2008. Disponível em:

<[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1203&subject=Biomassa&title=Aproveitamento de resíduos para biomassa é rentável](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1203&subject=Biomassa&title=Aproveitamento%20de%20res%C3%ADduos%20para%20biomassa%20%C3%A9%20rent%C3%A1vel)>. Acesso em: 10 mai. 2008.

GUERRA, S.P.S.; DENADAI, M.S.; TAKITANE, I.C. Biomassa: enfardadoras cilíndricas ou prismáticas? Revista Agriworld, n.12, p.100-102. 2013.

HUGOT, E. Manual para ingenieros azucareros. México: Continental, 7ª ed., 1984, 803 p.

INNOCENTE, A.F. Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar – estudo de caso. 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2011.

JAMES, G. Intoduction to sugarcane. In: JAMES, G. Sugarcane. Oxford: WileyBlackwell, 2003.p.1-19.

JANNUZZI, G.M. Uma avaliação das atividades recentes de P&D em energia renovável no Brasil e reflexões para o futuro. Energy Discussion Paper, Campinas, n. 2.64-01/03, p. 1-12, 2003.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 264 p.

KOBLITZ, L.O. Contra fatos não há argumentos. Jornal de Piracicaba. Caderno Opinião, 22 de jul. 2004.

LEITE, G.H.P. et al. Reguladores vegetais e qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em meio de safra. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 6, p.1843-1850, 2008.

LENAERTS, B.; MISSOTTENB, B.; BAERDEMAEKER, J.; SAEYS, W. LiDaR sensing to monitor straw output quality of a combine harvester. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.85, p. 40-44, jul. 2012.

LIZOTTE, P.L.; SAVOIE, P.; LEFSRUD, M.; OUELLET-PLAMONDON, C. Corn stover fractions during extended harvest. *ASAE Annual International Meeting*, Reno, jun. 2009. 13 pp.

LORENZI, H. Considerações sobre plantas daninhas no plantio direto. In: TORRADO, P.V.; RAPHAEL, A.R. *Plantio direto no Brasil*. Campinas: Fundação Cargill, 1984. cap. 2, p. 13-46.

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

MANTELATTO, P.E. Estudo do processo de cristalização de soluções impuras de sacarose de cana-de-açúcar por resfriamento. 2005. 272 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2005.

MARQUES, M.O.; MARQUES, T.A.; TASSO JÚNIOR, L.C. Tecnologia do açúcar. *Produção e industrialização da cana-de-açúcar*. Jaboticabal: Funep. 2001. p 166.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 83, p. 37-46, 2002.

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

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. Parâmetros técnico-econômicos do recolhimento do palhço por seis sistemas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.12, n.5, p.546-552, 2008.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNADES. F.F.; DEBARBA, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3, p. 209-248.

MOLINA JR, W. F.; RIPOLI, T.C.C.; GERALDI, R.N.; AMARAL, J.R. Aspectos econômicos e operacionais do enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar para aproveitamento energético. *STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos*, Piracicaba, v.13, n.5, p.28-31, maio/jun. 1995.

MOURA, C. Uma fonte de energia renovável. *Floresta e Ambiente*. 69: 34. 2005.

MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: [s.n.], 2006. p.11-18.

MULLER, M. D. Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

NAGAOKA, M. P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. & PINHEIRO, F. A. Análise da comercialização de energia elétrica cogerada pelo setor sucroalcooleiro no estado de São Paulo. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, vol. 41, n. 4, p. 759-778, 2003.

NERY, M.S. Desempenhos operacional e econômico de uma colhedora em cana crua. 2000. 108p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

OLIVEIRA, M.P. Dimensionamento operacional e econômico de um sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar: estudo de caso. 2012. 80p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

ORLANDO FILHO, J.; ZAMBELLO JUNIOR, E.; AGUJARO, R.; ROSSETO, A.J. Efeito do sistema de despalha (cana crua x cana queimada) sobre algumas propriedades do solo. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 16, n. 6, p. 30-33, jul./ago. 1998.

PEREA, L. A.; BIAGGIONI, M. A. M.; SERAPHIM, O. J. Avaliação de sistemas de manejo do palhicho de cana-de-açúcar no campo e na indústria. Revista Energia na Agricultura, v.27, n.1, p. 89-108, jan./mar. 2012.

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

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

RIPOLI, M. L. C.; GAMERO, C. A. Palhicho de cana-de-açúcar: ensaio padronizado de recolhimento por enfardamento cilíndrico. Revista Energia na Agricultura, Botucatu, v.22, n.1, p.75-93, 2007.

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

RIPOLI, T.C.C. Now it is the turn of palhicho. Idea News. November, year 1 - n. 3; Ribeirão Preto - SP, 2001.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M.L.C. Biomassa de cana-de-açúcar colheita, energia e ambiente. Barros e Marques Ed. ELET. Piracicaba, Cap. 2. 2004. 302p.

RIPOLI, T.C.C. Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) – Equacionamento dos balanços energético e econômico. 1991. 150p. Tese (Livre-Docência) – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RODRIGUES, D. J. Fisiologia da Cana-de-Açúcar. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Campus de Botucatu. Botucatu, 1995. p. 101,

RODRIGUEZ, M.F.C. Gerenciamento de coleta dos resíduos da cana-de-açúcar para geração e venda de eletricidade. 2009. 18p. Dissertação (Mestrado em planejamento de sistemas energéticos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

SARTORI, M.M.P. Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar. 2001. 134p. Tese (Doutorado em área de concentração Ciência Exatas e da Terra) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

SILVA, D.P. Thiametoxam em cana-de-açúcar manejada com maturadores. 2012. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

SOUZA, R. T. G. Análise da viabilidade técnica-econômica do uso de palhço, para fins de cogeração de energia, pela rota de colheita integral. 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

SUGUITANI, C.; GHELLER, A.C.A.; MENECHIN, S.P. Efeitos do sistema de colheita da cana-de-açúcar na biomassa microbiana do solo. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFSCAR, 7., 2001, São Carlos. Resumos... São Carlos: Universidade Federal de São Carlos. 2001. 1 CD-ROM.

TIMM, L.C. Efeito do manejo da palhiço da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo. 2002. 115 p. Tese (Doutorado em área de concentração Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

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

UNIÃO EUROPÉIA. Jornal Oficial da União Européia. Directiva 2003/30/CE do parlamento europeu e do conselho de 8 de maio de 2003 relativa à promoção da utilização de biocombustíveis ou de outros combustíveis renováveis nos transportes. 2003. 5p.

URIBE, R.A.M. Produtividade e estimativa de acúmulo da biomassa em soqueira de cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial com diferentes doses de N-Fertilizantes. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual de São Paulo, Faculdade de Ciências Agrárias, Botucatu, 2010.

VASCONCELOS, G. C. de et al. Energia lignocelulosica da biomassa: uma perspectiva sustentável. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. Revista Brasileira Agroecologia, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 1017-1020, 2007.

VIANNA, A.; VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V. Manual de aplicação de sistemas descentralizados de geração de energia elétrica para projetos de eletrificação rural – Energia Biomassa – versão 1. Rio de Janeiro: CEPEL, 2000. 41 p. (Relatório Técnico ADG-A / PER - 789/00).

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

ZEKIC, V.; RODIC, V.; JOVANOVIC, M. Potentials and economic viability of small grain residue use as a source of energy in Serbia. Biomass and Bioenergy, v.34, n.12, p.1789-1795, 2010.