Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Desempenho de uma enfardadora prismática no recolhimento de palhiço

Arthur Miola de Mello

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2009

Arthur Miola de Mello
Engenheiro Agrônomo

Desempenho de uma enfardadora prismática no recolhimento de palhiço

Orientador:
Prof. Dr. **TOMAZ CAETANO CANNAVAN RIPOLI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba
2009

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Mello, Arthur Miola de
Desempenho de uma enfardadora prismática no recolhimento de palhiço / Arthur Miola de Mello. - - Piracicaba, 2009.
89 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2009.
Bibliografia.

1. Balanço de energia 2. Cana-de-açúcar 3. Energia de Biomassa 4. Enfardadoras 5. Mecanização agricola 6. Resíduos agrícolas I. Título

CDD 633.61
M527d

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICO

Aos meus pais pelo amor, apoio, cobrança, paciência e confiança. E aos meus irmãos pelo incentivo.

OFEREÇO

À vó "Cuca", vô Ozias, vó Neusa, vô Arthur e "tia" Rose, pela preocupação e carinho.

À Luana pelo incentivo e amor.

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela saúde e oportunidade de realizar esse estudo.

Ao orientador e amigo Professor Titular Dr. Tomaz Caetano Cannavan Ripoli, pela sabedoria, oportunidade, sugestões e amizade.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” que através do PPG Máquinas Agrícolas concedeu a oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida durante a realização desse trabalho.

Aos amigos e professores Casimiro, Molin, Milan e Romanelli, pela sabedoria e instrução.

À Usina Iracema, pelo apoio, prontidão e infra-estrutura disponibilizada, sem as quais impossibilitaria esse estudo.

À Nogueira que disponibilizou equipamento e mão de obra nesse trabalho.

Aos funcionários e amigos: Chicão, Zé Geraldo, Juarez, Dona Lurdes e Dona Vera pelo apoio e amizade.

Aos amigos Guarda, Gargamel, Áureo e Casimiro pelo suor e ajuda para realização desse trabalho.

Aos amigos de pós graduação Mutuca, Rascunho, Tóia, Carletti, Lodo, Guarda, Fabrício, Pelóia, Zé Bigorna, Vara-Pau, Nerso, Flávia, Vitória, Geraldo Cebim, Daniel Janini, Rubén, Cassiano, Felipe, Guilherme, Luis Henrique, Vanderson e Wellington pela amizade, companheirismo, horas de salinha de estudo e descontrações.

Ao Beiçola pelo apoio e auxílios estatísticos.

Amigos Babuíno, Gabiroba, Da Lua, Gubernáculo, Patric, Miguel pelos momentos de descontração e pelos incontáveis churrascos que fizemos juntos.

A todos os moradores de ex-moradores da República Maracangalha, incluindo a Dona Elza, pela amizade, apoio e descontração.

À Érica Carvalho pelo apoio, compreensão e paciência.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente contribuíram para realização desse trabalho

SUMÁRIO

RESUMO 9
ABSTRACT 11
LISTA DE FIGURAS 13
LISTA DE TABELAS 15
1 INTRODUÇÃO 17
2 DESENVOLVIMENTO 19
2.1 Revisão bibliográfica 19
2.1.1 Importância econômica da cana-de-açúcar 19
2.1.2 Palhiço 20
2.1.3 Geração de energia por biomassa 24
2.1.4 Potencial energético da cana-de-açúcar e outras fontes de biomassa 28
2.1.5 Desempenho operacional de enfardamento de palhiço da cana-de-açúcar . 32
2.1.6 Recolhimento do palhiço 36
2.1.7 Terra contida no palhiço 41
2.1.8 Força de tração 43
2.2 Material e Métodos 46
2.2.1 Caracterização da área experimental 46
2.2.2 Tratores e Máquinas Utilizadas 46
2.2.2.1 Trator de marca New Holland, modelo TL90 46
2.2.2.2 Trator de marca Case, modelo MXM 135 47
2.2.2.3 Enfardadora Nogueira Express 5040 48
2.2.3 Material de mensuração 48
2.2.4 Amostragem de solo 49
2.2.5 Caracterização do palhiço 50
2.2.6 Caracterização dos tratamentos 50
2.2.7 Preparo dos tratamentos 50
2.2.8 Determinação da largura efetiva na operação de enfardamento 51
2.2.9 Determinação da força de tração exigida na barra de tração 51
2.2.10 Determinação do tempo médio para confecção de fardo e da velocidade média efetiva da operação de enfardamento 52
2.2.11 Determinação do consumo de combustível 52

2.2.12 Determinações dimensionais dos fardos.....52
2.2.13 Cálculo das capacidades de produção e de campo efetivas.....53
2.2.14 Estimativa de custos efetivos do enfardamento 53
2.2.15 Determinação da eficiência e do potencial energético da operação de enfardamento.....54
2.2.16 Determinação do ponto de ruptura dos fios de amarração.....54
2.2.17 Delineamento estatístico 55
2.3 Resultados e discussão.....56
2.3.1. Ensaio de tração.....56
2.3.2 Condição do Solo 66
2.3.3 Características do palhiço.....67
2.3.4 Características dos fardos 68
2.3.5. Capacidade efetiva 70
2.3.6 Desempenho econômico 73
2.3.7 Eficiência e potencial energético da operação de enfardamento 75
2.3.8 Ponto de ruptura dos fios que amarram os fardos 76
3 CONCLUSÕES 77
REFERÊNCIAS.....79

RESUMO

Desempenho de uma enfardadora prismática no recolhimento de palhiço

Um dos fatores que ainda retarda o uso do palhiço remanescente da colheita mecanizada para cogeração de energia é a falta de conhecimento de processos ou sistemas que viabilizem a retirada e transporte desse material até as unidades de cogeração. O objetivo desse trabalho foi estudar os desempenhos técnico, econômico e energético de uma enfardadora, em diferentes condições de distribuição de palhiço na superfície, buscando viabilizar o recolhimento do palhiço remanescente da colheita mecanizada. O ensaio foi realizado na Usina Iracema, município de Iracemápolis-SP, em área de cana-de-açúcar, colhida mecanicamente. A área foi dividida em três sub-áreas., com cinco repetições de 15 fardos cada. Os tratamentos utilizados foram: T1- palhiço "in natura", sem enleiramento; T2- palhiço com enleiramento simples; T3- palhiço com enleiramento duplo. As principais avaliações foram: força na barra de tração, potência, velocidade efetiva, consumo de combustível, capacidades de produção e de campo efetivas, custos efetivos para o enfardamento, eficiência energética do enfardamento e potencial energético do palhiço recolhido. Os resultados mostraram que a demanda de força na barra para tracionar a enfardadora não mostrou diferenças entre os tratamentos e variou de 344,21 a 369,43 kgf, a demanda de potência exigida para o deslocamento do conjunto foi baixa podendo, dessa forma, reservar a maior parcela para o acionamento da TDP. Houve diferenças significativas nas velocidades operacionais, com valor de 4,9 $km.h^{-1}$ no enfardamento sem enleiramento, 2,45 $km.h^{-1}$ no enfardamento com leiras simples e 1,73 $km.h^{-1}$ no enfardamento com enleiramento duplo. A capacidade de produção efetiva no tratamento T1 foi de 6,55 $t.h^{-1}$, 8,1 $t.h^{-1}$ no T2 e 5,81 $t.h^{-1}$ no T3. A capacidade de campo efetiva foi de 7,75 $t.ha^{-1}$ no T1; 9,2 $t.ha^{-1}$ no T2 e 7,54 $t.ha^{-1}$. O consumo horário de combustível no T1 foi de 7,86 $l.h^{-1}$, no T2 foi de 7,48 $l.h^{-1}$ e no T3 de 6,54 $l.h^{-1}$. O consumo por tonelada de palhiço recolhido foi menor no tratamento T2 (0,92 $l.t^{-1}$), seguido do T3 (1,13 $l.t^{-1}$) e do T1 (1,20 $l.t^{-1}$). O Tratamento T2 apresentou menor custo por tonelada de palhiço recolhido (7,45 $R\$.t^{-1}$), o custo no T1 foi de 9,33 $R\$.t^{-1}$ e no T3 foi de 10,49 $R\$.t^{-1}$. A eficiência energética da operação de enfardamento no T1 foi de 99,62%, no T2 foi de 99,71% e no T3 foi 99,64%. O potencial energético do palhiço recolhido no T1 foi 9,92 $EBP.ha^{-1}$, no T2 foi 11,77 $EBP.ha^{-1}$ e no T3 foi de 9,65 $EBP.ha^{-1}$. Diante dos resultados, pode concluir que: o enleiramento reduziu o teor de umidade do palhiço; a demanda de força de tração e de potência para tracionar a enfardadora foram pequenas; o sistema de recolhimento de palhiço em leiras simples apresentou melhor desempenho econômico e energético; por se tratar de uma enfardadora de baixa capacidade efetiva é inapropriada para operação em grandes áreas; considerando-se as inúmeras variáveis, intervenientes nos 3 tratamentos, entende-se que a melhor opção para o uso desta enfardadora é operação em área com enleiramento simples do palhiço.

Palavras-chave: Biomassa, Bioenergia; Custo de enfardamento; Balanço energético

ABSTRACT

Prismatic baling performance on sugar cane residue collect

One of the factors that still delay the use of the residue of sugar cane mechanical harvest for energy cogeneration is the lack of knowledge of processes or systems that allow the material's removal and transportation to the cogeneration's place. The objective of this research was study the performances technical, economic and energetic of a bailing, in different conditions of distribution of sugar cane residue on the surface, trying to make viable the collection of the remaining mechanized harvest. The test was realized at sugar cane mill Iracema, located in Iracemápolis-SP, in an area of sugar cane, mechanically harvested. The area was divided into three sub-areas, with five replicates of 15 bales each. The treatments were: T1-sugar cane residue "in natura", without row; T2-sugar cane residue with simple row; T3-sugar cane residue with double row. The main evaluations were: force on traction bar, power, effective speed, fuel consumption, capacity's production and effective's field, bailing's effectives costs, bailing's energetic efficiency and energetic potential of the sugar cane residue bailed. The results showed that the force demand on traction bar to pull the baler showed no differences between the treatments and ranged from 344.21 to 369.43 kgf, the power demand required for the displacement the tractor and the baler was low and, thus, reserve the largest portion to operate the PTO. There were significant differences in operating speeds, with a value of 4.9 $km.h^{-1}$ on baling without row, 2.45 $km.h^{-1}$ on baling with simple row and 1.73 $km.h^{-1}$ on baling with double row. The effective production capacity in the T1 was 6.55 $t.h^{-1}$, 8.1 $t.h^{-1}$ in T2 and 5.81 $t.h^{-1}$ in T3. The effective field capacity was 7.75 $t.ha^{-1}$ in T1, 9.2 $t.ha^{-1}$ in T2 and 7.54 $t.ha^{-1}$. The hourly consumption of fuel at T1 was 7.86 $l.h^{-1}$ in T2 was 7.48 $l.h^{-1}$ and T3 of 6.54 $l.h^{-1}$. The consumption per ton of sugar cane residue collected was lower in treatment T2 (0.92 $l.t^{-1}$), followed by T3 (1.13 $l.t^{-1}$) and T1 (1.20 $l.t^{-1}$). The treatment T2 had lower cost per ton of sugar cane residue baled (7.45.R$.$t^{-1}$), the cost in T1 was 9.33 R$.$t^{-1}$ and T3 was 10.49 R$.$t^{-1}$. The energetic efficiency of the baling operation in T1 was 99.62% at T2 was 99.71% and 99.64% in T3. The energetic potential of the sugar cane residue baled at T1 was 9.92 $EBP.ha^{-1}$ in T2 was 11.77 $EBP.ha^{-1}$ and T3 was 9.65 $EBP.ha^{-1}$. The results may conclude that: the row's operation reduced the sugar cane residue humidity, the demand of the traction force and power to pull the baler were small, the simple rows was the system that showed better performance and energy economic; the baler had a small effective capacity for this is inappropriate for large areas; considering the many variables that affects the treatments, understood that the best option for the use of this baler is operating in sugar cane residues areas with simple rows.

Keywords: Biomass; Bioenergy; Baling costs; Energy balance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Opções de sistemas de colheita e recolhimento de palhiço de cana- de-açúcar para geração de energia (Ripoli, 2002)..... 38

Figura 2 - Diagrama de Ishikawa com os principais fatores que influenciam a quantidade de terra em cana-de-açúcar (Sarriés, 1997)]..... 42

Figura 3 – (A) Trator New Holland TL 90 na operação de enleiramento do palhiço. (B) Trator New Holland TL 90 na operação de enfardamento. (C) Trator Case MXM 135 tracionando o conjunto na operação de enfardamento, nos teste de tração. (D) Visão frontal da enfardadora. (E) Visão traseira da enfardadora. (F) Ancinho enleirador utilizado para o enleiramento do palhiço..... 47

Figura 4 – (A) Coleta de amostra de terra para análise de umidade e granulométrica do solo. (B) Coleta de amostra de palhiço, utilizando o gabarito para delimitar a área amostrada. (C) Medição da distância entre as leiras. (D) Procedimento para mensuração do peso de cada fardo. 49

Figura 5 – (A) Esquema de operação enleiramento simples. (B) Esquema de operação de enleiramento duplo; LL = Largura da leira; LE = Largura da faixa de enleiramento..... 51

Figura 6 – (A) Amostras de fios de nylon e sisal. (B) Detalhe da fixação dos fios na máquina de tração. (C) Vista parcial da máquina de tração. 55

Figura 7 - (A) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T1. (B) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T2. (C) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T3. (D) Variação da força exercida na barra de tração no trator sem enfardadora. (E) Variação da força exercida na barra de tração no trator com enfardadora desligada..... 58

Figura 8 - (A) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T1. (B) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T2. (C) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T3. (D) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, para o trator sem enfardadora. (E) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no trator com enfardadora desligada. . 620

Figura 9 – (A) Variação da potência, no motor, no tratamento T1. (B) Variação da potência, no motor, no tratamento T2. (C) Variação da potência, no motor, no tratamento T3. (D) Variação da potência, no motor, no trator sem enfardadora. (E) Variação da potência, no motor, no trator com enfardadora desligada. 65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização dos constituintes da biomassa..... 27

Tabela 2 - Valores da energia da palha e outros combustíveis, em $MJ.kg^{-1}$..... 29

Tabela 3 - Valores médios de carbono (%), hidrogênio (%), umidade (%), poderes caloríficos superior, inferior e útil ($kcal.kg^{-1}$). 29

Tabela 4 - Determinação da energia contida no resíduo pós-colheita..... 30

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos, massas, massas específicas e quantidades de terra dos fardos médias e capacidades das enfardadoras..... 32

Tabela 6 - Desempenhos operacionais de enfardamento de resíduos de colheita. 34

Tabela 7 - Resultados obtidos com as enfardadoras Claas 1200 e Case 8575. 34

Tabela 8 - Desempenhos operacionais médios das operações de mecanização no recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar..... 35

Tabela 9 - Desempenho operacional de enfardadora de fardos retangulares e cilíndricos. 36

Tabela 10 - Força média na barra de tração, nos tratamentos T1, T2, T3, somente o trator e trator com enfardadora desligada. 59

Tabela 11 - Consumos horários médios de combustível e velocidade média de deslocamento, durante o ensaio de tração dos tratamentos T1, T2, T3, Trator e Trator + enfardadora desligada. 62

Tabela 12 - Potência média para tracionar o conjunto, tratamentos T1, T2, T3, somente o trator e o trator com a enfardadora desligada 66

Tabela 13 - Umidade percentual e análise granulométrica do solo na área experimental.66

Tabela 14 – Resultados médios de teores de umidade (U) e de terra agregada (T) no palhiço antes do enfardamento. 67

Tabela 15 – Resultados médios do teor de terra agregada (%) e de Umidade (%) contidos no palhiço enfardado. 68

Tabela 16 - Características dimensionais médias dos fardos nos três tratamentos. 69

Tabela 17 - Médias das distâncias entre os centros das leiras, desvio padrão das médias e coeficiente de variação, para os tratamentos T2 e T3. 70

Tabela 18 - Velocidade média de deslocamento, tempo para confecção por unidade de fardo, número de fardos confeccionados por hora, capacidade de produção efetiva, capacidade de campo efetiva e produtividade de enfardamento nos três tratamentos. 71

Tabela 19 - Consumo efetivo de combustível, nos três tratamentos. 72

Tabela 20 - Custo hora do trator e da enfardadora. 74

Tabela 21 - Custos do conjunto mecanizado. 74

Tabela 22 – Eficiência e potencial energético da operação de enfardamento 75

Tabela 23 – Resultados do teste de tração dos fios utilizados para amarrar os fardos ..76

1 INTRODUÇÃO

A cana de açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das gramíneas, de grande importância econômica, mais cultivada nas regiões tropicais. O Brasil é o maior produtor , responsável por 33% da produção mundial de cana-de-açúcar, com 32% da área plantada, também é o país com maior potencial de expansão.

Segundo relatório da Companhia de Nacional de Abastecimento - CONAB (2009), a área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar no Brasil em 2008 foi de 9.414.200 ha, com uma produção de 653.301.500 toneladas. Com relação à cana-de-açúcar destinada ao setor sucroalcooleiro a área plantada, no mesmo período, foi de 7.088.900 ha e a produção de 572.566.600 toneladas. Quase a totalidade dos resíduos da biomassa da cana-de-açúcar pode ser explorada para geração de energia, uma vez que a demanda energética no Brasil está em constante crescimento, em 2007 houve um aumento de 5,4 % no consumo de energia elétrica no país (EPE, 2008). Segundo a mesma bibliografia isto ocorreu devido ao crescimento do PIB e das atividades industriais no país.

O setor sucroalcooleiro é muito importante na produção de energia na forma de combustível líquido, porém pode expandir ainda mais sua importância no setor energético através da geração de energia elétrica. Algumas usinas já atuam nessa área, produzindo energia elétrica através da queima de bagaço, o que é chamado de cogeração.

Dados da DATACOGEN (2007), citados por Oliveira (2007), descrevem que o potencial técnico atual, de produção nacional de bioeletricidade, poderia atingir 8.000 MW (considerando o uso da palha) no período da safra 2005/2006. Descontando-se a demanda do setor (1.900 MW), teríamos 6.100 MW de energia elétrica excedentes, passíveis de serem comercializados com as distribuidoras.

Segundo Oliveira (2007) as vantagens da cogeração são: a geração de energia elétrica no período de seca na Região Sudeste; possibilidade de diversificação de produtos para o setor sucroalcooleiro; vantagens ambientais (não utilizar combustíveis fósseis como fonte de energia) e sociais, incluindo a geração de empregos na zona rural, aumento da arrecadação de impostos e pela dinamização do setor de bens de capital.

Apesar da safra de cana ser sazonal e a cogeração de energia acontecer apenas durante a colheita isso não se torna problema, pois o sistema energético brasileiro é basicamente hidroelétrico e a época de colheita da cana coincide com o período de seca, possibilitando às hidroelétricas armazenarem água nos reservatórios.

Para Ripoli (2001), esta matéria-prima desperta o interesse dos canavieiros, uma vez que o equivalente energético do palhiço é aproximadamente de 1,2 barris de petróleo por tonelada de material. Esse palhiço é encontrado nos canaviais na ordem de 9 a 32t.ha^{-1} com base em peso úmido. Portanto, dependendo das condições da cultura, um hectare de canavial oferece entre 11 e 33 equivalentes barris de petróleo.

Um dos fatores que ainda retarda o uso do palhiço, remanescente da colheita mecanizada, para geração de energia elétrica é a falta de conhecimento de processos ou sistemas que viabilizem economicamente a retirada e transporte desse material até as unidades de cogeração. Diversos métodos estão merecendo atenção da pesquisa e de produtores, dentre eles encontra-se o sistema que preconiza o enfardamento do palhiço para redução de volume no transporte.

A proposta desse trabalho foi estudar o desempenho técnico, econômico e energético, de uma enfardadora de fardos prismáticos, em três condições de distribuição de palhiço na superfície, objetivando viabilizar o recolhimento do palhiço remanescente da colheita mecanizada de cana-de-açúcar para fins de cogeração de energia.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão bibliográfica

2.1.1 Importância econômica da cana-de-açúcar

A cana de açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das gramíneas mais cultivadas nas regiões tropicais e subtropicais, onde o Brasil é o maior produtor mundial e o país com maior potencial de expansão. De acordo com a FAO (2009) o Brasil é responsável por 33% da produção mundial de cana-de-açúcar, com 32% da área plantada dessa cultura.

Segundo relatório da Companhia de Nacional de Abastecimento, CONAB (2009), a área ocupada pela cultura da cana-de-açúcar no Brasil em 2008 foi de 9.414.200 ha, com uma produção de 653.301.500 toneladas. Com relação a cana-de-açúcar destinada ao setor sucroalcooleiro a área plantada, no mesmo período, foi de 7.088.900 ha e a produção de 572.566.600 toneladas.

Braunbeck, Macedo e Cortez (2001) também afirmam que a cana-de-açúcar é uma das mais importantes fontes de biomassa no Brasil. Essa importância é em razão não somente pela sua utilização, como matéria-prima, na produção de etanol e no fornecimento de bagaço, mas também pela perspectiva do aproveitamento dos resíduos de sua colheita.

Goldemberg e Coelho (2000) afirmam que o Brasil tem um enorme potencial para geração de energia por meio do uso de resíduos agrícolas, principalmente por causa do setor canavieiro. Ressaltam que apesar da atividade neste setor ser sazonal e a cogeração de energia acontecer apenas durante a colheita, isso não se torna problema, pois o sistema energético brasileiro é basicamente hidroelétrico e a época de colheita da cana coincide com o período de seca, possibilitando às hidroelétricas armazenarem água nos reservatórios.

Este potencial pode ser observado de acordo com o levantamento idealizado no Fórum de Cogeração e Geração Distribuída (2001) o qual menciona que o potencial de geração com resíduos de cana (bagaço e palhiço) é de 10 GW. A energia totalizaria 60.000 $kWh \cdot ano^{-1}$, o que representaria 20 % da energia consumida no Brasil em 2000.

Entretanto, os autores concordam que estes estudos globais devem ser vistos com cautela, pois, devido às inúmeras variáveis envolvidas, tanto podem exagerar quanto subestimar esse potencial.

2.1.2 Palhiço

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 com baixo grau de umidade. Ripoli (1991) define o palhiço como sendo constituído e folhas verdes, palhas, ponteiros, colmos ou suas frações, rebolos ou suas frações, com terra a eles agregados.

Para Ripoli (2001), esta matéria-prima desperta o interesse dos canavieiros, uma vez que o equivalente energético do palhiço gira em torno de 1,2 barris de petróleo por tonelada de material. Esse palhiço é encontrado nos canaviais na ordem de 9 a 32t.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. Para Torresan (2003), essa variabilidade oriunda de fatores como as diferentes características das variedades utilizadas, as diferenças metodológicas adotadas em cada experimento e também o tempo decorrido entre a colheita mecanizada e a coleta das amostras.

Ripoli et al. (1990) afirma que o palhiço remanescente da colheita sem queima prévia ainda é pouco utilizado na co-geração de energia pelas usinas, devido, principalmente, a ausência de tecnologias que viabilizem o processo de retirada do campo e ao elevado custo de transporte, uma vez que ocupa grande volume, dependendo do sistema utilizado.

Segundo Suguitani et al. (2001), 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.

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.

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. Desta forma, Orlando Filho et al. (1998), afirmam que 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.

Em relação à física do solo, Orlando Filho et al. (1998) afirmam que 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. 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 palhiço como cobertura vegetal da superfície do solo não afetou nenhum dos seguintes componentes do balanço hídrico: escoamento superficial, 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 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, afetou 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 palhiço 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.

De acordo com COPERSUCAR (2001), estudos mostraram que a única 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. O autor recomenda 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 a 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 sem queimar com excesso de palhiço e, ainda, propicia redução de custos da ordem de 30% quando comparado ao uso de grade e subsolador convencional.

De acordo Bayer e Mielniczuk, (1999) e Freixo et al. (2002), as atividades agrícolas alteram as propriedades que definem a qualidade do solo. 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). Apesar disso, os estudos que abordam o efeito da longa duração de práticas conservacionistas de manejo sobre o estoque e, principalmente, sobre a qualidade da matéria orgânica do solo são relativamente escassos nas áreas tropicais.

Segundo Cerri et al. (2003) os poucos artigos, que relatam 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 (seqüestro de C) mediante o retorno ao solo de resíduos da cultura que antes eram queimados, além de reduzir a emissão de gases (CO_2, CH_4), em comparação com o sistema de produção com a queima do palhiço. Seja pelos problemas ambientais relacionados à queima, seja pela redução da necessidade de mão-de-obra em áreas mecanizadas, a expectativa é de que ocorra aumento significativo na área de colheita de cana crua.

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

A cana-de-açúcar é cultivada, atualmente, nas mais diversas condições de solo e clima, o que acaba determinando diferentes graus de competição entre a cultura e as plantas daninhas. A pressão de seleção neste agrossistema, segundo Christoffoleti (1997), leva a diminuição ou até mesmo a eliminação dos indivíduos mais vulneráveis. O autor afirma que as plantas daninhas crescem junto com a cultura, interferindo no desenvolvimento e manejo, reduzindo a produção pela competição por água, luz, gás carbônico, nutrientes e também pela inibição alelopática, além dos prejuízos ocasionados por pragas e doenças que utilizam as plantas daninhas como hospedeiras, antes de se alojarem nas culturas. Elevadas densidades de plantas daninhas desde as fases iniciais da cultura interferem na produtividade de maneira tão intensa que o controle se torna indispensável.

Lorenzi (1986) comenta que o controle das invasoras chega a representar 35 a 45% dos custos de implantação e condução do canavial.

Para Arevalo e Bertoncini (1999), o palhiço sobre a soqueira de cana-de-açúcar possibilita um melhor domínio das plantas daninhas, pois os resíduos da colheita chegam a controlar mais de 50% das espécies que infestam a cultura devido aos efeitos físicos e bioquímicos da palhiço sobre as plantas não desejadas.

Segundo a COPERSUCAR (2001), a quantidade de palhiço suficiente para um controle de plantas daninhas foi da ordem de 7,5 a 9,0t.ha^{-1} (matéria seca), quando uniformemente distribuídas sobre o solo. Nessas condições a eficiência de controle foi considerada igual ou maior do que a que se consegue por meio de aplicações bem sucedidas de herbicidas.

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 individuo, por meio da liberação de compostos químicos ao ambiente, Lorenzi (1984). O autor afirma que,por meio da ação alelopática, alguns centímetros de palha da cana impedem a germinação de tiririca (*Cyperus rotundus*).

Gomide (1993) comenta que o palhiço proporciona maior controle da plantas daninhas por liberar aleloquímicos, além de atuar como barreira física e impedir a incidência de luz inibindo suas emergências, sendo que o controle alelopático das plantas daninhas constitui uma opção a ser somada aos diversos tipos existentes, auxiliando inclusive na redução do uso de herbicidas e diminuindo os custos com o controle das mesmas.

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.

Avaliando os efeitos dos restos culturais da colheita de cana-de-açúcar na incidência de plantas daninhas e na produtividade da soqueira, Andrade et al. (1999), observaram que os resíduos triturados proporcionaram uma diminuição na quantidade de plantas infestantes.

A inibição alelopática pode manifestar-se tanto das plantas daninhas com relação à cana-de-açúcar como também ao contrário, já que alguns poucos centímetros de palha de cana são capazes de inibir a germinação de sementes de plantas daninhas, segundo Quintela (2001), que observou em estudo sobre controle de plantas daninhas e produtividade de cana crua no sistema integrado palhiço, herbicida e vinhaça, que nos tratamentos de cobertura com palhiço houve efeito de barreira física e alelopática no controle de grama seda, tiririca e braquiária.

2.1.3 Geração de energia por biomassa

Biomassa é definida por Wood e Hall (1995) como resíduos de origem orgânica que não foram fossilizados. White e Plaskett (1981) a definem como todo material orgânico que pode ser utilizado como combustível. De modo geral, ela pode ser obtida por meio de restos de colheitas e de exploração florestal, resíduos orgânicos de indústrias, entre outros. Segundo Stout (1984) a biomassa é toda matéria orgânica com a exceção dos combustíveis fósseis e para combustível inclui resíduos agrícolas,

culturas para uso como combustível, subprodutos do processamento de alimentos, resíduos florestais e lixo urbano.

De acordo com Rosillo-Calle, Bajay e Rothman (2000), após um longo período de esquecimento, ou talvez de negligência, a geração de energia através da biomassa está passando por um restabelecimento e o Brasil está tomando a vanguarda no avanço para a utilização da biomassa canavieira como fonte energética.

A prática da queimada nas áreas de cana-de-açúcar ocorre na época da colheita, de maio a novembro na região sudeste e de setembro a fevereiro na região nordeste do Brasil, causando problemas ambientais, conforme Ripoli et al. (1998). Os autores consideram, ainda, que se o palhiço não fosse queimado, este poderia melhorar as condições do solo, pois é uma boa fonte de matéria orgânica e nitrogênio.

A COPERSUCAR (1998b), estudando a geração de energia por biomassa (bagaço e palhiço de cana-de-açúcar), concluiu que a redução na queima de cana antes da colheita e a maior eficiência na produção de energia levam a uma redução significativa na emissão líquida de CO_2.

Estudando os impactos da geração de energia por biomassa, Santisirisoboom et al. (2001) concluiram que a biomassa tem um grande potencial na co-geração de energia elétrica em curto e médio período. Os autores propõem uma taxação no custo dos combustíveis com base na eliminação de CO_2 (US$ 7,50.t^{-1}) além de uma diminuição de 20% dos níveis atuais. Os autores concluem que, deste modo, a biomassa passa a ser competitiva com o os combustíveis fósseis.

Koopmans e Koppejan (1997) comentam que a biomassa é uma fonte importante de energia na maioria dos países asiáticos. Quantias significativas de madeira, carvão e outras fontes, tais como: resíduos agrícolas, esterco e folhas são usadas em aplicações domésticas e industriais e entre as aplicações domésticas principais estão cozinhar e aquecer. As aplicações industriais variam de processamento mineral como a fabricação de tijolos, azulejos e cerâmicas, processamento agrícola e alimentício, processamento de metais, tingimento de tecidos e outros. Além destas aplicações, os combustíveis de biomassa também são usados para co-geração de energia, por exemplo, o uso do bagaço na indústria de açúcar (vapor e eletricidade) e resíduos de palma de óleo (vapor e eletricidade).

Graham (1997) cita que a “bioenergia” de biomassa na Índia, com foco na zona rural onde vivem 844.106 habitantes (75% da população), supre todas as necessidades básicas, sem rompimento da produção de alimentos e sem impactos nos ecossistemas naturais.

Segundo Brito (1986), a biomassa pode constituir a base de um modelo de desenvolvimento tecnológico e industrial auto-sustentado, baseado em dados concretos da realidade regional e na integração do homem a um ambiente econômico em harmonia com seu ambiente, além de ser uma simples fonte de energia alternativa.

Em uma avaliação preliminar do potencial energético da cana, Walter (1993) considera que para cada tonelada de cana limpa tem-se 250 kg de biomassa na forma de pontas e folhas e 250 kg na forma de bagaço com 50% de umidade.

Molina Júnior (1991), Ripoli (1991); Tillman (1994) e Furlani Neto (1995) apresentaram resultados de diversas variedades de cana-de-açúcar, sobre a variabilidade espacial referente ao número de colmos industrializáveis por metro linear de fileira de plantio, no momento da operação de colheita: 7,2 a 10,9; 9,2 a 13,6: 7,0 a 16,0 e 10,1 a 12,3, respectivamente.

A COPERSUCAR (2001a) descreve que, embora o número de variedades cultivadas no país ultrapasse algumas dezenas, é razoável considerar que o índice de resíduos de colheita, em matéria seca, de 140 kg por tonelada de cana-de-açúcar seja representativo para a média das áreas de cana-de-açúcar nas diferentes regiões produtoras.

Em ensaio de enfardamento de resíduos de cana-de-açúcar, Molina Júnior (1991) recolheu, em média, 9,50 $t.ha^{-1}$ (matéria seca) e 12,55 $t.ha^{-1}$ (matéria úmida) de resíduos de colheita mecanizada.

Abramo Filho et al. (1993) estudaram os resíduos da colheita mecanizada de cana crua e encontraram 21,3 $t.ha^{-1}$ de palhiço com umidade de 22,34% , 6,92% de terra junto ao palhiço, 90% de matéria orgânica e 6,8% de cinzas.

Estudando três variedades de cana-de-açúcar Ripoli et al. (1990) concluíram que o palhiço varia de 17 a 31% em peso, em relação à quantidade de colmos industrializáveis, contidos no canavial. Molina Júnior et al. (1995) encontraram para

cana de segundo e terceiro cortes, no momento da colheita, valores de 33,85 (±9,83) $t.ha^{-1}$ de palhiço.

Ripoli et al. (1995), estudando o corte manual da cana crua, caracterizaram os constituintes das biomassas de duas variedades de cana-de-açúcar conforme a Tabela1.

Tabela 1 - Caracterização dos constituintes da biomassa

Características	SP71-1406		SP71-6163	
	Crua	Queimada	Crua	Queimada
Massa de ponteiros ($t.ha^{-1}$)	8,02	5,91	5,07	6,86
Massa de folhas verde ($t.ha^{-1}$)	16,87	10,26	12,64	10,50
Massa de palhas ($t.ha^{-1}$)	8,36	0,33	8,64	0,28
Indices de palhiço (%)	25,00	15,00	28,00	16,00

Fonte: Ripoli et al. (1995)

Sayigh (1999) comentou que a energia renovável é uma “commodity” como qualquer outra forma de energia e tem seu maior papel no encontro das necessidades globais de demanda de energia e no combate do perigo do aquecimento global. O autor comentou as previsões da “Shell International Petroleum Company” sobre o cenário do mercado de energia, que para o ano de 2060, o uso de energias renováveis no mundo poderá atingir 70% da energia utilizada, contra os 5% da época.

A combustão, segundo Jenkins et al. (1998), pode ser aplicada à biomassa integral ou à parte remanescente de processos de separação bioquímicos como a fermentação. A combustão da biomassa, ao contrário das estratégias bioquímicas ou termoquímicas, é essencialmente não seletiva e reduz o combustível a produtos simples. Tipicamente a biomassa é formada por 30-40% de oxigênio, 30-60% de carbono, 5-6% de hidrogênio, menos de 1% de nitrogênio, enxofre e cloro. Nas culturas anuais o potássio excede 1%.

Cock et al. (2000) em estudo de viabilidade técnica e econômica de geração de eletricidade a partir de resíduos de colheita de cana-de-açúcar crua, na Colômbia, concluíram que se os custos de recolhimento no campo e transporte para o local de

geração de eletricidade forem reduzidos para menos de US$ 8,00 por tonelada de resíduo, com umidade de 35%, a geração de eletricidade seria um excelente investimento. Os autores citam que a maioria das variedades de cana-de-açúcar cultivada na Colômbia produz mais de 30% de resíduos.

2.1.4 Potencial energético da cana-de-açúcar e outras fontes de biomassa

O poder calorífico tem sido freqüentemente usado como um coeficiente para a avaliação da importância econômica relativa dos diversos combustíveis. De acordo com Mialhe (1980), o poder calorífico é a quantidade de calor liberado por um combustível durante a sua combustão completa e que quando o combustível contém hidrogênio, um dos produtos da combustão é a água, que existirá nas formas líquida, vapor ou liquida mais vapor. Se a água for condensada, a bomba calorimétrica registra uma quantidade de calor maior do que se a água existisse na forma de vapor. Deste modo, distinguem-se os poderes caloríficos como:

- poder calorífico superior (PCS), quando a água é completamente condensada;
- poder calorífico inferior (PCI), quando a água, formada durante a combustão, existe inteiramente no estado de vapor.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984), através da norma NBR 8633, estabelece o poder calorífico superior como sendo o número de unidades de calor liberadas pela combustão de uma unidade de massa de uma substância, em bomba calorimétrica, em atmosfera de oxigênio, a volume constante e sob condições específicas, de modo que toda a água proveniente da combustão esteja no estado líquido.

Em estudo para avaliação da energia potencial da biomassa não industrializável de canaviais, Molina Júnior et al. (1995), encontraram para o palhiço de cana-de-açúcar, de segundo e terceiro cortes, os poderes caloríficos inferior e útil da ordem de 3.982,57+796,97 $kcal.kg^{-1}$ e 2.991,38+1096,08 $kcal.kg^{-1}$, o que confere a um hectare de canavial energia equivalente a até 19.202,52 litros de etanol ou a 7.626,53 litros de óleo diesel, ou a 67,08 t de madeira ou, ainda a 37,64 t de bagaço.

Os valores comparativos de poderes caloríficos de combustíveis, segundo Staniforth (1982), são encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores da energia da palha e outros combustíveis, em $MJ.kg^{-1}$

Materiais	Poderes caloríficos inferiores
Palha (15% de umidade)	15
Madeira (15% de umidade)	15
Carvão de boa qualidade	30
Óleo combustível	40 - 45

Fonte: Staniforth (1982)

Estudando o potencial energético de resíduos de colheita de cana crua Ripoli et al. (1991) determinaram, para cinco variedades de cana-de-açúcar, de segundo corte os dados (médios) apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de carbono (%), hidrogênio (%), umidade (%), poderes caloríficos superior, inferior e útil ($kcal.kg^{-1}$)

Variáveis	Ponteiros	Folhas Verdes	Palhas
Carbono (%)	42,11	43,41	41,76
Hidrogênio (%)	6,25	6,38	6,26
Umidade (%)	76,79	66,21	8,81
Poder calorífico superior ($kcal.kg^{-1}$)	4318,70	4400,60	4339,00
Poder calorífico inferior ($kcal.kg^{-1}$)	3981,40	4095,60	4001,40
Poder calorífico util (kcal.kg-1)	888,00	1344,80	3609,00

Fonte: Ripoli et al. (1991)

Segundo Koopmans e Koppejan (1997), os resíduos constituem a maior parte da produção total anual de biomassa e são uma importante fonte de energia tanto para uso doméstico como para propósitos industriais.

Cock et al. (2000) citam que os resíduos da maioria das variedades de cana cultivadas na Colômbia apresentam poder calorífico útil de 10.000 $kJ.kg^{-1}$ com umidade de 35%.

De acordo com Odum et al. (2002), citado por Torresan (2003), a quantidade de energia contida em um barril de petróleo é de cerca de 6,3 GJ.

Furlani Neto et al. (1997) determinaram que o potencial energético total de resíduo é uma função varietal, não dependendo de ser cana crua ou queimada. Os autores concluíram com base no índice total de energia que a queima do canavial promoveu uma perda energética de 39,2% para a variedade SP71-1406 e de 59,4% para as SP71-6363, conforme resultados obtidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Determinação da energia contida no resíduo pós-colheita

Variedades	Tipos	Resíduos (t)	PCS ($Mcal.t^{-1}$)	Energia ($Mcal.ha^{-1}$)	Índice total de energia (%)
SP71-1406	Cana crua	13.514	4.365	58.998	100
SP71-1406	Cana queimada	8.091	4.430	35.843	60,8
SP71-6363	Cana crua	24.316	4.660	113.312	100
SP71-6363	Cana queimada	10.250	4.485	45.971	40,6

Fonte: Furlani Neto et al. (1997)
Notas: CS = poder calorífico superior.

Pinto (1992), em estudos para o aproveitamento de bagaço e do palhiço de cana-de-açúcar em programas energéticos comunitários, concluiu que o Estado de São Paulo tem capacidade para geração de 2000MW e 3000MW no Brasil. O autor salienta que a co-geração nas usinas e destilarias é realizada no período da seca, quando o déficit de energia elétrica poderia ser suprido por termogeração.

Ripoli et al. (1998) estimaram que com uma área cultivada com cana-de-açúcar de 4,2.106 ha é possível produzir, a partir da biomassa, 213,3.106 Barris Equivalentes de Petróleo – $BEP.ano^{-1}$, sendo 82,6.106 $BEP.ano^{-1}$ de bagaço, 61,76.106 $BEP.ano^{-1}$ de álcool e 69,6.106 $BEP.ano^{-1}$ de palhiço.

Ripoli (2002) estudando o mapeamento de palhiço enfardado de cana-de-açúcar através de GPS, determinou o seu potencial energético, em termos de equivalente barril de petróleo ($EBP.ha^{-1}$), da ordem de 11,22 com desvio padrão de 1,45.

Ripoli (1991) estimou, no Estado de São Paulo, o equivalente energético do palhiço em equivalente barril de petróleo (EPB). O valor médio foi 30,89 $EPB.ha^{-1}$ de palhiço.

De acordo com Castro (2001), uma tonelada de cana produz cerca de 240 kg de bagaço e tem potencial para gerar 70 kWh, dos quais, 30 são utilizados na produção de açúcar e álcool. Se as 131 usinas e destilarias do Estado de São Paulo gerassem 40 kWh de energia elétrica excedente por tonelada de cana, a produção seria equivalente à de duas turbinas da Usina Hidrelétrica de Itaipu, ou seja, 1,5 GW. O autor ainda afirma que a região de Ribeirão Preto produz 900 mil hectares de cana, e se fosse utilizado todo o palhiço produzido, exclusivamente na geração de energia elétrica, o número de residências atendidas seria de 6,36 milhões.

Segundo Gopinath (1998) o potencial do palhiço de cana-de-açúcar como combustível em caldeiras tem sido discutido na Índia, com base em ensaios desenvolvidos nas cidades de Delhi e Chennai e nos ensaios realizados na Tailândia em 1989-90, onde esse material foi enfardado utilizando enfardadoras de feno. O palhiço enfardado pode ser armazenado por 6 meses sem nenhuma degradação apreciável.

Para Hobson et al. (1998), a conversão do bagaço e, possivelmente,do palhiço da cana-de-açúcar em gás, que pode ser queimado em uma turbina de ciclo combinado gás/vapor, oferece um aumento significativo da potência gerada pela indústria de açúcar. Para a indústria australiana de açúcar, a gaseificação do bagaço, somado a 66% do palhiço disponível, poderia gerar uma capacidade de energia excedente de 2600MW durante a safra e 3000MW durante a entressafra.

Os desperdícios de colheita são abundantes na Índia, de acordo com Shukla et al. (1995) e a disposição racional através de processos de decomposição naturais (em lugar de queima ineficiente) é necessária para evitar o agravamento, pela diminuição do material orgânico, da fertilidade do solo. O Instituto Nacional de Açúcar e Chemolimpex da Hungria desenvolveram um processo semi-úmido que produz biogás e bio-adubo por fermentação controlada de resíduos de cana-de-açúcar, bagaço, torta de filtro e cinza de caldeira. O biogás consiste, principalmente, em metano (55-60%), CO_2 (30-35%) e H_2 (5-10%). A eficiência energética, segundo os autores, é de mais de 85%, comparada com 60% do bagaço queimado. O rendimento de biogás é 200-350 $m3.t^{-1}$, e o valor calorífico total é 4-6 $Mcal.m^{-3}$.

2.1.5 Desempenho operacional de enfardamento de palhiço da cana-de-açúcar

Segundo Magalhães e Braunbeck (2001), citado por Torresan (2003), a palha seca apresenta uma baixa densidade 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 de êmbolos e as rotativas.

O enfardamento, segundo Srivastava et al. (1994), é o método mais popular de colheita de feno e que as mesmas máquinas são usadas para enfardamento de palha e outros materiais fibrosos.

A norma D497 da American Society of Agricultural Engineers (ASAE, 1992) diz que a eficiência 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 típica da ordem de 5,5 $km.h^{-1}$.

A COPERSUCAR, através do Projeto BRA/96/G31 (1998b), realizou estudos para avaliar viabilidade de recolher o palhiço deixado no campo após a colheita de cana crua e ensaiou algumas enfardadoras. As máquinas empregadas foram as enfardadoras Sode JS-90, Semeato ROL-1518 e New Holland NH-570. Os ensaios foram realizados de 2 a 3 dias após a colheita da cana crua. Os resultados dos ensaios de enfardamento encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos, massas, massas específicas e quantidades de terra dos fardos médias e capacidades das enfardadoras

Modelo das Enfardadoras	Enleiramento	Massa dos Fardos (kg)	Massas Específicas ($kg.m^{-3}$)	Quantidade de terra nos fardos (%)	Capacidade das enfardadoras ($t.h^{-1}$)
JS-90	Com	105,8	118,0	5,6	1,8
JS-90	Sem	119,3	129,3	2,8	2,0
ROL-1518	Com	285,4	94,7	6,2	2,7
ROL-1518	Sem	260,0	107,5	2,3	1,0
NH-570	Com	15,0	112,0	-	9,0

Fonte: COPERSUCAR (1998a)

Com base nos ensaios foram estabelecidas algumas observações sobre 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. Com respeito ao tipo de fardos, os resultados indicaram que o sistema das enfardadoras de fardos retangulares é o mais indicado, pois apresentam maior capacidade operacional; maior facilidade de operação com palhiço e pedaços de cana e melhor ocupação do espaço no transporte dos fardos.

De acordo com a COPERSUCAR (2001b), a eficiência de recolhimento de palhiço por enfardadora para a condição de recolhimento de duas ruas de palhiço sobre uma rua, em áreas de colheita de cana sem queimar, com palhiço deixado no solo, é de 84%.

O recolhimento de resíduo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar foi estudado por Molina Júnior (1991). Os resultados obtidos sobre desempenho operacional da enfardadora operando em área de palhiço não enleirado, segundo o autor, foram inferiores aos apresentados na bibliografia, devido às condições não ideais de enfardamento, sendo que o valor médio para a capacidade efetiva foi de 1,11 $t.h^{-1}$ e o consumo médio de combustível no enfardamento foi de 4,17 $L.t^{-1}$. O autor concluiu que a operação de enfardamento deve-se dar com o enleiramento do palhiço, uma vez que o não enleiramento mostrou-se ineficiente na tentativa de obter fardos com pequena quantidade de terra.

Molina Júnior et al. (1995) estudaram os aspectos econômicos e operacionais do enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar para aproveitamento energético sob duas condições de campo:

área A – canavial de primeiro corte e área;

área B-canavial de segundo corte;

os resultados obtidos de desempenhos operacionais são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Desempenhos operacionais de enfardamento de resíduos de colheita

Variáveis	Áreas		Médias
	A	B	
CCh ($l.h^{-1}$)	4,3 ± 0,9	4,4 ± 1,7	4,3 ± 1,2
CCT ($t.h^{-1}$)	1,26 ± 0,9	0,96 ± 0,3	1,11 ± 0,7
CCA ($ha.h^{-1}$)	0,28 ± 0,08	0,24 ± 0,04	0,26 ± 0,07
ECE ($Mcal.ha^{-1}$)	135,8 ± 51,1	162,2 ± 60,3	149,0 ± 0,07
EMR (Mcal.ha-1)	13728,5 ± 14441,9	1009,8 ± 3945,1	12869,1 ± 9569,06

Fonte: Molina Júnior (1995)
Notas: CCh=consumo horário de combustível da fonte de potência; CCA e CCT=desempenho operacional do conjunto; ECE=energia consumida pela fonte de potência na forma de combustível; EMR=equivalente em energia do resíduo enfardado.

Em ensaios realizados pela COPERSUCAR (1998a) com as enfardadoras Case 8575 e Claas Quadrant 1200 foram determinadas as capacidades efetivas das enfardadoras e as caracterizações ponderais e dimensionais dos fardos, conforme apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados obtidos com as enfardadoras Claas 1200 e Case 8575

Parâmetros	Enfardadoras	
	Class 1200	Case 8575
Massa média dos fardos (kg)	204,0	368,0
Dimensões dos fardos (m)	1,20 x 0,70 x 1,75	0,87 x 0,82 x 2,10
Massas específicas ($kg.m^{-3}$)	138,5	245,0
Umidade média do palhiço (%)	10,0	42,0
Capacidade efetivas ($t.h^{-1}$)	11,4	22,0
Capacidade efetivas, palhiço seco ($t.h^{-1}$)	10,1	12,7

Fonte: COPERSUCAR (1998a)

Estudando os resíduos da indústria canavieira, Cerri et al. (1988) encontraram teores de cinzas minerais de 3,4% no bagaço de cana-de-açúcar.

Ripoli (1991), trabalhando com palhiço remanescente de colheita sem queima prévia de duas variedades de cana-de-açúcar e utilizando quatro conjuntos mecanizados (colhedora de cana-de-açúcar, ancinho enleirador, carregadora de cana e carreta), obteve os desempenhos operacionais médios do ensaio de campo apresentados na Tabela 9. O autor cita também que, como resultados das operações de enleiramento e carregamento, 12,28% de terra foram carregados juntamente com o palhiço.

Tabela 8 - Desempenhos operacionais médios das operações de mecanização no recolhimento de palhiço de cana-de-açúcar

Operação	Variedades	
	SP70-1143	NA5679
Eleiramento		
Efetivo ($ha.h^{-1}$)	1,67	1,79
Operacional ($ha.h^{-1}$)	1,40	1,38
Consumo de Combustível ($l.h^{-1}$)	8,37	4,32
Consumo de Combustível ($l.t^{-1}$)	0,40	0,40
Carregamento		
Efetivo ($ha.h^{-1}$)	1,11	0,97
Efetivo ($t.h^{-1}$)	17,29	16,07
Operacional ($ha.h^{-1}$)	0,90	0,71
Operacional ($t.h^{-1}$)	14,15	11,97
Transporte		
Operacional ($t.h^{-1}$)	2,64	3,74

Fonte: Ripoli (1991)

Howe e Sreesankon (1990) citados por Molina Júnior (1991), obtiveram os resultados de desempenho de enfardadoras cilíndricas e prismáticas conforme apresentados na Tabela 9.

Ripoli (2002) estudando o mapeamento de palhiço enfardado de cana-de-açúcar e seu potencial energético concluiu que sua variabilidade espacial é muito grande e que requer muito cuidado nas amostragens de determinação de produtividade. O autor estudou o enfardamento cilíndrico e prismático dez dias após a colheita mecanizada de cana-de-açúcar, obtendo 42 fardos e como média geral de palhiço enfardado de 8,79 $t.ha^{-1}$, com coeficiente e variação de 30,03%. A umidade média do palhiço obtida foi de 22,58%, com desvio padrão de 9,85%.

Tabela 9 - Desempenho operacional de enfardadora de fardos retangulares e cilíndricos

Desempenho	Fardos Retangulares	Fardos Cilindricos
Capacidades Efetivas ($ha.h^{-1}$)	0,22	0,29
Capacidades Efetivas ($t.h^{-1}$)	2,21	2,49
Capacidades operacionais ($ha.h^{-1}$)	0,10	0,24
Capacidades operacionais ($t.h^{-1}$)	1,04	1,45
Massas médias/fardo (kg)	16,04	371,00
Massas específicas ($kg.m^{-3}$)	99,60	146,90
Resíduo colhido ($t.ha^{-1}$)	10,06	8,63
Nº total de fardos	123.905	7.360
Recolhimentos	78	71

Fonte: Howe e Sreesankon (1990), citados por Molina (1991)

2.1.6 Recolhimento do palhiço

As principais interrogações, segundo Ripoli (2001), quanto aos sistemas a serem adotados para retirar o palhiço do campo, podem ser resumidas a: quantidade de material mineral no palhiço; distribuição do palhiço na área colhida e densidade muito variável desse material, dependendo do sistema de recolhimento e transporte a ser utilizado; custo de manipulação no campo e transporte; variabilidade do tamanho e umidade dos constituintes do material; armazenamento (deterioração, incêndio); gerenciamento do sistema; preparo, alimentação e combustão nas caldeiras; balanço energético e econômico do sistema a ser adotado. Diz, ainda, que as respostas a tais

questionamentos somente serão obtidas por meio de estudos profundos, embasados em análises de “riscos e oportunidades” com suporte estatístico. Uma situação, altamente desejável, é a implementação de estudos, sob mesmas condições de campo, operacionais e gerenciais, com equipes multidisciplinares e sob o rigor, não apenas técnico, mas também científico.

Ripoli et al. (2003), ao avaliarem a eficiência energética (%) do palhiço recolhido em três diferentes sistemas, obtiveram valores de 99,22% para a colheita integral, 96,41% para o palhiço colhido a granel e 91,45% para o palhiço enfardado. Afirmam também que, estudos em desenvolvimento por usinas e órgãos de pesquisa oficiais e privados estão centrados nas seguintes opções de recolhimento do palhiço: a granel, por meio de colhedoras de forragens; enfardamento prismático ou cilíndrico; enfardamento por meio de prensas algodoeiras e colheita de cana integral, com as colhedoras operando com os sistemas de limpeza desligados.

Na Figura1 é possível observar as etapas e opções dos diferentes sistemas de colheita e manipulação de palhiço, segundo Ripoli (2002).

O recolhimento do palhiço pode ser realizado de varias formas, entre elas, utilizandose de máquinas enfardadoras. Uma pesquisa foi conduzida pelo Office of Energy Bureau of Science and Tachnology & Usaid/Thailand (1991) na Tailândia, durante uma safra inteira de cana, com colheita manual sem queima, determinou os custos do recolhimento do palhiço. A pesquisa compreendeu do uso de máquinas de forragem, tais como enfardadoras e enleiradoras, adaptadas para o uso em palhiço. Após a colheita o palhiço permaneceu na área entre dois a seis dias para secar e depois foi enleirado e enfardado. A umidade ficou por volta de 10%. Para uma distância de transporte de 10 km o custo total chegou a 32,75 US$·Mg^{-1} e, segundo os autores, podendo ser reduzido a próximo de 25,00 US$·Mg^{-1}. A eficiência operacional recolhimento chegou a 64%. O custo das cordas de amarração dos fardos foi de 2,80 US$·Mg^{-1}. O formato dos fardos era prismático com dimensões de 40x45x81 cm, pesando 16 kg em média, o que resulta em aproximadamente 100 kg·m^{-3} de massa específica.

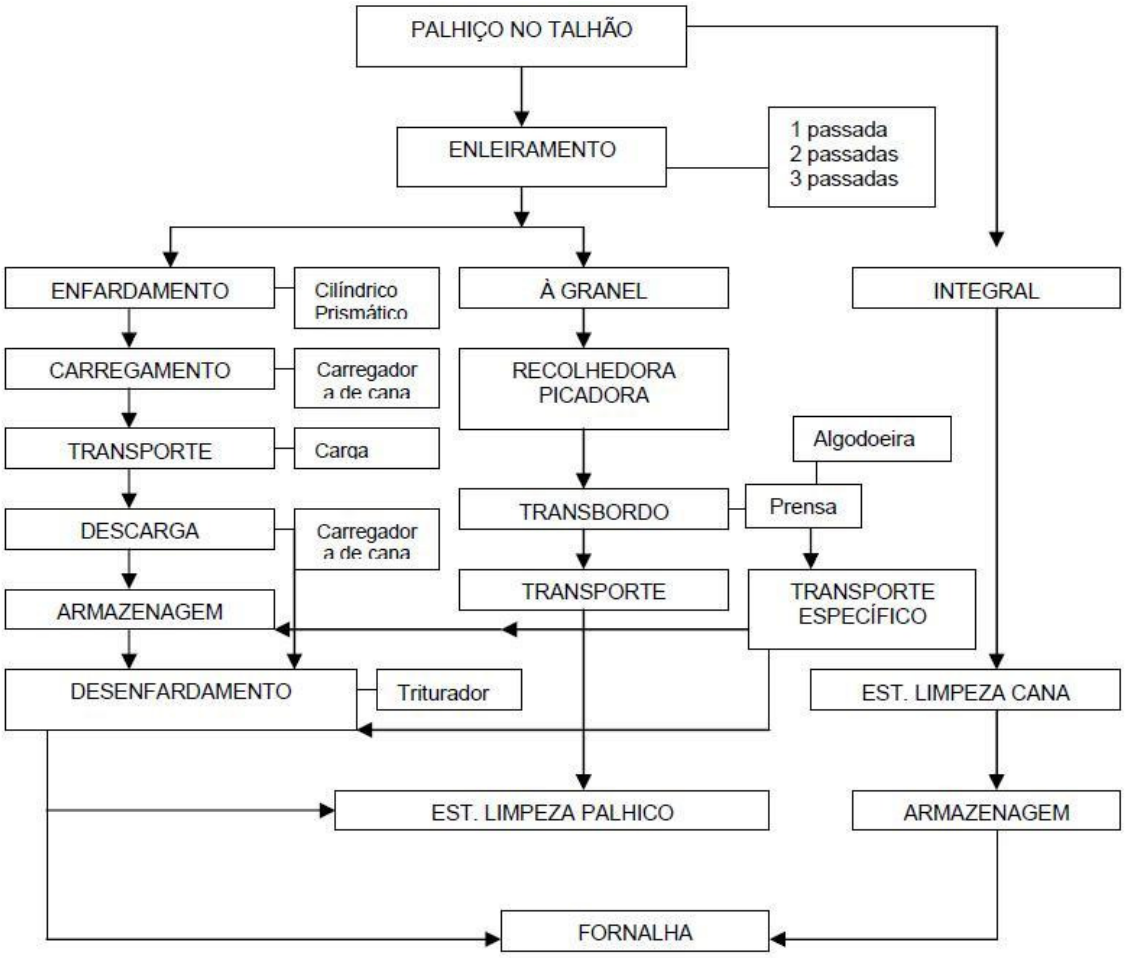


Figura 1 - Opções de sistemas de colheita e recolhimento de palhiço de cana- de-açúcar para geração de energia (Ripoli, 2002)

Moraes e Hassuani (1994) estudaram enfardadoras de fardo cilíndrico e de fardos prismáticos pequenos (15 kg·fardo^{-1}) para recolhimento do palhiço. A capacidade operacional efetiva de recolhimento foi em torno de 2 Mg·h^{-1} e 4 Mg·h^{-1}, respectivamente. A quantidade de terra encontrada nos fardos situou-se em torno de 6%.

Estudando o desempenho operacional de uma enfardadora de forragem (fardos cilíndricos) no recolhimento de resíduos da colheita manual de cana sem queimar, efetuando-se desponte e eliminando folhas verdes e palha, de maneira semelhante à produção de mudas Ripoli et al. (1991) observaram 26,77 Mg·ha^{-1} de resíduos no solo, capacidade operacional de 2,89 Mg·h^{-1} ou 0,61 ha·h^{-1}, massa específica dos fardos de 184,06 kg·cm^{-3} e 43% de umidade.

Molina et al. (1995) comenta que o desempenho de uma enfardadora de forragem no enfardamento de palhiço de cana-de-açúcar, sem queima prévia, foi de 1,11 $Mg \cdot h^{-1}$ de resíduo recolhido ou 0,26 $ha \cdot h^{-1}$ trabalhado, com eficiência de recolhimento de 34% e umidade dos resíduos de 24% em média. Os fardos obtidos apresentaram massa específica de 189,6 $kg \cdot m^{-3}$. A massa de resíduos existente no campo após a colheita encontrada foi de 12,55 $Mg \cdot ha^{-1}$. O custo relatado foi de 16,70 $US\$ \cdot Mg^{-1}$, ressaltando que os resíduos não foram enleirados e não foram computados os custos de transporte. O fato do não enleiramento do resíduo mostrou-se ineficiente na tentativa de obter fardos com pequena contaminação com terra. Segundo os autores, os resultados obtidos não deixam dúvidas quanto à possibilidade da utilização dos resíduos de colheita de cana como combustível para geração de energia elétrica, em substituição ao bagaço que poderia ser briquetado para ser utilizado para outros fins, como materiais de revestimento ou aglomerados para construção de móveis.

Analisando a viabilidade de se recolher palhiço, a Copersucar (1999) realizou vários estudos, que indicaram que o uso de fardos grandes e prismáticos (massa específica de 170 $kg \cdot m^{-3}$), leva aos melhores resultados econômicos no recolhimento da palha. Isso decorre da maior capacidade operacional das enfardadoras e da melhor ocupação do volume no transporte. Em um dos estudos, as capacidades das enfardadoras Class Quadrant 1200 e Case 8575 foram: 10,2 $Mg \cdot h^{-1}$ e 12,7 $Mg \cdot h^{-1}$, respectivamente. Em outro estudo foi utilizada uma enfardadora SODE JS-90 com capacidade de 2 $Mg \cdot h^{-1}$, com enleiramento, cujo custo alcançou 19,80 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ de palhiço. A composição desse custo total foi: 1,30 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ relativo ao enleiramento; 9,60 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ relacionado à enfardadora; 1,80 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ à corda de amarração do fardo; 2,40 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ ao carregamento dos fardos e 4,70 $US\$ \cdot Mg^{-1}$ ao transporte. A quantidade de terra encontrada nos fardos situou-se próximo de 6%, quando se realizou enleiramento prévio.

Após fazer um mapeamento do palhiço recolhido, utilizando conceitos da Agricultura de Precisão, Ripoli (2002) verificou que a quantidade de palhiço enfardado sobre a área variou de 4,5 a 15 $Mg.ha^{-1}$. Utilizou-se uma enfardadora de fardos prismáticos e cilíndricos, cujas massas específicas determinadas foram de 218,4 $kg.m^{-3}$ e 166,5 $kg.m^{-3}$, respectivamente.

O recolhimento do palhiço por meio de uma enfardadora cilíndrica foi estudado por Bizuti (2003) sob ponto de vista operacional e energético. Neste estudo, utilizou-se a enleiradora com uma e duas passadas, objetivando verificar também a menor contaminação por terra. Segundo o autor, a produtividade média de palhiço foi de 27Mg·ha^{-1}, apresentando poder calorífico de 18,4 MJ.kg^{-1}. A massa específica média dos fardos foi de 168,3 kg.m^{-3}, quando a enleiradora passou apenas uma vez, e 191,6kg.m^{-3}, quando a enleiradora passou duas vezes. No caso da enfardadora, a capacidade efetiva apresentada foi 8,5 Mg.h^{-1} e 12,9 Mg.h^{-1}, respectivamente para uma e duas passadas da enleiradora. Por sua vez, o consumo de combustível da operação de enfardamento foi 0,64 L.Mg^{-1}, e 0,43 L.Mg^{-1}, respectivamente, para uma e duas passadas. Quanto à contaminação por terra, os fardos apresentaram 10,6 % para o tratamento com uma passada da enleiradora e 8,1 % de terra, para o com duas passadas.

Ripoli et al. (2004) estudando o enfardamento de palhiço obtiveram valores da massa específica dos fardos de 206 kg.m^{-3} , capacidade efetiva de 10,8 Mg.h^{-1}e eficiência energética de 99,56 %.

Outras maneiras de se recolher o palhiço também foram analisadas. Lima (2002) relata um teste de recolhimento do palhiço envolvendo uma prensa de algodão, entre outras máquinas. Nesse ensaio, o palhiço foi enleirado e em seguida recolhido por uma recolhedora de forragens. O desempenho dos conjuntos trator+enleiradora e trator+recolhedora foram 38 Mg.h^{-1} e 5 Mg.h^{-1}, respectivamente. Em seguida o palhiço foi adensado,ainda no campo, por uma prensa de algodão. A massa específica da palha no campo após a colheita era cerca de 60 kg.m^{-3} e depois de adensada pela prensa de algodão atingiu 190kg.m^{-3}. O desempenho da prensa foi de 12 Mg.h^{-1}. O custo total de recolhimento do palhiço por este processo foi de 17,00 R$.Mg^{-1}. O custo do transporte, para uma distância de 10 km, foi de R$ 2,06·km^{-1}. No teste recolheu-se apenas 50% do palhiço, a contaminação com material mineral foi de 4% e a umidade do palhiço no momento do recolhimento era de 12 %.

De modo geral, o enfardamento do palhiço apresenta a desvantagem dos fardos precisarem ser picados para a alimentação da caldeira. Uma opção para se evitar essa operação seria o recolhimento do palhiço sem enfardá-lo. Uma análise do recolhimento

do palhiço a granel foi efetuada por Franco (2003), na qual se verificou o desempenho das máquinas utilizadas. Para isso o palhiço foi enleirado e, posteriormente, recolhido por uma recolhedora de forragens autopropelida. A capacidade operacional de recolhimento foi de 10,22 $Mg.h^{-1}$, o consumo de combustível foi de 3,3 $L.Mg^{-1}$ e o custo fornecido pela usina foi de R$ 9,17.Mg^{-1}. O estudo mostrou, também, 7,6 % de terra no palhiço recolhido. A autora cita que a usina forneceu o custo total do palhiço posto na usina como R$. 20,67 Mg^{-1}.

Para Ripoli et al. (2003) o que se busca, em essência, atualmente com os estudos desenvolvidos para recolhimento do palhiço, são duas informações fundamentais: qual sistema apresenta o menor custo por tonelada e qual a percentagem de terra existente no palhiço posto na usina. Entretanto, estes autores entendem que está ocorrendo um viés neste posicionamento, pois, mais importante que o custo de palhiço posto na usina por determinado sistema de recolhimento é saber o custo da energia na forma de palhiço posto na usina, seja em equivalente barril de petróleo, seja por litro, de álcool, de gasolina ou ainda em kW. Comentam, ainda, que é necessário saber também qual dos sistemas apresenta melhor eficiência energética

2.1.7 Terra contida no palhiço

Alguns fatores de grande influência na percentagem de terra aderida, em cana-de-açúcar, segundo Braunbeck e Bianchi (1988) são os procedimentos adotados para colheita e carregamento, tipo de máquina utilizado e tipo de solo.

Segundo Sarriés (1997), a partir de observações efetuadas em experimentação de campo, fatores como variedade da cana, maior exudação (diretamente dependente da intensidade do fogo durante a queima), número de cortes da cana, pressa no carregamento (dimensionamento incorreto das frotas), dentre outros, também poderiam influir na quantidade de terra aderida. Os principais fatores que afetam a quantidade de terra em cana-de-açúcar podem ser observados na Figura 2.

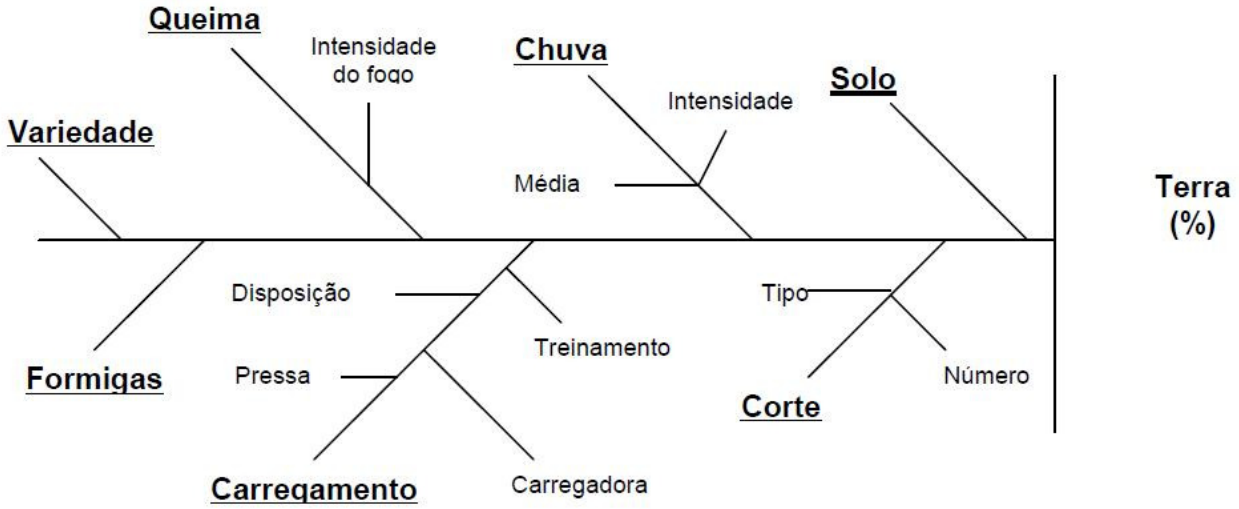


Figura 2 - Diagrama de Ishikawa com os principais fatores que influenciam a quantidade de terra em cana-de-açúcar (Sarriés, 1997)

Também para Ripoli et al. (2003), a terra aderida ao material remanescente da colheita é devida, principalmente, à ação dos discos de corte basal e aos sistemas de ventilação das colhedoras, que levam ao acúmulo de partículas de solo, tornando-as um dos constituintes do palhiço já na sua condição “in natura” sobre o terreno. Posteriormente, dependendo do tipo de recolhimento que se venha a adotar, essa quantidade pode ser minimizada ou incrementada.

Ripoli et al. (2003), estudando os três sistemas de recolhimento do palhiço, encontraram percentagem de terra de 4,50% para o palhiço recolhido a granel, 1,39% para colheita integral e 0,63% para o palhiço enfardado.

Torrezan (2003) realizou um estudo visando avaliar alguns parâmetros de desempenho operacional nas operações de enleiramento e enfardamento prismático de palhiço de cana-de-açúcar colhida mecanicamente, sem queima prévia, e de suas eficiências energéticas. Concluiu que os fardos nos tratamentos de enleiramento triplo apresentaram a maior massa específica média (211kg.m^{-3}) e as maiores percentagens de terra (6,41%), enquanto que nos tratamentos de enleiramento duplo a massa específica média foi 207 kg.m^{-3} e a percentagem de terra 6,31%. As massas de terra aumentaram com enleiramento sucessivos.

2.1.8 Força de tração

Segundo Mialhe (1996) a força necessária para deslocar a máquina e seus órgãos ativos mobilizando solo, no campo, tem sido designada esforço tratório. Este é decomposto por duas forças, sendo o componente vertical ou de sulcação, que tende a fazer o órgão ativo penetrar no solo e o componente horizontal coincidente com a direção de deslocamento da máquina, denominado força de tração.De acordo com o autor dentre os parâmetros que compõe o desempenho dos tratores agrícolas, destaca-se a disponibilidade de potência na barra de tração, importante para o tracionamento de implementos agrícolas por arrasto. Para Correa et al. (1997) o desempenho,na barra de tração, tem sido comumente avaliado submetendo-se o espécime a ensaios em pista de concreto (para tratores de pneus) ou em pista de terra compactada (tratores de esteiras e com rodas metálicas), sendo o peso total e a distribuição de peso por eixo em tratores com tração dianteira auxiliar os fatores preponderantes na otimização do desempenho na barra de tração.

O modelo proposto por Mialhe (1996) utiliza a mensuração da força de tração para avaliar as exigências de potência na avaliação do desempenho das máquinas. Garcia (2008) afirma que na seleção do trator para trabalho no campo, um dos itens mais importantes é a sua capacidade em desenvolver esforço para tracionar as máquinas e implementos agrícolas. Para Liljedahl (1995), das três principais maneiras de utilizar a potência gerada pelo motor de um trator agrícola, tomada de potência, sistema hidráulico e barra de tração, esta última é a mais utilizada, apesar de ser menos eficiente. Segundo os autores, a transmissão de potência por meio da barra de tração é a maneira mais comum de utilizar a potência do trator porque é versátil. O principal motivo para o baixo desempenho na barra pode ser atribuído à patinagem, mas outros fatores como: tipo de solo e suas características e propriedades, geometria do trator, distribuição de peso sobre os rodados, a transferência de peso durante a operação e as características do rodado, entre outros, também interferem na tração.

Para Mialhe (1991), na transmissão de potência do motor para a barra de tração, ocorrem perdas que, dependendo das condições de operação do trator, podem atingir níveis bastante comprometedores. Zoz (1987) apresentou um diagrama de estimativa da perda de potência nos diferentes mecanismos do trator e diferentes condições de

solo, no qual se verifica que, para tratores 4x2, as perdas podem variar de 20% em pista de concreto, até 53% ou mais em solos soltos, pois esses apresentam as condições inadequadas para a tração.

De acordo com Hunt (1995), para o trator desenvolver uma força capaz de tracionar implementos depende de muitos fatores, tais como a configuração do trator, lastros, diâmetro do pneu, sistema de rolamento e sistema de transmissão.

Segundo Lanças et al. (2000), o sistema de rodado de um trator é o principal elemento responsável pela sustentação, propulsão direcionamento e desenvolvimento de força na barra de tração, devendo esse componente do trator merecer uma atenção especial. Burt et al. (1985), estudaram o efeito da velocidade de deslocamento sobre o desempenho de tratores agrícolas de rodas, concluindo que a velocidade exerce um efeito muito pequeno na tração e eficiência tratória.

Para testar algumas das variáveis que influenciam a demanda de tração na semeadura da aveia preta sobre resteva de milho, Levien et al. (2001) encontraram valores de força de tração exigida por linha de semeadura de 0,31; 0,33 e 0,28 kN para os sistemas de preparo do solo convencional, escarificado e plantio direto, respectivamente. Portanto abaixo dos valores preconizados pela ASAE (1999).

Ao avaliar o desempenho de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, Furlani et al. (2002) concluíram que a potência exigida na barra de tração foi maior no preparo do solo escarificado do que no preparo convencional e plantio direto.

Segundo Mialhe (1996) os principais parâmetros que avaliam o desempenho operacional dos sistemas motomecanizados de mobilização do solo são: consumo especifico operacional, resistência especifica operacional, capacidade de campo efetiva, consumo de combustível por área trabalhada.

A resistência ao rolamento é definida em Mialhe (1980) como a resistência passiva que se opõe ao movimento dos rodados dos tratores e tem origem na deformação provocada no solo e no próprio rodado.

Silveira et al. (2005) também evidenciaram que acréscimos da velocidade de trabalho resultam em aumentos da força de tração e potência médias demandadas. Esses ainda analisaram também a demanda de potência por linha de semeadura e potência específica por profundidade, obtendo a mesma conclusão supracitada, o

aumento da potência média quando ocorrem acréscimos ou de profundidade de deposição de sementes.

Estudos de comportamento da força de tração e da potência na barra de tração também foram realizados por Bicudo et al. (1987) onde ficou evidente que velocidades maiores ocasionam aumento da força de tração, porém não significantes estatisticamente. O aumento de 2,55 para 3,68 e depois para 4,3 km h^{-1} não influenciou significantemente a força de tração exigida.

Estudos de semeadoras equipadas com sulcadores do tipo discos duplos e facão em solo argiloso realizados por Collins e Fowler (1996), mostram que, entre as velocidades de deslocamento de 6,0 a 10,0 km h^{-1}, para cada 1 km h^{-1} aumentado na velocidade de deslocamento a força de tração aumentou 4%.

Silva et al. (2000) verificaram que a força de tração média requerida na barra de tração não sofreu variação estatisticamente significativa com alteração da velocidade, mas observaram que houve uma tendência de aumento na demanda por força de tração à medida que se aumenta a velocidade.

Machado et al. (1996) em estudo realizado em solo franco arenoso tipo Planossol verificou que o acréscimo da velocidade de 2,6 para 3,6 e depois 4,8 não influenciou significativamente a força de tração tanto em teores de umidade de 7 e 12%, porém este acréscimo teve influência significativa na potência na barra de tração demonstrando relação diretamente proporcional das variáveis. Esse fato também foi observado por Silveira et al. (2005) onde a velocidade de deslocamento não influenciou significativamente a força de tração, porém influenciou a demanda de potência.e os aumentos da velocidade de deslocamento promoveram o aumento da demanda de potência.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Caracterização da área experimental

O ensaio foi realizado na fazenda Santo Antônio, gleba 2226, quadra 2, da Usina Iracema, situada no município de Iracemápolis, SP. Na área estava plantada com a cultura da cana-de-açúcar, variedade SP 80 1816, que foi colhida mecanicamente, em seu 7º corte, cuja produtividade agrícola foi de 98 toneladas por ha.

O solo foi classificado como latossolo vermelho férico, distroférrico, de acordo com a classificação da EMBRAPA (1999).

2.2.2 Tratores e Máquinas Utilizadas

As principais características dos tratores e máquinas utilizadas no experimento estão descritas a seguir.

2.2.2.1 Trator de marca New Holland, modelo TL90

Este trator (Figura 3-A) foi utilizado no preparo das condições de ensaio (enleiramento), e durante o ensaio. Para o preparo do ensaio foi acoplado um ancinho enleirador a este trator, para confecção das leiras dos tratamento com palhiço enleirado (Figura 3-B). Após o enleiramento esse trator foi utilizado em conjunto com a enfardadora, produzindo os fardos de palhiço.

Principais características do trator:

- Potência Nominal: 88 cv
- Rotação Nominal: 2500 rpm
- Rotação na TDP: 540 ou 1000 rpm
- Torque Máximo à 1500 rpm: 301 Nm
- Número de Cilindros: 4
- Capacidade: 3,91 L
- Transmissão: Dual Command
- Número de Marchas: 24x12

Figura 3 – (A) Trator New Holland TL 90 na operação de enleiramento do palhiço. (B) Trator New Holland TL 90 na operação de enfardamento. (C) Trator Case MXM 135 tracionando o conjunto na operação de enfardamento, nos teste de tração. (D) Visão frontal da enfardadora. (E) Visão traseira da enfardadora. (F) Ancinho enleirador utilizado para o enleiramento do palhiço

2.2.2.2 Trator de marca Case, modelo MXM 135

O trator foi utilizado apenas para o teste de tração, conforme metodologia descrita por Mialhe (1974).

Principais características do trator:

- Potência Nominal:137 cv

- Rotação Nominal: 2200 rpm

- Rotação na TDP: 540 ou 1000 rpm
- Torque Máximo à 1400 rpm: 591 Nm
- Número de Cilindros: 6
- Capacidade: 7,6 L
- Transmissão: Powershift STD
- Número de Marchas: 18x6

2.2.2.3 Enfardadora Nogueira Express 5040

Para o ensaio utilizou-se uma enfardadora tracionada, nova,cedida pela fábrica (Figuras, 3-D e 3-E) e todas as regulagens foram feitas em um talhão ao lado da área experimental por uma equipe da empresa fabricante.

Principais características da enfardadora, fornecidas pelo fabricante:

Características Técnicas:

- Produção Média: 400 à 600 fardos/hora
- Largura de Recolhimento: 1,73m
- Golpes de compressão: 100 por minuto
- Massa (s/ elevador de fardos): 1460 Kg
- Potência para Acionamento: 35 cv
- Rotação na tomada de força: 540 rpm

Dimensões do fardo:

- Comprimento: 0,50 a 1,20 m
- Largura: 50 cm
- Altura: 40 cm

2.2.3 Material de mensuração

- Fluxômetro marca Oval M-III, modelo LSF41L, precisão:1 $ml.s^{-1}$;
- Sistema de Aquisição de Dados marca Campbell Scientific, modelo CR10X;
- Célula de carga marca Kyowa, modelo LU5TE, capacidade de 5000 kgf;
- Célula de carga marca ALFA 500 modelo Z500, capacidade de 500 kgf;
- Odômetro marca Honer, definição de 240 pulsos por giro;
- Display digital de força marca Micro P, com fundo de escala de 0,1 kg;

- Bateria elétrica de 12 V e 7 A (utilizada com o display digital);

- Máquina de tração, Instron modelo 4466.

- Outros: sacos plásticos, fita crepe, arame, cabo de aço, fita isolante, trena, compasso de madeira de dois metros e latas de alumínio.

2.2.4 Amostragem de solo

Para a caracterização da umidade e da granulometria do solo, no momento do ensaio, foram coletadas 15 amostras de terra na profundidade de 0-5 cm (5 amostras por tratamento), utilizando uma faca e uma lata de alumínio. Para que não houvesse alteração na umidade, após a coleta, as latas foram fechadas hermeticamente com fita crepe, Figura 7. Posteriormente as amostras foram enviadas para o laboratório de solos do Departamento de Engenharia Rural/ESALQ-USP, para análise de acordo com o método laboratorial termogravimétrico.

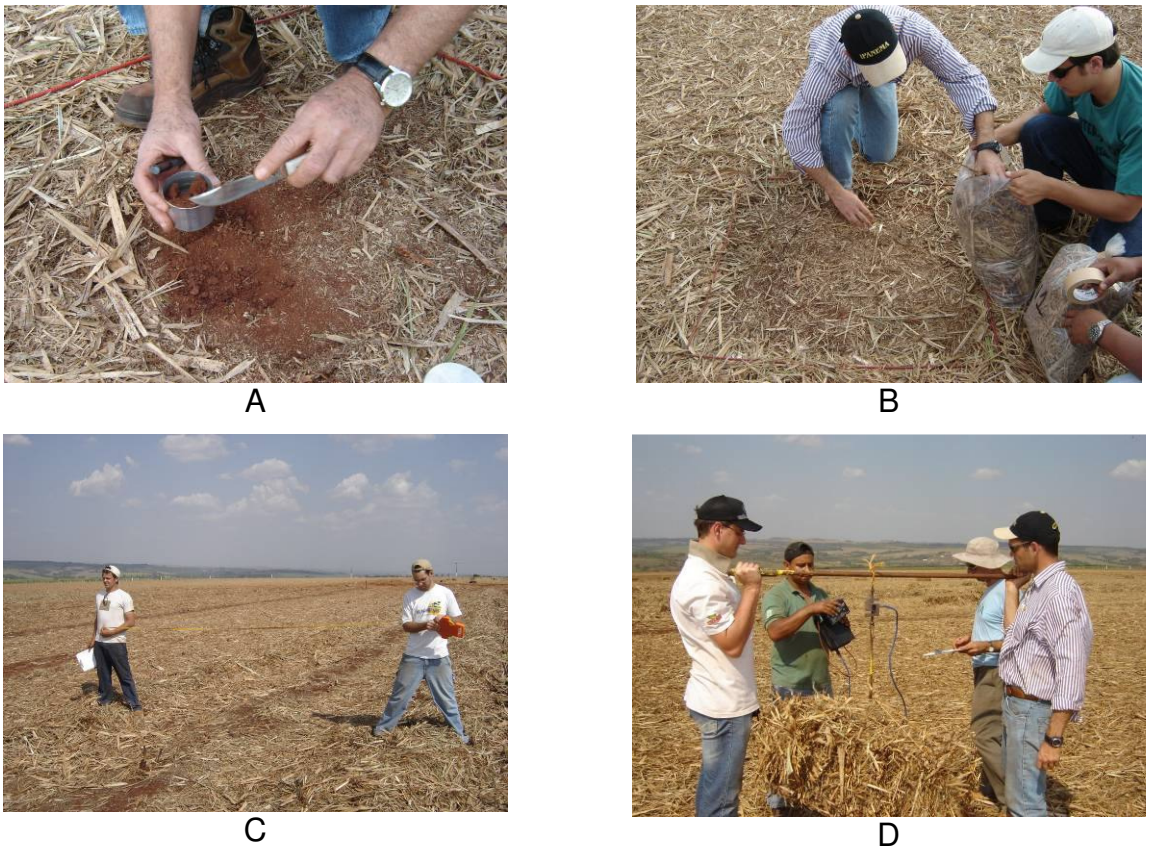


Figura 4 – (A) Coleta de amostra de terra para análise de umidade e granulométrica do solo. (B) Coleta de amostra de palhiço, utilizando o gabarito para delimitar a área amostrada. (C) Medição da distância entre as leiras. (D) Procedimento para mensuração do peso de cada fardo

2.2.5 Caracterização do palhiço

Para a amostragem do palhiço remanescente da colheita mecanizada na área de estudo, ou seja, “in natura”, foi utilizado o método descrito por Ripoli e Ripoli (2004) onde, antes da operação de enfardamento, o material foi amostrado com o auxílio de gabarito quadrado de ferro com um metro de lado, em 10 repetições, tomando-se o cuidado de não retirar os palhiços que estivessem em contato com a superfície do solo, a fim de evitar o excesso de terra agregada (Figura 4-B). O gabarito foi arremessado sobre a área, aleatoriamente, para cada repetição. O material encontrado dentro do gabarito foi recolhido, ensacado, identificado e vedado para posteriores determinações das massas totais das amostras, umidade e quantidade de impurezas minerais.

Para as determinações de umidade e quantidade de terra, presentes no palhiço após o enleiramento, foram coletadas 10 amostras por tratamento (enleiramento simples e enleiramento duplo), cada amostra foi composta por 5 sub-amostras. As amostras de palhiços (“in natura”, enleirado e enfardado) foram devidamente identificadas e enviadas para laboratório da Usina Iracema, e submetidas ao teste laboratorial padrão utilizado pela Usina, para determinação de umidade e terra agregada.

2.2.6 Caracterização dos tratamentos

Para esse ensaio a área amostral foi dividida em três sub-áreas, para constituir os tres tratamentos aplicados:

- T1 = palhiço “in natura”
- T2 = palhiço com enleiramento simples.
- T3 = palhiço com enleiramento duplo

Número de repetições por tratamento: cinco repetições com 15 fardos.

2.2.7 Preparo dos tratamentos

As preparações dos tratamentos T2 e T3 caracterizaram-se com a operação de enleiramento, conforme Figuras 5-A e 5-B, respectivamente. O ancinho enleirador foi regulado de maneira a não promover a mobilização excessiva do palhiço, procurando deixar uma parcela de biomassa sobre o terreno e, com isso arrastar menos terra junto ao material enleirado.

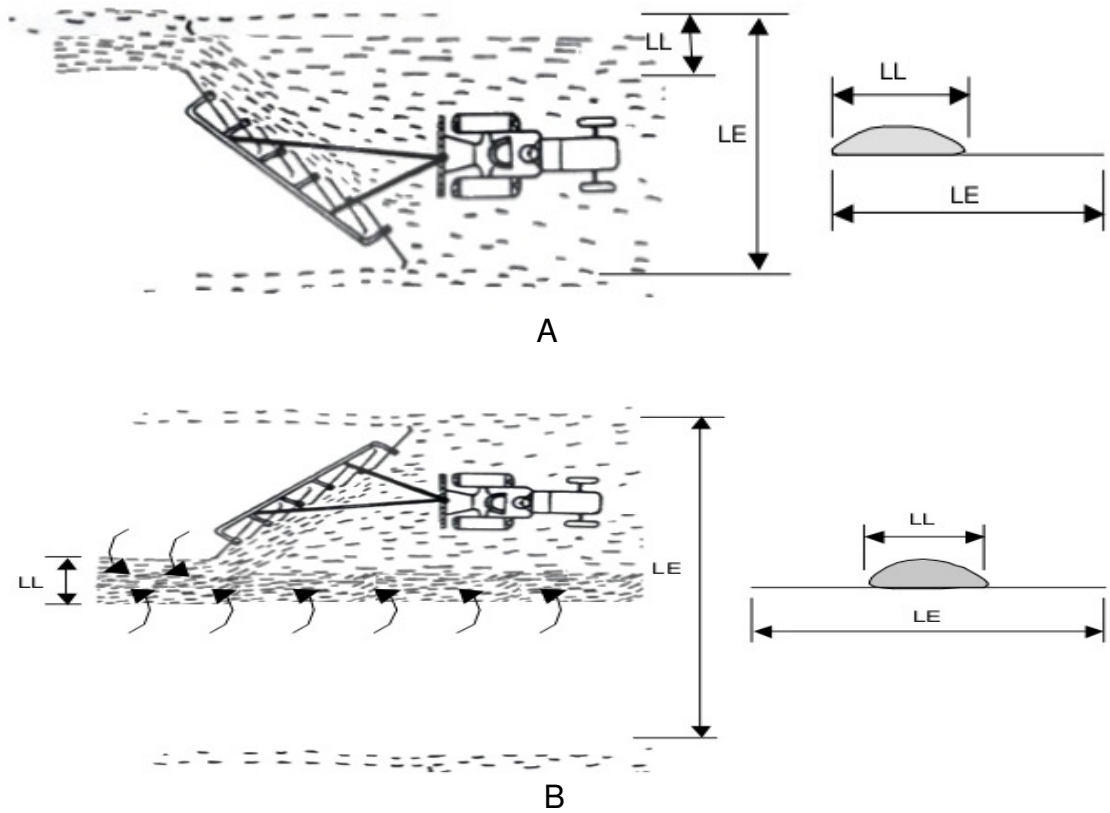


Figura 5 – (A) Esquema de operação enleiramento simples. (B) Esquema de operação de enleiramento duplo; LL = Largura da leira; LE = Largura da faixa de enleiramento

2.2.8 Determinação da largura efetiva na operação de enfardamento

Para a estimativa da largura de trabalho adotou-se os seguintes critérios:

Para o tratamento T1 considerou-se largura efetiva de trabalho a largura de recolhimento da enfardadora.

Nos tratamento T2 e T3, onde houve o enleiramento, considerou-se largura efetiva de trabalho a distância entre uma leira e outra, de centro a centro. Para tal foram amostrados, aleatoriamente, 50 pontos por tratamento, Figura 4-C. Com base nesses dados foi calculada a distância média entre as leiras para cada um dos tratamentos.

2.2.9 Determinação da força de tração exigida na barra de tração

Para a determinação da força de tração exigida na barra de tração utilizou-se o método descrito por Mialhe (1996), em um talhão ao lado da área experimental com as

mesmas características de solo e de relevo, para os três tratamentos, Figura 3-C. O conjunto trator+enfardadora foi tracionado por um segundo trator, instrumentado com uma célula de carga na barra de tração. As medições foram efetuadas eletronicamente com o auxilio de uma célula de carga ligada a um sistema de aquisição de dados, que armazenava os dados.

Para determinar a força ao rolamento do trator do conjunto mecanizado, este trator foi arrastado pelo trator instrumentado com a célula de carga.

2.2.10 Determinação do tempo médio para confecção de fardo e da velocidade média efetiva da operação de enfardamento

Para a esta variável aplicou-se o critério de tempos e movimentos que é caracterizado pela determinação do tempo correspondente a cada repetição (15 fardos). O tempo consumido foi dividido pelo número de fardos confeccionados, obtendo-se o tempo médio por fardo.

Para o cálculo da velocidade média da operação de enfardamento, em $m.s^{-1}$, foi medido o comprimento de cada parcela e dividido pelo tempo gasto para o enfardamento da parcela.

2.2.11 Determinação do consumo de combustível

O consumo de combustível foi obtido por meio do fluxômetro, no momento em que se realizavam as operações de enfardamento. Os dados foram armazenados no sistema de aquisição de dados, na unidade de $L.s^{-1}$. Com o auxílio de uma planilha eletrônica os valores foram transformados em $L.h^{-1}$.

2.2.12 Determinações dimensionais dos fardos

Para todos os fardos foram mensuradas suas dimensões (altura, largura e comprimento) com o auxílio de uma trena. Determinou-se ainda, a massa de cada fardo, por meio de uma célula de carga e um display digital (Figura 4-D) e através da relação massa /volume foi calculada a massa específica dos fardos.

2.2.13 Cálculo das capacidades de produção e de campo efetivas

Para o cálculo da capacidade efetiva adotou-se a metodologia proposta por Mialhe (1974). As variáveis determinadas foram: de “massa de palhiço enfardado por unidade de tempo”, “área de palhiço enfardado por unidade de tempo”.

2.2.14 Estimativa de custos efetivos do enfardamento

O cálculo dos custos efetivos foi baseado no método descrito por Mialhe (1974), onde o custo efetivo é função do custo hora dividido pele capacidade efetiva do conjunto, ou seja:

$$Cef = \frac{Ch}{CE} \tag{1}$$

sendo:

Cef = Custo efetivo (R$.ha^{-1});

Ch = Custo hora (R$.h^{-1});

CE = Capacidade efetiva (ha.h^{-1}).

O custo hora representa o valor efetivo das despesas do conjunto (trator mais enfardadora) durante uma hora de trabalho. Esse custo é formado pela soma do custo fixo horário e custo variável.

O custo fixo inclui as seguintes despesas:

- Amortização do capital investido;
- Juros sobre o capital não amortizado;
- Depreciação do trator e/ou implemento, por uso ou obsoletismo;
- Despesas de alojamento e seguros: considerou-se 1 %;
- Taxa anual de juros: considerou-se 12 %.

O custo variável inclui as seguintes despesas:

- Combustível e lubrificantes;
- Material de substituição;
- Reparo e manutenções.

2.2.15 Determinação da eficiência e do potencial energético da operação de enfardamento.

Ripoli e Ripoli (2004) definiu como sistema de recolhimento de palhiço o conjunto de máquinas envolvidas nas operações de preparo (enleiramento), recolhimento (enfardadora), carregamento, transporte e descarregamento. A somatória destes consumos por unidade de massa manipulada representará o total de energia consumida para atender os objetivos do sistema. Por outro lado, em função do grau de umidade e do índice de terra do palhiço posto na usina, ele conterá um determinado poder calorífico. No caso específico desse trabalho, foi calculada a eficiência energética somente do enfardamento.

Eficiência Energética (EES) de um dado sistema mecanizado, no caso de recolhimento de palhiço, portanto, é a relação (equação 2) entre a energia total consumida, na forma de combustível, no enfardamento e a energia disponibilizada na forma de palhiço.

$$EES = 100.1 - \frac{ECC}{ECP} \qquad (2)$$

sendo:

EES (%) = Eficiência energética do sistema;

ECC (kcal/kg) = energia consumida, na forma de óleo diesel;

ECP (kcal/kg) = energia existente no palhiço.

Para o cálculo da eficiência energética da operação de recolhimento do palhiço considerou-se a densidade de 0, 83 $kg.l^{-1}$ e o poder calorífico de 10700 $kcal.kg^{-1}$ para o óleo diesel, segundo Soares 2000, citado por Michelazzo (2005) e o valor de 4041 $kcal.kg^{-1}$ para o poder calorífico do palhiço (Ripoli 1991).

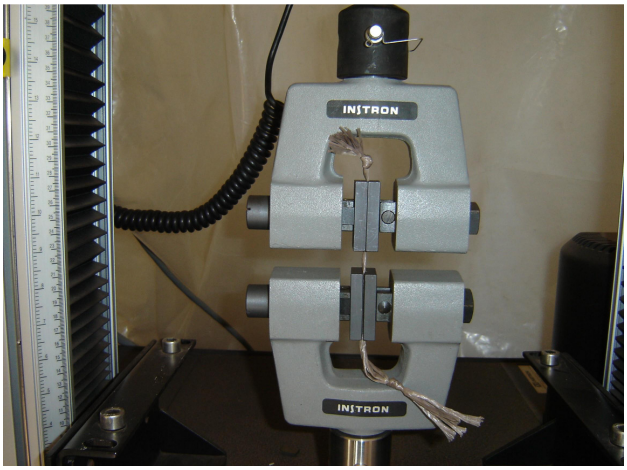
Para o cálculo de energia contida no palhiço recolhido, utilizou-se o valor obtido por Ripoli (1991) de 1,28 $EBP.t^{-1}$ de palhiço.

2.2.16 Determinação do ponto de ruptura dos fios de amarração

Durante o ensaio da enfardadora utilizou-se fio de sisal para confeccionar os fardos, todavia, foram determinados, ainda, os pontos de ruptura dos fios de nylon. Para

a determinação do ponto de ruptura dos fios utilizou-se o método de ensaio padrão do equipamento Instron modelo 4466 (Figura 6).

A



B

C

Figura 6 – (A) Amostras de fios de nylon e sisal. (B) Detalhe da fixação dos fios na máquina de tração. (C) Vista parcial da máquina de tração

2.2.17 Delineamento estatístico

Para análise dos dados referentes ao ensaio de tração o delineamento estatístico utilizado foi em blocos ao acaso com 5 tratamentos e 6 repetições, cada repetição foi constituída por 18 pontos de amostragem.

Para analise dos dados do ensaio de enfardamento, também foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com 3 tratamentos e 5 repetições de 15 fardos cada

para os dados referentes a dimensões e distância entre fardos. Para os demais dados foram utilizadas 6 repetições compostas por 126 pontos cada uma.

Para análise estatística dos dados foi aplicado o Teste de Tukey com grau de significância de 5%. Os dados foram analisados com auxílio do software Sisvar (vesão 5.1, Build 72).

2.3 Resultados e discussão

2.3.1. Ensaio de tração

A Tabela 10 apresenta os dados médios da força exercida na barra de tração nas operações de enfardamento, em área onde não houve enleiramento (T1), em área com enleiramento simples (T2), em área com enleiramento duplo (T3), com o trator sem enfardadora e no trator com a enfardadora desliga. Os dados mostram que a força de tração exigida pelo trator sem enfardadora foi estatisticamente inferior aos valores de força de tração obtidos nas demais situações.

A operação com o trator deslocando com a enfardadora desligada demandou praticamente a mesma força de tração do que as operações com a enfardadora em funcionamento quer seja sem enleiramento prévio ou com enleiramento simples ou duplo. Essa ocorrência se deve ao fato de que, durante o enfardamento, o movimento do sistema recolhedor de palha da enfardadora é gerado pela TDP e o mesmo tem rotação no sentido de deslocamento do conjunto. Ao tocar o solo e/ou palhiço, o movimento das hastes recolhedoras auxiliam o deslocamento do conjunto. Os resultados evidenciam também que a demanda de força na barra de tração em função da enfardadora é pequena.

A Figura 7 mostra a representação gráfica das variações da força na barra de tração, durante o deslocamento, nas diferentes situações analisadas. Observa-se que as menores variações ocorreram no deslocamento do trator sem estar acoplado com a enfardadora. Comportamento semelhante foi observado durante o deslocamento do trator com a enfardadora desligada. Nas operações de enfardamento (T1, T2 e T3) houve maiores variações dos valores de requerimento de força na barra de tração, devido a prováveis variações nas quantidades de palhiço ao longo do deslocamento.

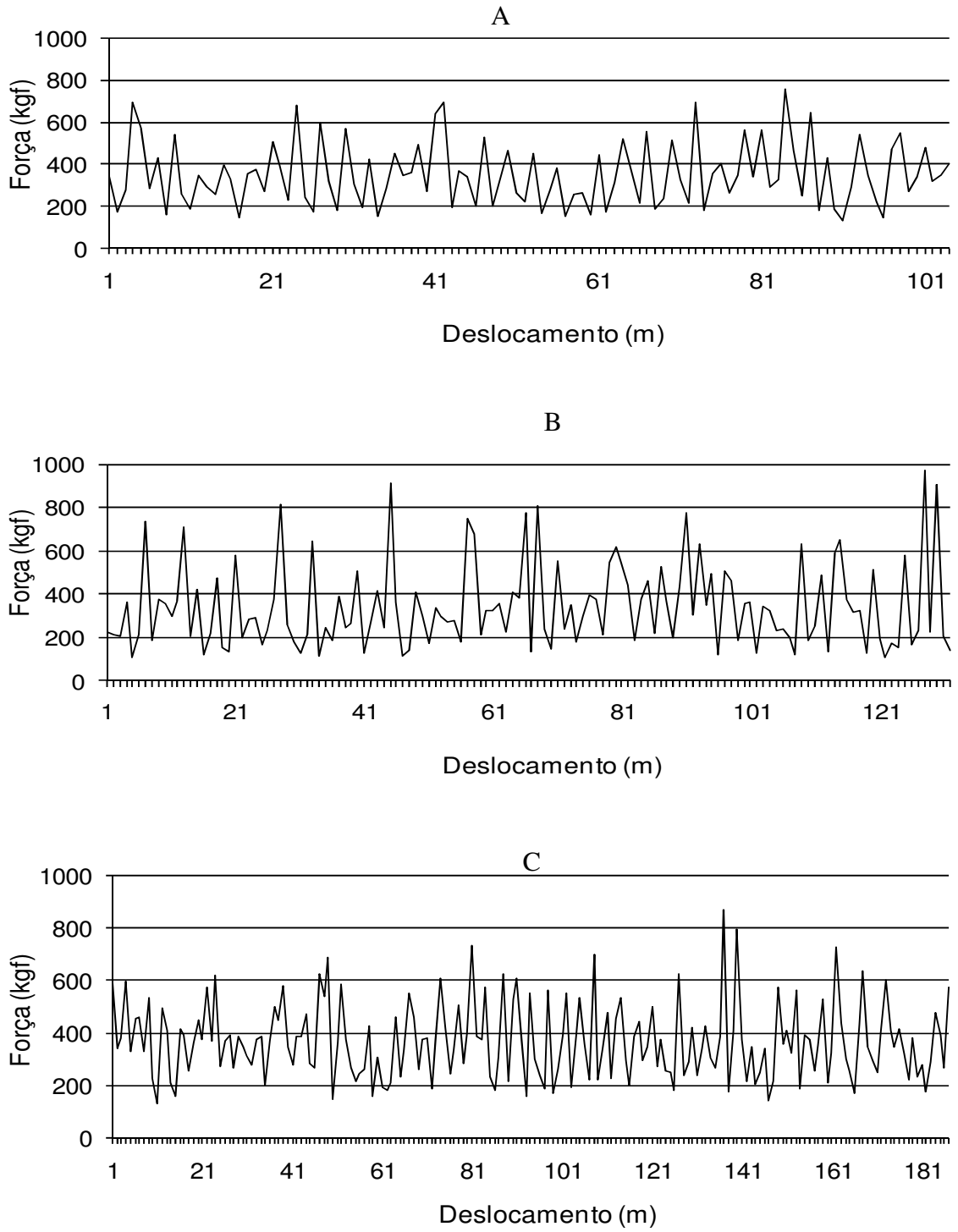


Figura 7 - (A) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T1. (B) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T2. (C) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T3. (D) Variação da força exercida na barra de tração no trator sem enfardadora. (E) Variação da força exercida na barra de tração no trator com enfardadora desligada

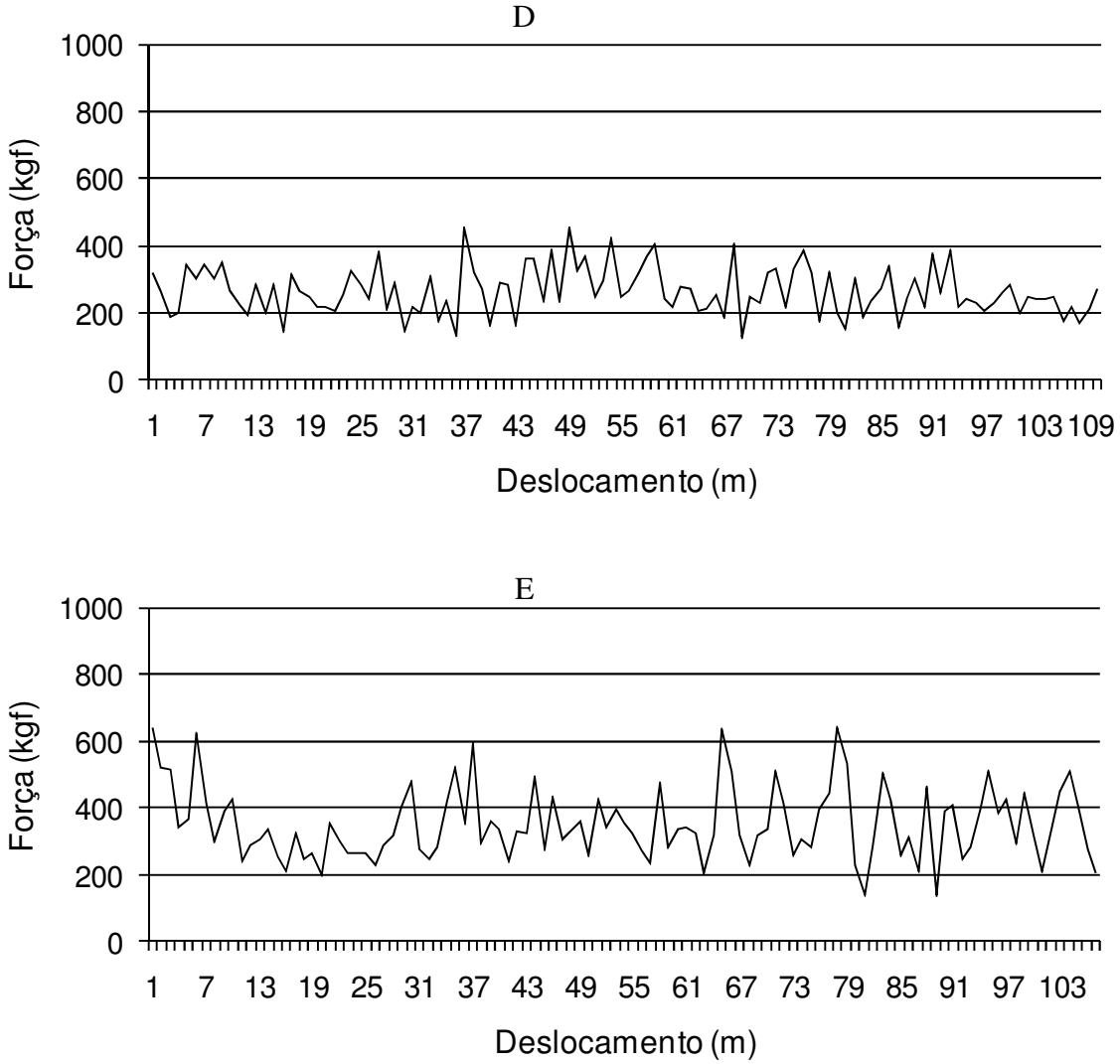


Figura 7 - (A) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T1. (B) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T2. (C) Variação da força exercida na barra de tração, no tratamento T3. (D) Variação da força exercida na barra de tração no trator sem enfardadora. (E) Variação da força exercida na barra de tração no trator com enfardadora desligada

Tabela 10 - Força média na barra de tração, nos tratamentos T1, T2, T3, somente o trator e trator com enfardadora desligada

Tratamentos	Força na barra de tração (kgf)
T1	350,99 b
T2	344,21 b
T3	369,43 b
Trator	267,27 a
Trator + enfardadora desligada	350,51 b
C V (%)	40,59
DMS	52,37

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Os dados apresentados na Tabela 11 e na Figura 8 indicam que o consumo horário de combustível na operação de enfardamento com enleiramento duplo foi estatisticamente superior aos valores de consumo obtidos nos tratamentos com o trator sem enfardadora e com o trator com a enfardadora desligada, apesar de trabalharem em velocidades muito semelhantes, provavelmente devido ao fato do tratamento com enfardamento com enleiramento duplo demandar maior potência do motor pelo acionamento da TDP.

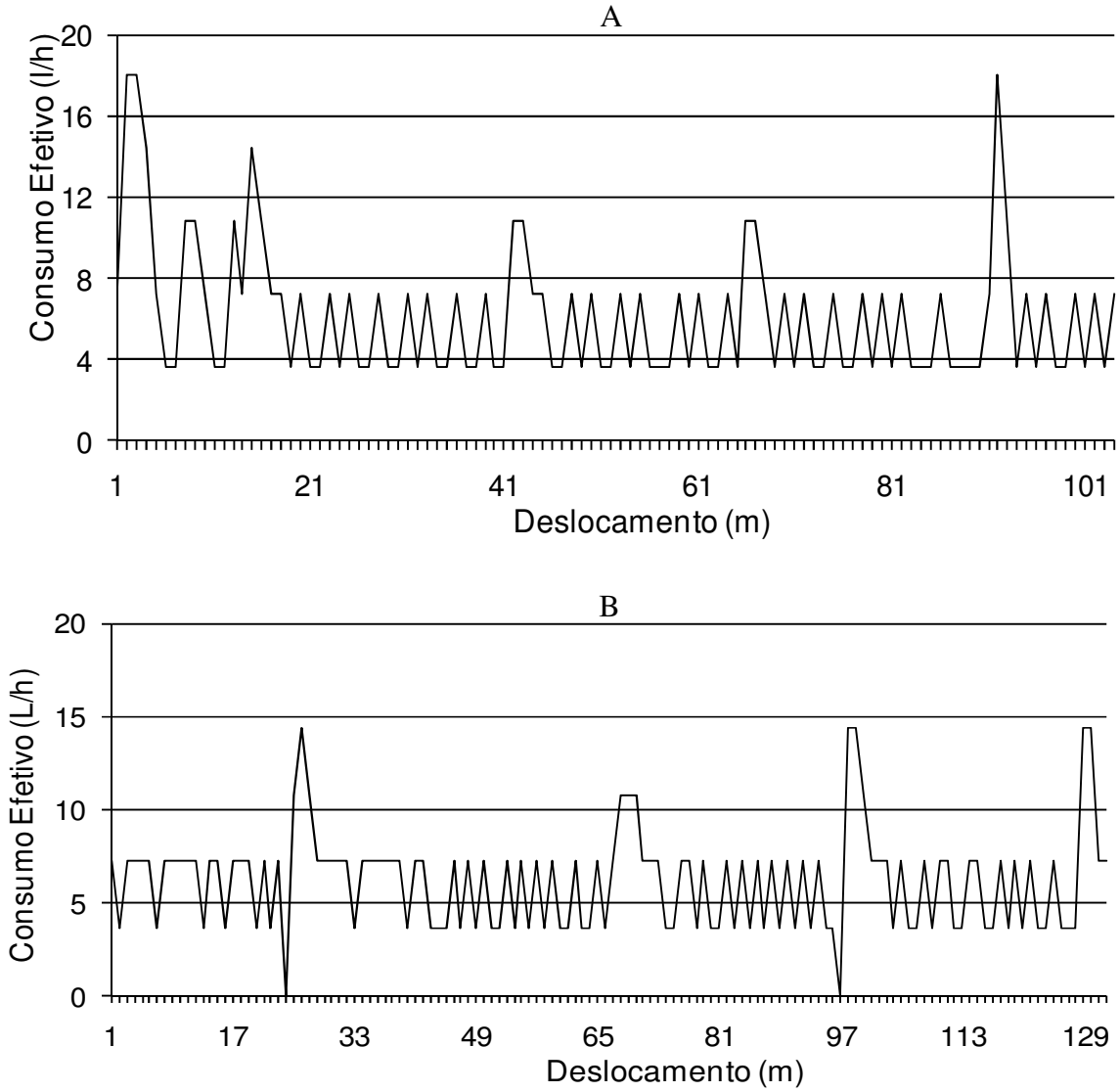


Figura 8 - (A) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T1. (B) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T2. (C) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T3. (D) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, para o trator sem enfardadora. (E) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no trator com enfardadora desligada

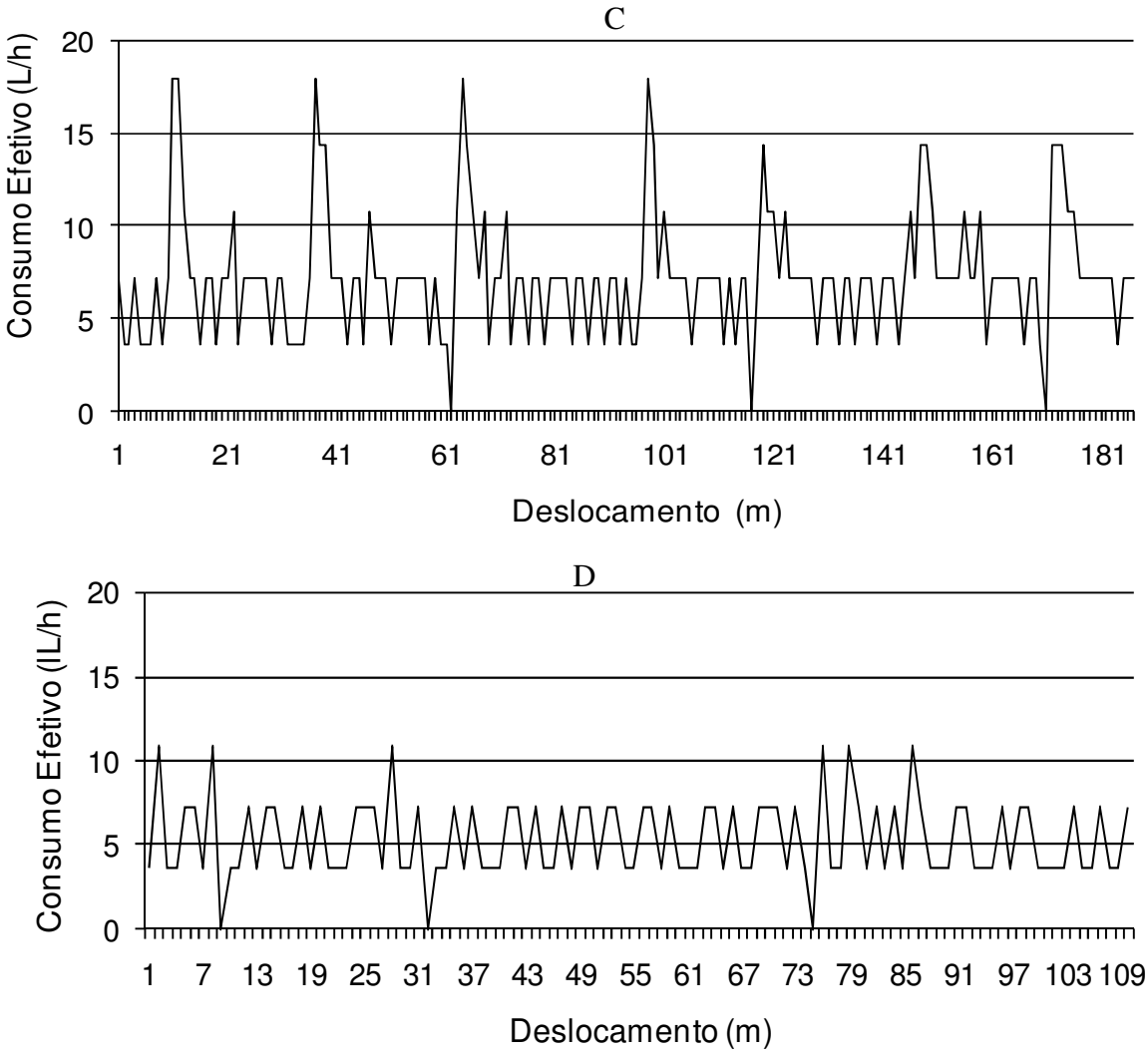


Figura 8 - (A) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T1. (B) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T2. (C) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T3. (D) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, para o trator sem enfardadora. (E) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no trator com enfardadora desligada

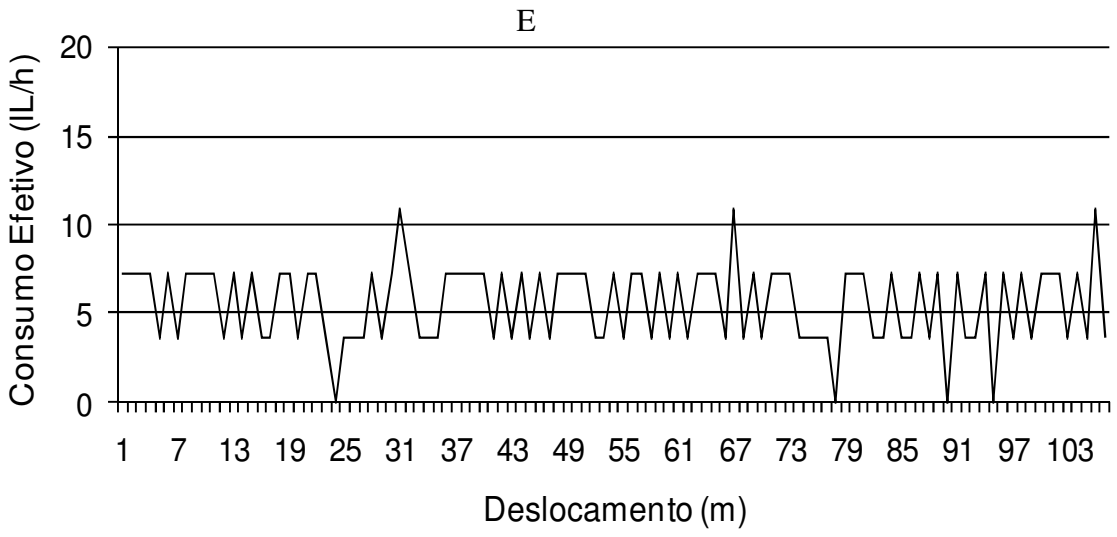


Figura 8 - (A) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T1. (B) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T2. (C) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no tratamento T3. (D) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, para o trator sem enfardadora. (E) Variação do consumo horário, no ensaio de tração, no trator com enfardadora desligada

Tabela 11 - Consumos horários médios de combustível e velocidade média de deslocamento, durante o ensaio de tração dos tratamentos T1, T2, T3, Trator e Trator + enfardadora desligada

Tratamentos	Consumo de combustível ($L.h^{-1}$)	Velocidade ($km.h^{-1}$)
T1	6,17 ab	5,42 a
T2	6,17 ab	1,97 c
T3	7,12 a	2,10 b
Trator	5,32 b	2,12 b
Trator + enfardadora desligada	5,61 b	2,12 b
C V (%)	46,8	7,73
DMS	1,09	0,08

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Na Tabela 12 são apresentados os valores médios de demanda de potência no motor, requerida para o deslocamento do conjunto, nas operações de enfardamento,

em área onde não houve enleiramento (T1), em área com enleiramento simples (T2), em área com enleiramento duplo (T3), com o trator sem enfardadora e no trator com a enfardadora desligada. A potência requerida na área sem enleiramento foi estatisticamente superior aos valores demonstrados pelas demais condições do ensaio, devido à velocidade dessa operação ter sido superior às demais.

De modo geral a demanda de potência exigida para o deslocamento foi baixa podendo, dessa forma, reservar a maior parcela para o acionamento da TDP.

As variações dos valores de demanda de potência ao longo do deslocamento são mostradas na Figura 9. As maiores variações são encontradas no tratamento de enfardamento sem enleiramento prévio, devido à velocidade média ser maior.

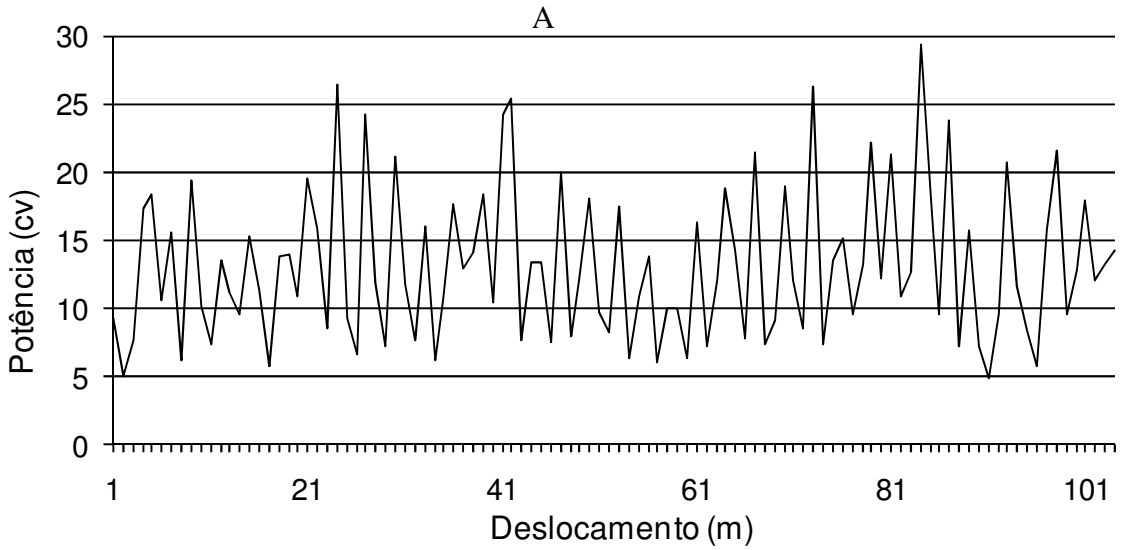
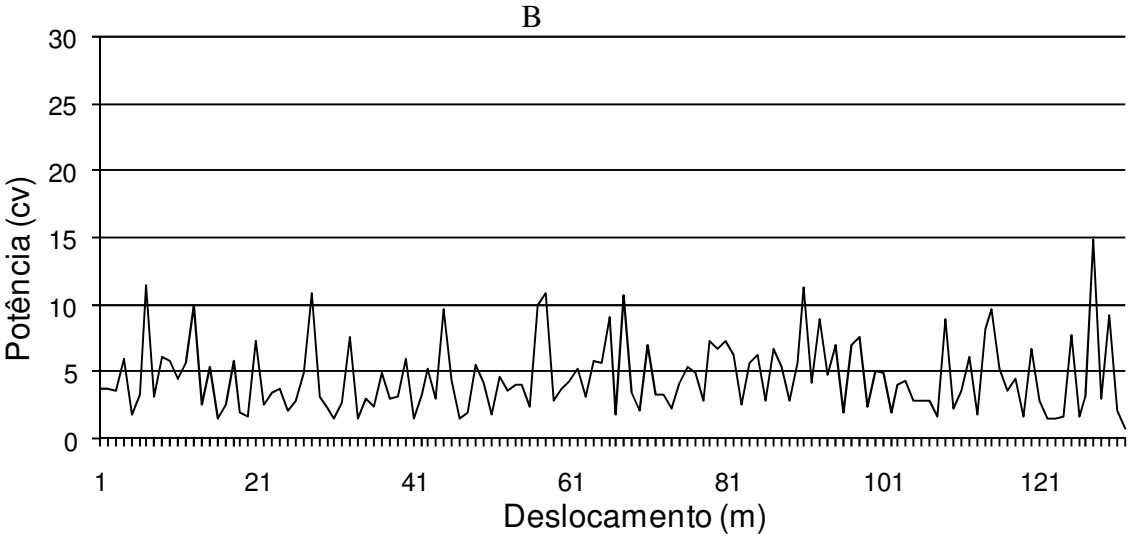


Figura 9 – (A) Variação da potência, no motor, no tratamento T1. (B) Variação da potência, no motor, no tratamento T2. (C) Variação da potência, no motor, no tratamento T3. (D) Variação da potência, no motor, no trator sem enfardadora. (E) Variação da potência, no motor, no trator com enfardadora desligada



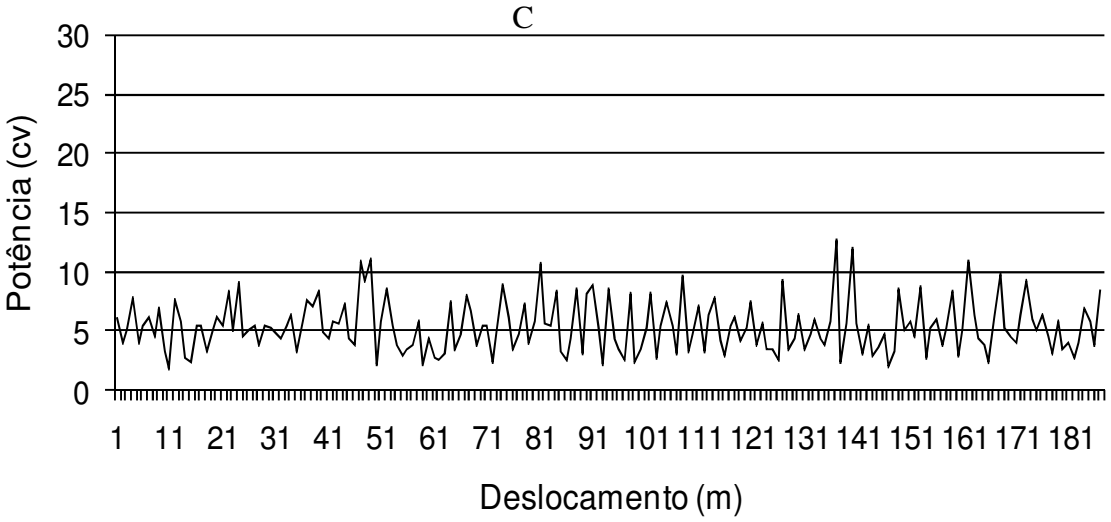


Figura 9 – (A) Variação da potência, no motor, no tratamento T1. (B) Variação da potência, no motor, no tratamento T2. (C) Variação da potência, no motor, no tratamento T3. (D) Variação da potência, no motor, no trator sem enfardadora. (E) Variação da potência, no motor, no trator com enfardadora desligada

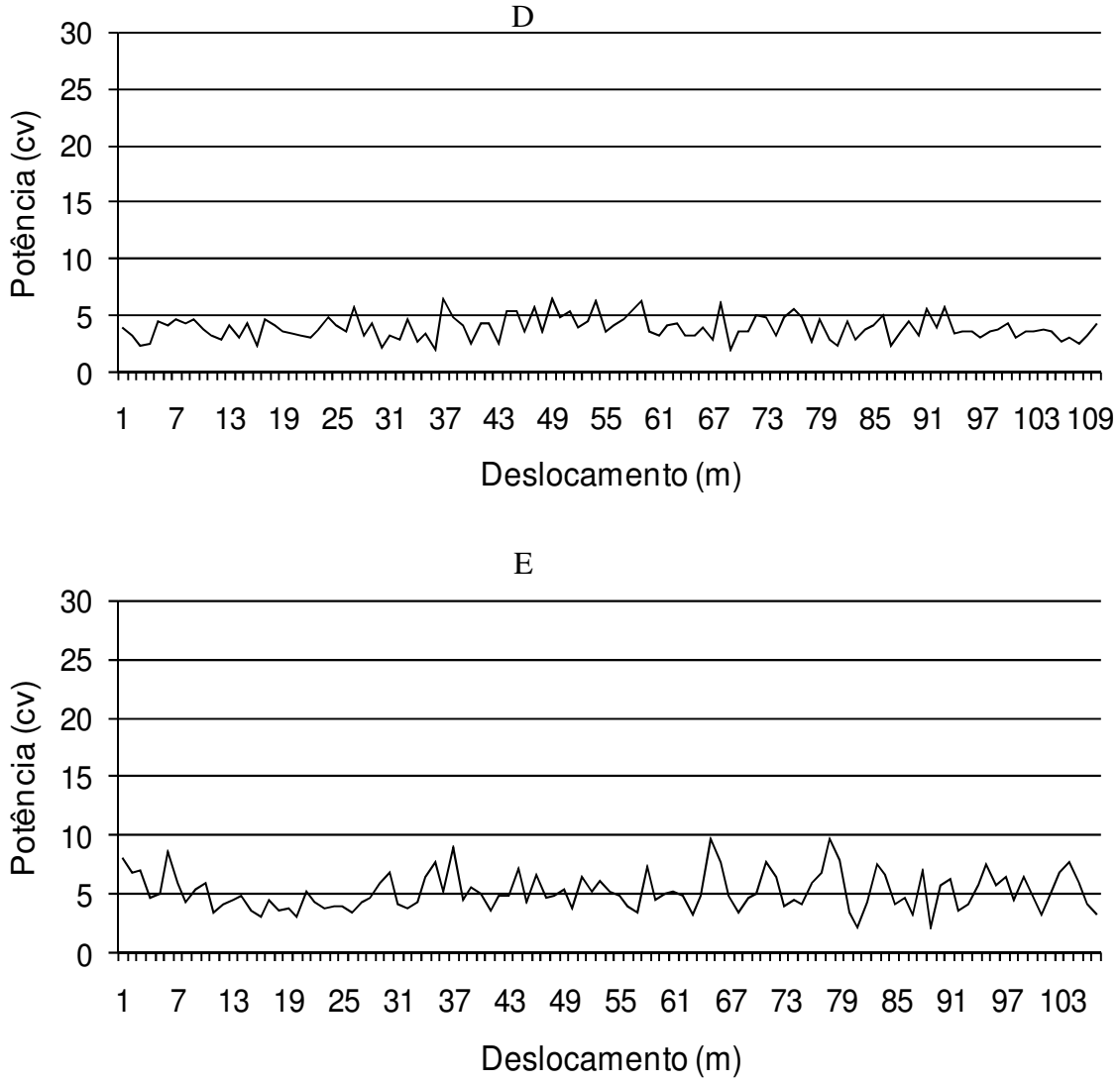


Figura 9 – (A) Variação da potência, no motor, no tratamento T1. (B) Variação da potência, no motor, no tratamento T2. (C) Variação da potência, no motor, no tratamento T3. (D) Variação da potência, no motor, no trator sem enfardadora. (E) Variação da potência, no motor, no trator com enfardadora desligada

Tabela 12 - Potência média para tracionar o conjunto, tratamentos T1, T2, T3, somente o trator e o trator com a enfardadora desligada

Tratamentos	Potência no motor (cv)
T1	13,03 c
T2	4,64 a
T3	5,34 b
Trator	3,89 a
Trator + enfardadora desligada	5,01 b
C V (%)	47,19
DMS	1,15

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

2.3.2 Condição do Solo

Os dados mostrados na Tabela 13 indicam que não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, no que diz respeito à umidade e granulometria do solo da área experimental, no momento das operações de enfardamento. Portanto não devem ser responsáveis por diferenças ocorridas entre os tratamentos nos demais parâmetros estudados.

Tabela 13 - Umidade percentual e análise granulométrica do solo na área experimental

Tratamento	Umidade (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)
T1	23,70 a	52,95 a	13,81 a	33,22 a
T2	24,32 a	55,05 a	13,57 a	30,86 a
T3	27,14 a	55,56 a	14.99 a	29,95 a
CV (%)	18,52	4,47	21,25	9,85
DMS	8,4	4,14	5,43	5,58

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

2.3.3 Características do palhiço

Os teores de umidade e de terra agregada no palhiço, antes do enfardamento, têm seus valores médios apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Resultados médios de teores de umidade (U) e de terra agregada (T) no palhiço antes do enfardamento

Tratamentos	U (%)	DP	CV	T (%)	DP	CV
T1	22,99	6,64	28,88	1,45	1,59	109,04
T2	10,52	7,32	69,60	1,47	0,68	45,96
T3	5,65	2,82	49,95	1,23	0,56	45,86

Pela Tabela 14 pode-se observar que ocorreu significativa diferença entre o grau de umidade entre os três tratamentos. A ação de enleiramento concorreu para essa diminuição. A provável explicação para o fato é de que, o palhiço in natura, apresenta, proporcionalmente, uma quantidade maior de umidade por ter maior quantidade de material em contato direto com o terreno.

Por sua vez, como a regulagem dos ancinhos foi efetuada de maneira a recolher o mínimo possível de material que estava em contato com o terreno explicam-se os valores da Tabela 14.

Quanto aos Coeficientes de variação e desvios padrão são considerados elevados, porém, esperados devido à enorme diversidade com que o palhiço é lançado sobre a área colhida mecanicamente, em função da operação das colhedoras de cana-de-açúcar.

A Tabela15 apresenta os valores médios obtidos nos 3 tratamentos, em relação a percentagem de terra agregada e de umidade do palhiço enfardado. Pelos dados observa-se que os valores foram bastante satisfatórios e estão dentro de valores encontrados na bibliografia. A amostra que apresentou maior umidade continha 11,12 % de umidade e 2,55 % de terra.

Tabela 15 – Resultados médios do teor de terra agregada (%) e de Umidade (%) contidos no palhiço enfardado

	Terra (%)	Umidade (%)
Médias	1,66	8,77
D.P.	0,60	3,31
CV	25,82	37,72

2.3.4 Características dos fardos

Os resultados apresentados na Tabela 16 mostram que não houve diferenças significativas nos valores médios de largura dos fardos, os valores de altura mostram diferenças estatísticas entre os tratamento, porém pequenas em valores absolutos, evidenciando serem características da própria enfardadora. Quando são analisados os valores médios de comprimento de fardo nota-se que no tratamento T3 os valores são estatisticamente menores do que nos tratamentos T1 e T2, em função de alterações nas regulagens da enfardadora para evitar o rompimento dos fios de amarração dos fardos.

Quando se compara a distância média entre os fardos, no tratamento T1 nota-se que foi necessário que o conjunto trator-enfardadora percorresse uma distância maior para a produção de um fardo, quando comparado com os tratamentos T2 e T3. Isso ocorreu porque nos tratamentos T2 e T3 o palhiço estava enleirado, aumentando, desse modo, a quantidade de material que alimenta a enfardadora.

A massa média dos fardos foi estatisticamente menor no tratamento T3 (19,29 kg) quando comprada com os valores de massa média dos fardos oriundos dos tratamentos T1 e T2, que foram: 22,12 kg e 22 kg, respectivamente.

Não houve diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos quanto ao volume dos fardos. Como o volume não diferiu e a massa dos fardos sim, no tratamento T3 a massa específica dos fardos foi menor, o que é explicado pelo fato da alimentação da máquina ser maior durante a operação de enfardamento e os fios de amarração dos fardos se rompiam com freqüência, necessitando diminuir a pressão das molas responsáveis pela compactação dos fardos.

Os valores médios de massa específica dos fardos obtidos nesse ensaio e sua relação com os tipos de enleiramento (simples e duplo) estão em conformidade com alguns dados da literatura. No Projeto BRA/96/G31, Coopersucar (1998b), em estudos de viabilidade de recolhimento de palhiço, foram avaliados fardos provenientes de diversas enfardadoras e obtiveram valores de massa específica que variaram de 94,7 a 118,0 $kg.m^{-3}$ para enfardamento com enleiramento prévio e valores de 107,5 a 129,3 $kg.m^{-3}$ para enfardamento sem enleiramento. Bizuti (2003), trabalhando com enfardadora cilíndrica, alcançou resultado de massa específica média de 168,3 $kg.m^{-3}$ para enleiramento simples e 191,6 $kg.m^{-3}$ para enleiramento duplo. Ripoli et al. (2004) trabalhando com enleiramento simples obtiveram valores de massa específica dos fardos de 206 $kg.m^{-3}$. Lima (2002) relata que, enfardando palhiço com prensa de enfardar algodão, encontrou valores médios de massa específica de fardos de 190 $kg.m^{-3}$.

Tabela 16 - Características dimensionais médias dos fardos nos três tratamentos

Trat.	Lagura (cm)	Altura (cm)	Compr. (cm)	Dist. (m)	Massa (kg)	Volume (m^3)	Massa específica ($kg.m^{-3}$)
T1	47,31 a	36,08 b	96,43 a	16,39 a	22,11 a	0,16	134,61 a
T2	47,08 a	35,00 c	97,56 a	6,67 b	22,05 a	0,16	135,96 a
T3	47,25 a	37,41 a	94,41 b	5,73 b	19,24 b	0,16	117,39 b
C V(%)	1,07	1,30	4,07	41,43	15,38	2,2	15,42
DMS	0,51	0,48	1,56	1,61	1,26	0,0037	7,74

Notas: Trat. = Tratamento; Compr. = Comprimento dos fardos; Dist. = Distância entre os fardos. Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Conforme mostrado na Tabela 17, a distância média entre leiras na operação de enfardamento duplo foi estatisticamente superior à distância no enleiramento simples. Apesar de o enleiramento duplo utilizar duas passadas do ancinho para confecção da leira, contra uma passada no tratamento com enleiramento simples, a

distância média entre leiras no enleiramento duplo foi apenas 23,61% maior do que no enleiramento simples. Isso ocorreu devido à segunda passada do ancinho sobrepor, parcialmente, a primeira passada.

Tabela 17 - Médias das distâncias entre os centros das leiras, desvio padrão das médias e coeficiente de variação, para os tratamentos T2 e T3

Tratamento	Distância Média entre Leiras (m)	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação (%)
T2	3,6 a	0,39	10,84
T3	4,45 b	0,29	6,56
C V (%)	6,97		
DMS	0,11		

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

2.3.5. Capacidade efetiva

Na Tabela 18 são apresentados os valores médios das velocidades efetivas de enfardamento, tempos consumidos para confecção de um fardo, números de fardos produzidos em uma hora, capacidade de produção efetiva, capacidade de campo efetiva e produtividade.

A maior velocidade média de enfardamento (4,90 $km.h^{-1}$) foi conseguida quando o enfardamento ocorreu em área sem enleiramento (T1). No tratamento com enleiramento simples a velocidade de enfardamento (2,45 $km.h^{-1}$) foi metade da velocidade em T1. O conjunto trabalhou à velocidade média de 1,73 $km.h^{-1}$ no tratamento que utilizou enleiramento duplo (T3). A diminuição da velocidade de trabalho nos tratamentos onde houve o enleiramento do palhiço (T2 e T3) ocorreu porque a enfardadora não conseguiu recolher essa maior quantidade de material na mesma velocidade que recolheu o palhiço não enleirado.

Tabela 18 - Velocidade média de deslocamento, tempo para confecção por unidade de fardo, número de fardos confeccionados por hora, capacidade de produção efetiva, capacidade de campo efetiva e produtividade de enfardamento nos três tratamentos

Trat.	Veloc. ($km.h^{-1}$)	Tempo por Fardo (s)	N. Fardos por hora	Cap. Prod. Efetiva ($t.h^{-1}$)	Cap. Campo Efetiva ($ha.h^{-1}$)	Produt. ($t.ha^{-1}$)
T1	4,9 a	12,04 a	296,12	6,55	0,85	7,75
T2	2,45 b	9,79 b	367,63	8,10	0,88	9,20
T3	1,73 c	11,91 a	302,09	5,81	0,77	7,54
C V (%)	25,58	37,48				
DMS	0,20	1,59				

Notas:Trat. = Tratamento; Velc. = Velocidade de deslocamento durante a operação; N. fardos por hora = Número de Fardos confeccionados por hora; Cap. Prod. Efetiva = Capacidade de Produção Efetiva; Cap. Campo Efetiva = Capacidade de Campo Efetiva; Produt. = Produtividade. Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

Apesar da velocidade de trabalho ser maior no tratamento T1, no tratamento T2 o conjunto demandou menos tempo para a confecção de um fardo. Isso se explica pela maior quantidade de palhiço recolhido pela enfardadora por unidade de tempo. De modo geral a velocidade de operação foi limitada pela capacidade da enfardadora recolher e processar o material, uma vez que a demanda de potência na operação foi pequena, conforme consta na Tabela 18.

O tratamento T2 apresentou os melhores valores de capacidades efetivas, 8,1 toneladas de material enfardado por hora e 0,88 hectares enfardados por hora. O mesmo tratamento foi também o que recolheu maior quantidade de palhiço por unidade de área, 9,20 toneladas por hectare. No tratamento T3, embora as leiras fossem formadas por maior quantidade de palhiço, a enfardadora não conseguiu recolher todo material enleirado, restando nas leiras uma quantidade maior do que sobrou nas leiras no tratamento T 2, dessa forma a produtividade de T2 foi maior que T3. Aliado a isso, outro fato que contribuiu negativamente para o desempenho efetivo do T3 foi a pequena velocidade operacional (1,73 $km.h^{-1}$), proporcionando menor capacidade de produção

efetiva (5,81t.ha^{-1}), menor capacidade de campo efetiva(0,77ha.h^{-1}) e menor quantidade de material recolhido por área (7,54 t. ha^{-1}).

A quantidade de palhiço recolhido por área, nesse trabalho, variou de 7,54 a 9,2 t.ha^{-1}, semelhantes aos resultados obtidos por Molina Júnior (1991), que recolheu, em média, 9,5 t.ha^{-1} de resíduo de cana-de-açúcar em área com colheita mecanizada.A retirada de parte do palhiço propicia maior facilidade nos tratos de soqueira, uma vez que Carvalho (1996) relata que apesar das vantagens, quanto ao aspecto ambiental, a grande quantidade de palhiço deixado pela colheita mecanizada de cana interfere e dificulta os tratos culturais pós-colheita; e segundo Timm (2002) a cobertura da superfície do solo por grande quantidade de palhiço afetou negativamente o desenvolvimento da cultura.

Na Tabela 19 estão dispostos os valores de consumo efetivo de combustível do conjunto mecanizado trator-enfardadora, nos três tratamentos em que foi submetido.

Tabela 19 - Consumo efetivo de combustível, nos três tratamentos

Tratamento	Consumo Combustível		
	(L.h^{-1})	(L.ha^{-1})	(L.t^{-1})
T1	7,86 a	9,5 a	1,20
T2	7,48 b	8,7 b	0,92
T3	6,54 c	8,54 b	1,13
C V (%)	25,58	29,73	
DMS	0,20	0,29	

Notas: Médias nas colunas, seguidas de letras diferentes, diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância

O tratamento T3 foi o que apresentou o menor consumo efetivo por unidade de tempo, 6,54 L.h^{-1}, provavelmente devido à menor velocidade de trabalho durante o enfardamento, seguido dos tratamentos T2 e T3 em ordem crescente. Quando comparados os valores de consumo efetivo de combustível, por unidade de área, os tratamentos mostram comportamento semelhante à situação anterior. A análise do consumo de combustível por tonelada enfardada mostra que o tratamento de

enleiramento simples (T1) demandou menor consumo em relação aos demais sistemas em virtude de apresentar maior produção por área. Os outros tratamentos apresentaram valores, de consumo por tonelada, muito parecidos entre si. O consumo de combustível por tonelada de palhiço recolhido nesse ensaio está dentro dos padrões da literatura, que mostra valores que variam conforme a máquina utilizada, condições operacionais, quantidade de palhiço, etc. Bizuti (2003) trabalhou com enfardadora cilíndrica no recolhimento de palhiço enleirado com uma e duas passadas do ancinho enleirador. O autor cita que as capacidades efetivas, apresentadas pela enfardadora, foram de 8,5 $t.h^{-1}$ para condição de enleiramento com uma passada e de 12,9 $t.h^{-1}$ para duas passadas e o consumo de combustível foi de 0,64 $l.t^{-1}$ e 0,43 $l.t^{-1}$ respectivamente. Franco (2003) obteve consumo de 3,3 $l.t^{-1}$ na operação de enfardamento de palhiço com enfardadora autopropelida.

2.3.6 Desempenho econômico

As análises a seguir são baseadas somente na operação de recolhimento do palhiço, não estão considerados os custos de enleiramento, carregamento, transporte e descarregamento do palhiço.

Os custos do trator e da enfardadora na operação de enfardamento estão dispostos na Tabela 20.

O trator apresentou menor custo hora quando trabalhou no tratamento T3, isso porque o custo variável do mesmo foi menor nessa condição, já que o trator consumiu menos combustível quando submetido a esse tratamento.

Os tratamentos T1 e T3 apresentaram os menores custos para a enfardadora, devido ao custo variável no tratamento T2 ter sido aproximadamente 20 % maior do que nos outros tratamentos, em função da maior capacidade de produção de fardos por unidade de tempo e conseqüentemente gastar maior quantidade de fios de amarração dos fardos.

Tabela 20 - Custo hora do trator e da enfardadora

Tratamentos	Custos – Trator			Custos – Enfardadora		
	Fixo ($R\$.h^{-1}$)	Variável ($R\$.h^{-1}$)	Total ($R\$.h^{-1}$)	Fixo ($R\$.h^{-1}$)	Variável ($R\$.h^{-1}$)	Total ($R\$.h^{-1}$)
T1	10,53	20,15	30,68	5,93	24,52	30,45
T2	10,53	19,46	29,99	5,93	28,81	34,74
T3	10,53	17,77	28,30	5,93	24,88	30,81

Os custos horários e operacionais do conjunto mecanizado estão apresentados na Tabela 21. O conjunto apresentou o maior custo hora total quando submetido ao tratamento T2, isso é explicado pelo maior custo variável do conjunto nesse tratamento (Tabela 20), porém sob essas mesmas condições o conjunto apresentou os menores custos por área, por tonelada enfardada e por fardo. Esse comportamento dos custos é explicado pela maior capacidade efetiva e maior quantidade de palhiço recolhido pelo conjunto nas condições do tratamento T2. Embora o tratamento T2 tenha apresentado o menor custo por tonelada de palhiço recolhida, os custos da operação de enfardamento apresentados pelos três tratamentos estudados estão semelhante ao custo citado por Franco (2003), que trabalhou com máquina autopropelida no enfardamento de palhiço e obteve custo de R$ 9,17. t^{-1} recolhida.

Tabela 21 - Custos do conjunto mecanizado

Tratamentos	Custos Hora			Custos Efetivos		
	Fixo ($R\$.h^{-1}$)	Variável ($R\$.h^{-1}$)	Total ($R\$.h^{-1}$)	$R\$.ha^{-1}$	$R\$.ton^{-1}$	$R\$.fardo^{-1}$
T1	16,46	44,67	61,13	71,92	9,33	0,21
T2	16,46	48,27	64,73	69,47	7,45	0,17
T3	16,46	42,65	59,11	79,39	10,49	0,20

2.3.7 Eficiência e potencial energético da operação de enfardamento

Os valores de eficiência energética da Tabela 22 referem-se somente a operação de enfardamento, não estão consideradas as operações de enleiramento, carregamento, transporte e descarregamento do palhiço.

Os resultados apresentados mostram valores de eficiência energética da ordem de 99%, com variação muito pequena entre os três tratamentos estudados. Esses valores são parecidos com os encontrados por Torrezan (2003) que, trabalhando com enfardadora de fardos prismáticos, obteve eficiência energética de 99,61% no enfardamento de palhiço com enleiramento simples, 99,77 % com enleiramento duplo e 99,60% no enfardamento com enleiramento triplo. Esse autor também calculou a eficiência energética do enfardamento a partir de dados citados por Molina Junior (1995) e obteve valores de 99,01% e 98,65%%. Bizuti (2003), trabalhando com enfardadora de fardos cilíndricos, encontrou valores de eficiência energética de 99,93%. Os valores resultantes desse ensaio estão em conformidade com a literatura e mostram que a eficiência energética da operação de recolhimento de palhiço praticamente não sofre alterações em função do sistema de enleiramento.

Os potenciais energéticos do palhiço recolhido nos tratamentos estudados são mostrados na Tabela 20 e variaram de 9,92 EBP.ha^{-1} a 11,77 EBP.ha^{-1} . Devido à maior quantidade de palhiço recolhido (Tabela 18), o enfardamento com enleiramento simples (T2) apresentou maior potencial energético quando comparado com os tratamentos sem enleiramento (T1) e com enleiramento duplo (T2). Esse resultado está em conformidade com a literatura, Ripoli (2002), estudando a distribuição espacial da produção de palhiço, relata ter obtido valores que variaram de 6,33 EBP.ha^{-1} a 17,8 EBP.ha^{-1} , com média de 11,22 EBP.ha^{-1} .

Tabela 22 – Eficiência e potencial energético da operação de enfardamento

Tratamentos	Eficiência Energética (%)	EBP.ha^{-1}
T1	99,62	9,920
T2	99,71	11,776
T3	99,64	9,651

2.3.8 Ponto de ruptura dos fios que amarram os fardos

O fio de nylon apresentou maior resistência e uniformidade, quando comparada com o fio de sisal, o qual foi utilizado na confecção dos fardos desse trabalho. A utilização de fios mais resistentes e ou mais homogêneos permitem o aumento, desejável, na densidade dos fardos, característica importante para diminuição do custo de transporte.

Em função dos picos mínimos e máximos obtidos, conforme a Tabela 23, pode-se afirmar que a qualidade do fio de sisal é inferior ao nylon, pois este apresentou menores variações.

Tabela 23 – Resultados do teste de tração dos fios utilizados para amarrar os fardos

Material	Força média (kgf)	Desvio Padrão	C.V. (%)	Pico Mínimo de força (kgf)	Pico Máximo de força (kgf)
Sisal	84,07	22,07	26,25	46,04	100,60
Lylon	117,88	17,64	14,97	102,30	136,00

3 CONCLUSÕES

De modo geral as demandas de potência e força de tração exigidas para o deslocamento do trator+enfardadora foram baixas podendo, dessa forma, reservar a maior parcela para o acionamento da TDP.

A opreração de enleiramento reduziu drasticamente os teores de umidade do palhiço, principalmente o enleiramento duplo. Os teores de terra aderida no palhiço não sofreram alterações em função do enleiramento.

A capacidade efetiva do protótipo pode ser considerada adequada para pequenos e médios fornecedores de cana-de-açúcar. Para empresas de maior porte, como usinas e destilarias, está aquém do ideal.

O custo por tonelada enfardada está dentro de valores aceitáveis, levando-se em conta o desempenho efetivo do protótipo e o melhor desempenho econômico foi mostrado pelo tratamento com enleiramento simples.

A eficiência energética da operação de enfardamento foi alta nos três tratamentos.

Os fios de sisal devem ser substituídos por fios de nylon.

O tamanho dos fardos não permite sua utilização direta nas caldeiras, mesmo porque, a maioria das existentes nas usinas e destilarias, apresenta em seu duto de entrada um mecanismo dosador para entrada de material (seja bagaço ou palhiço).

O peso médio e a densidade dos fardos é um aspecto que precisa ser ampliado, pois, nas atuais condições, exigirá excessivo manejo por unidades de carregadora, elevando sobremaneira o custo desta operação, bem como do transporte até a unidade industrial.

Considerando-se as inúmeras variáveis, intervenientes nos 3 tratamentos, entende-se que a melhor opção para o uso desta enfardadora é operação em área com enleiramento simples do palhiço.

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.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE standards 1999**: standards engineering practices data. San Joseph, 1999. p. 359-366. (ASAE D497.4 JAN98).

_____. **Agricultural machinery management data D497**. St. Joseph, 1992. 7p.

ANDRADE, L.A.B. de; CORREA, J.B.D.; ANJOS, I.A. dos; FIGUEREDO, P.A.M.; CARVALHO, G.J. Efeitos dos restos culturais da colheita de cana-de-açúcar com e sem queima prévia, na incidência de plantas infestantes e na produtividade da soqueira. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos,** Piracicaba, v. 18, n. 1, p. 34, set./out. 1999.

AREVALO, R.A.; BERTONCINI, E.I. Manejo químico de plantas daninhas nos resíduos de colheita de cana crua. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 36-38, mar./abr. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Carvão vegetal: determinação do poder calorífico** – método de determinação; NBR 8633. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

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: Gênesis, 1999. p. 9-26.

BICUDO, S.J.; BENEZ, S.H.; LANÇAS, K.P.; FURLANI JUNIOR, J.A.; GAMERO, C.A. Demanda energética dos subsoladores em função da largura da sapata, profundidade e espaçamento das hastes. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 2, p. 33-38, 1987.

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

BRAUNBECK, O.A.; BANCHI, A.D. Carregamento mecânico – redução de impurezas minerais. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, Piracicaba, n. 43, p. 35-42, jul.1988.

BRAUNBECK, O.A.; MACEDO, I.; CORTEZ, L. Increasing the available biomass from sugarcane for energy conversion. In: INTERNATIONAL WORKSHOP IMPLEMENTATION STRATEGIES FOR BIOMASS UTILIZATION IN EUROPE AND DEVELOPING COUNTRIES, 2001, Eskilstuna **Proceedings…** Eskilstuna: Stadshotellet, 2001. p. 19-21.

BRITO, S.S. Energia de biomassa: uma alternativa para os trópicos. In: CONGRESSO PANAMERICANO DE ENERGIA, 3., 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CONFEA, CREA, 1986. p. 1-20.

BURT, E.C.; BAILEY, A.C.; PATTERSON, R.M.; TAYLOR, J.H. Combined effects of dynamic load and travel reduction on tire performance. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 1, p. 40-45, 1979.

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.

CASTRO, M. A luz que vem da cana. **Jornal da Cana**, Ribeirão Preto, n. 91, p. 38-39, jul. 2001.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M; FEIGL, B J; PICCOLO, M C; CERRI, C.E.P. Balanço de gases nos sistemas de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM

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

CHRISTOFFOLETI, P.J. Controle de plantas daninhas na cultura da cana-de-açúcar através de herbicida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 21., 1997, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBPCD, 1997. p. 253.

COCK, J.; BRICEÑO, C.O.; TORRES, J. Energy from cane trash in Colombia. **International Cane Energy News**, Arlington, p. 6, Apr. 2000.

COLLINS, B.A.; FOWLER, D.B. Effects of soil characteristics depth, operating speed, and opener design on draft force during direct seeding. **Soil & Tillage Research**, Amstedam, v. 39, p. 199-211, 1996.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira:** primeiro levantamento de cana-de-açúcar, abril 2009. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/ safra/1cana_de_acucar.pdf>. Acessado em: 03 maio 2009.

COPERSUCAR - PROJETO BRA/96/G31. Enfardamento da palha. In: PROJETO BRA/96/G31: Geração de energia por biomassa, bagaço da cana-de-açúcar e resíduos. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 6, p. 44-46, jul./ago. 1998a.

_____. Impactos ambientais do uso em larga escala de sistemas BIG-GT na indústria da cana-de-açúcar. In: PROJETO BRA/96/G31: Geração de energia por biomassa, bagaço da cana-de-açúcar e resíduos. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 16, n. 5, p. 36-39, maio/jun. 1998b.

_____. Geração de energia por biomassa bagaço da cana-de-açúcar e resíduos. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 17, n. 3, p. 66-68, jan./fev. 1999.

_____. Efeito agronômico do palhiço remanescente de canaviais colhidos mecanicamente sem a utilização da queimada. **Cenbio Notícias**, v. 4, n. 12, 2001a. Disponível em: <http://www.cembio.orb.br/index1.html>. Acessado em: 21 fevereiro 2008.

_____. Disponibilidade da palha de cana de açúcar. **Cenbio Noticias**, v. 4, n. 12, 2001b. Disponível em: <http://www.cembio.orb.br/index1.html>. Acessado em: 21 fevereiro 2008.

CORREA, I.M.; YANAI, L.; FERRETI, G.; MOLINA JUNIOR, W.F. Pneu radial convencional versus pneu diagonal: desempenho em operação agrícola. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n. 5, p. 18, 20-21, 1997.

DATACOGEN (2007). **Empreendimentos que empregam a cogeração no Estado de São Paulo.** Disponível em: <http://www.datacogen.com.br/datacogen/empr_estado_sp .asp>. Acesso em 05 jan. 2007.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique dês bois tropical. **Bois et Forets des Tropiques**, Montpellier, v. 172, p. 33-55, Mar./Avr. 1977.

DUARTE, L.P.; MATTOS, Z.P.; NORONHA, J.F.; BALASTREIRE,L.A. **Custo dos serviços de máquinas e implementos agrícolas.** Piracicaba: ESALQ, Depto. Economia e Sociologia Rural, 1988. 32 p. (Manual, 14).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Consumo de energia elétrica no Brasil. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica,** ano 1, n. 5, 2008. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Forms/EPEResenhaMensal.aspx>. Acessado em 26 fevereiro 2008.

FAO 2009 Disponível em: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID =567#ancor>. Acessado em: 30 maio 2009.

FORUM DE COGERAÇÃO E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA, 2001, Piracicaba. **Anais...** São Paulo: INEE, 2001. 49 p.

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 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração 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, C.E.A.; GAMERO, C.A.; LEVIEN, R. Semeadora-adubadora de fluxo contínuo: Desempenho operacional em função de diferentes condições de preparo e cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 60-67, 2002.

FURLANI NETO, V.L. **Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp)**: avaliação em canaviais com sem queima prévia. 1995. 110 p. Tese (Doutorado em área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura '"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FURLANI NETO, V.L.; RIPOLI, T.C.; VILLANOVA, 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, mar/abr. 1997.

GARCIA, M.A.L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar.** 2008. 78 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GOLDEMBRG, J.; COELHO, S.MG. Present status of biomass use in Brazil. In: INTERNATIONAL SEMINAR USP–PETROBRÁS ON BIOMASS FOR ENERGY PRODUCTION, 2000, São Paulo. **Seminário…** São Paulo: COPERSUCAR, 2000. 49p.

GOMIDE, M.B. **Potencialidades alelopaticas dos restos culturais de dois cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp), no controle de algumas plantas daninhas**. 1993. 96 p. Tese (Doutorado em área de concentração Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

GOPINATH, S. Development of cane trash as alternative biomass fuel in India. In: REPSO – RENEWABLE ENERGY PROJECT SUPPORT OFFICE OF WINROCK INTERNATIONAL, 1998, New Delhi. **Proceedings…** New Delhi: Indian-Sugar, 1998. p. 321-327.

GRAHAM, R.L. Biomass, energy, and environment. **Forest Ecology and Management.** Diboll, v. 94, n. 1/3, p. 93-95, June 1997.

HOBSON, P.A.; DIXON, T.F.; HOGARTH, D.M. Gasification technology – prospects for large-scale, high-efficiency cogeneration in the Australian sugar industry. In:

CONFERENCE OF THE AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 20., 1998, Balina. **Proceedings…** Balina: PK, 1998. p. 1-9.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9th ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 363 p.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L.L.; MILES JUNIOR, T.R.; MILES, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology,** Park, v. 54, n. 1/3, p. 17-46, Mar. 1998.

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

KOOPMANS, A.; KOPPEJAN, J. Agricultural and forest residues: Generation, utilization a availabability. In: REGIONAL CONSULATION ON MODERN APPLICATIONS OF BIOMASS ENERGY, 1997, Kuala Lapur. **Paper...** Kuala Lapur: FAO, 1997. 23 p.

LANÇAS, K.P.; LOPES, A.; FURLANI, C.E.A.; NAGAOKA, A.K.; KRONKA, S.N. Avaliação da resistência ao rolamento do rodado de um trator agrícola em função do tipo construtivo, da lastragem e da velocidade de deslocamento em condição de campo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 20, n. 2, p. 171-178, maio 2000.

LEVIEN, R.; GAMERO, C.A.; FURLANI, C.E.A. Desempenho de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, em semeadura de aveia preta após a cultura do milho, sob diferentes preparos do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 145-151, 2001.

LILJEDAHL, J.B.; CARLETON, W.M.; TURNQUIST, P.K.; SMITH, D.W. Traction. In: **Traction and their power units**. Connecticut: Avi Publ., 1995. p. 219-226.

LIMA, L.O.T.C. Com maior densidade. **Idea News**, Ribeirão Preto, n. 19, p. 28-31, abr. 2002

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.

_____. Tiririca: uma séria ameaça aos canaviais. **Boletim Técnico COPERSUCAR**, Piracicaba, v. 35, p. 3-10, 1986.

MACHADO, R.L.T.; MACHADO, A.L.T.; TURATTI, A.L.; REIS, A.; ALONÇO, A.S. Avaliação do desempenho de escarificador em planossolo. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 2, n. 3, p. 151-154, set./dez. 1996.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Ceres, 1974. 301 p.

_____. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU; EDUSP, 1980. v. 2, 345 p.

_____. **Gerência de sistema tratorizado vs operação otimizada de tratores**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 30 p.

_____. **Máquinas agrícolas**: ensaios & certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. 722 p.

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.

MICHELAZZO, M.B. **Análise de sensibilidade de seis sistemas de recolhimento de palhiço da cana de açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração Máquina Agrícolas) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. Campinas 2005.

MOLINA JÚNIOR, W.F. **Enfardamento de resíduo de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**: avaliação dos desempenhos operacional e econômico. 1991. 101 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração Máquina Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura ‘”Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

MOLINA JÚNIOR, W.F.; RIPOLI, T.C.C.; COELHO, J.L.D.; BRITO, J.O. Energia potencial da biomassa não industrializável de canaviais para emprego como combustível. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: SBEA, 1995. p. 142.

MORAES, E.E.; HASSUANI, S.J. Colheita de cana sem queimar e aproveitamento dos resíduos vegetais. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Seminário...** São Paulo: COPERSUCAR, 1994. p. 305-308.

OFFICE OF ENERGY BUREAU OF SCIENCE AND TACHNOLOGY; USAID/THAILAND. **Baling sugarcane tops and leaves**: the Thai experience. Virginia: Winrock International Institute for Agricultural Development, 1991. 90 p.

OLIVEIRA, J.G. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista.** 2007. 159 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração de Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

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.

PINTO, L.A.R. Aproveitamento do bagaço e da palha de cana-de-açúcar em programas energéticos comunitários **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 63,

p. 34-37, jul/ago. 1992.

QUINTELA, A.C.R. **Controle de plantas daninhas e rendimentos de cana crua, no sistema integrado palhiço, herbicida e vinhaça**. 2001. 75 p. Tese (Doutorado em área de concentração Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

RIPOLI, M.L.C. **Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e do seu potencial energético**. 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura ‘”Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RIPOLI, M.L.C.; TORREZAN, H.F.; RIPOLI, T.C.C.; GAMERO, C.A. Windrow and prismatic baling of sugar cane vegetal residues: some operational parameters and energetic efficiency. In: ASAE /CSAE MEETING, 2004, **Paper.** 2004. paper, 046171.

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. **Utilização do material remanescente de colheita de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*):** equacionamento dos balanços energético e econômico. Piracicaba, 1991. 150 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

_____. Algumas considerações sobre palhiço como fonte de energia. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CANA & ENERGIA, 2001, Ribeirão Preto. Ribeirão Preto: Instituto Nacional de Eficiência Energética; Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial, 2001. 32p.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita energia e ambiente. Piracicaba: Ed. dos autores, 2004. 209 p.

RIPOLI, T.C.C.; MOLINA JUNIOR, W.F.; STUPIELLO, J.P.; NOGUEIRA, M.C.; SACCOMANO, J.B. Potencial energético de resíduos de colheita de cana verde. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.10, n.1, p.23-26, set./out. 1991.

RIPOLI, T.C.C.; BALASTREIRE, L.A.; MOLIN, J.P.Sugar cane biomass energy in Brazil. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON AGRICULTURAL ENGINEERING, 13., 1998, Morocco. **Proceedings...** Morocco: ICAE, 1998. v. 4, p. 51-57.

RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; BRITO, J.O. Queima de canavial: o desperdício não mais admissível! **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 10, n. 54, p. 18-23, jul./ago. 1990.

RIPOLI, T.C.C.; TILLMAN, C.A.C.; MILAN, M. O corte manual da cana verde. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 77, p. 28-30, dez/jan. 1994/1995.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDI, D.V.; IDE, B.Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba, 2006. 216 p.

ROSILLO-CALLE, F.; BAJAY, S.V.; ROTHMAN, H. (Ed.). **Industrial uses of biomass energy**. London: Taylor-Francis, 2000. 277 p.

SANTISIRISOMBOON, J.; LIMMEECHOKCHAI, B.; CHUNGPAIBULPATANA, S. Impacts of biomass power generation and CO_2 taxation on electricity generation expansion planning and environmental emissions. **Energy Policy**, Chabanais, v. 29, n. 12, p. 975-985, Oct. 2001.

SARRIÉS, G.A. **Controle estatístico da qualidade para impurezas minerais em carregamentos de cana-de-açúcar**. 1997. 88 p. Tese (Doutorado em área de concentração Estatística e Experimentação Agrícola) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba: 1997.

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 Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2001.

SAYIGH, A. Biomass: renewable energy – the way forward. **Fuel Processing Technology**, Park, v.59, n.1, p.15-30, Apr. 1999.

SHUKLA, G.L.; PRABHU, K.A.; SINGH, G.B.; SOLOMONS, S. **Sugarcane:** agro-industrial alternatives. New Delhi: Oxford & IBH, 1995. p.157-170.

SILVA, S.L.; BENEZ, S.H.; RICIERI, R.P.; PEREIRA, J.O. Demanda energética em sistema de semeadura direta em milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. 1 CD-ROM.

SILVEIRA, J.C.M.; GABRIEL FILHO, A.; SECCO, D. Demanda de potência e força de tração de uma semeadora na implantação do milho safrinha sob plantio direto. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 4, p. 256-267, out./dez. 2005.

SRIVASTAVA, A.K.; GOERING, C.E.; ROHRBACH, R.P. Hay and forage harvesting. In: _____. **Engineering principles of agricultural machines**. Michigan: Pamela DeVore-Hansen, 1994. chap. 8 p. 326-406

STANIFORTH, A.R. Straw for fuel. In: _____. **Straw for fuel, feed and fertilizer?** London: Farming, 1982. p. 40-69.

STOUT, B.A. Another alternative: energy from agriculture. In: _____. **Energy use and management in agriculture**. New York: Breton, 1984. p. 169-244.

SUGUITANI, C.; GHELLER, A.C.A.; MENEGHIN, 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.

TILLMANN, C.A.C. **Avaliação de desempenho operacional e econômico de sistema de colheita semi-mecanizada em cana-de-açúcar, com e sem queima prévia**. 1994. 140 p. Dissertação (Mestrado em área de concentração Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura '"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

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.

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

WALTER, A.C.S. Potencial energético da cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 11, n. 4, p. 29-34, mar/abr. 1993.

WHITE, L. P.; PLASKETT, L.G. **Biomass as fuel**. London: Academic Press, 1981. 213 p.

WOOD, J.; HALL, D.O. **Bioenergy for development:** technical and environment dimensions. Rome: FAO, 1995. 300 p.

ZOZ, F.M. **Predicting tractor field performance** (updated). St. Joseph: ASAE, 1987. 15 p. (ASAE Paper, 87-1623).