



AValiação DO DESEMPENHO OPERACIONAL E ECONÔMICO DE ENFARDADORAS DE PALHIÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO DIFERENTES VOLUMES DE ALEIRAMENTO

Anderson Ravanny de Andrade Gomes¹, Tiago Pereira da Silva Correia², Lia Harumi Kato¹, Diego de Lira Eiras³ & Paulo Roberto Arbex Silva⁴

RESUMO: Observando o potencial energético do palhiço da cana-de-açúcar, iniciou o recolhimento dessa biomassa, realizado pelas máquinas enfardadoras. O recolhimento mecanizado do palhiço encontra alguns entraves como altos custos, heterogeneidade e baixa densidade do palhiço, além de se utilizar, atualmente, equipamentos de baixa capacidade operacional e custos elevados, por serem equipamentos adaptados para colheita de forragens. O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho operacional e econômico do enfardamento de palhada de cana-de-açúcar utilizando duas enfardadoras em dois volumes diferentes de palha aleirada. O ensaio foi realizado durante a safra 2014, em área de produção de cana-de-açúcar da usina canavieira Caeté S/A, localizada no município de São Miguel dos Campos – AL. Foram ensaiados dois modelos de enfardadoras de fardos prismáticos retangulares, em dois volumes diferentes de aleiramento do palhiço, e os tratamentos consistiram em: E₁V₁ (Enfardadora 1 – 50% de volume de palhiço enleirado), E₂V₁ (Enfardadora 2 – 50% de volume de palhiço enleirado), E₁V₂ (Enfardadora 1 – 90% de volume de palhiço enleirado) e E₂V₂ (Enfardadora 2 – 90% de volume de palhiço enleirado). A enfardadora 2 apresentou Cct e Cco melhores (6,57 e 5,87 ha h⁻¹) respectivamente. O menor custo operacional foi obtido no tratamento E1V1, de R\$750,34 h⁻¹. O tratamento E2V2 apresentou menor custo por fardo produzido e por tonelada de matéria seca de palha enfardada (MS), R\$16,17 fardo⁻¹ e R\$30,84 Ton.MS⁻¹ respectivamente.

Palavras-chave: Biomassa, Enfardamento, Custo.

OPERATIONAL AND ECONOMIC PERFORMANCE EVALUATION OF SUGAR - CANE STRAW PRISMATIC BALES USING DIFFERENT AMOUNTS OF STRAW ACCUMULATED

ABSTRACT: Considering the sugar cane straw energy potential, this biomass started to be collected by baling machines. It's mecanized harvesting face some obstacles such as high costs, heterogeneity and low density of the straw. In addition there are low operational capacity and high costs, since equipment are adapted from fodder harvesting. This study aimed to evaluate the operational and economic performance of baler machines using two balers with different amounts of straw accumulated. The experiment was carried during the 2014 sugarcane harvest, at Caeté S / A, located in São Miguel dos Campos, Alagoas States, Brazil. Two models of rectangular prismatic balers machines were tested with two different amounts of straw accumulated,: E1V1 (Baler 1 - 50% amounts of straw accumulated), E2V1 (Baler 2 - 50% amounts of straw accumulated) E1V2 (Baler 1 - 90% amounts of straw accumulated) and E2V2 (Baler 2 - 90% amounts of straw accumulated). The baler machine 2 presented better theoretic field capacity and operational field capacity (6.57 and 5.87 ha⁻¹ respectively). The lowest operating cost was obtained in the E1V1 treatment, from R \$ 750.34 h⁻¹. The E2V2 treatment presented lowest costs per bale produced and per ton of dry matter, R \$ 16.17 bale and R \$ 30.84 Ton - MS⁻¹ respectively.

KEYWORDS: Biomass, Baling, Cost.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Paula et al., (2011), a utilização de resíduos vegetais como bagaço da cana-de-açúcar, serragem de madeira, restos culturais de milho e soja, entre outros, já vem sendo estudados como potenciais matérias-primas para fins energéticos, sendo fontes alternativas, renováveis e de âmbito sustentável.

De acordo com Romão Júnior (2009), o uso racional dessas fontes, ou biomassas, representa uma solução interessante por possuírem potencialidade de produção, avanços tecnológicos na cadeia produtiva e proximidade entre as usinas produtoras de energia e os centros de consumo elétrico.

A cogeração de energia elétrica em usinas sucroalcooleiras, utilizando o bagaço e restos vegetais da cana-de-açúcar como matéria prima, tem apresentado crescimento na matriz energética brasileira nos últimos

^{1 2 3 4 5} Faculdade de Ciências Agronômicas-UNESP/Botucatu. E-mails: anderson_ravanny@hotmail.com ; tiagocorreia@unb.br ; kato.liah@gmail.com ; anderson_ravanny@hotmail.com ; arbex@fca.unesp.br

anos, indicando um avanço no aproveitamento da energia contida na biomassa vegetal (Costa; Duarte 2010).

Segundo dados do REN21 (2012), em 2010 a energia renovável oriunda de biomassa representava 8,2% da matriz energética mundial. No Brasil, em 2011, 44,1% da demanda energética foi suprida por fontes renováveis, dos quais 15,7% a partir da biomassa de cana-de-açúcar (EPE, 2012).

De acordo com a FAO (2012), as condições edafoclimáticas, a disponibilidade de áreas agricultáveis e o domínio de tecnologias de produção, proporcionam ao Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, responsável por 40,9% da produção mundial de biomassa. A cana-de-açúcar chama atenção devido seu grande potencial em quantidade e qualidade de biomassa produzida, ainda pouco aproveitada conforme esclarece Ferreira Filho & Horridge (2014).

Segundo Ripoli & Ripoli (2004), uma das formas de biomassa de cana-de-açúcar é o palhicho, erroneamente chamado de palha ou palhada. O palhicho é o material vegetal constituído de folhas verdes, palhas (folhas secas), ponteiros e/ou suas frações, e frações de colmos, (industrializáveis ou não) remanescente sobre o solo após a colheita mecanizada. De acordo com Franco (2003), a quantidade de palhicho remanescente no campo tem grande variabilidade, indo de 4,7 a 22,8 t ha⁻¹, decorrente da variedade plantada, idade do canavial, condições edafoclimáticas e regulagens na colheita.

Aspectos importantes são lembrados por Franco (2003) sobre o recolhimento do palhicho. Segundo o autor durante o recolhimento deve-se considerar as vantagens agrônomicas de sua manutenção no solo, não devendo ser totalmente retirado. Sua manutenção, pelo menos em parte, sobre o solo possui relação direta com as atividades microbianas do solo. Além disso, o recolhimento total da cobertura vegetal pode modificar as propriedades físicas e químicas do solo, sua capacidade de retenção de água, aeração, condutividade elétrica, controle de plantas daninhas e produtividade do agroecossistema. De acordo com trabalhos realizados, o recolhimento de até 50% do palhicho exposto no solo não o prejudica nos aspectos físicos, químicos e biológicos (Ripoli & Gamero, 2007 e UNICA, 2011).

A retirada do palhicho do solo para utilização na coeração de energia é normalmente realizada por máquinas enfardadoras, que coleta o palhicho previamente organizado em leira e comprimi-o em um pacote fácil de ser manuseado (fardo) e transportado (Perea et al. 2012). Guerra et al. (2013), descrevem as enfardadoras como equipamentos utilizados para recolhimento e compactação de restos culturais gerados pela prévia utilização de colhedoras mecanizadas, sendo os fardos amarrados por cordas de sisal, rafia, telas sintéticas, arames ou barbantes.

Segundo Pierossi & Fagundes (2012) as enfardadoras são geralmente tracionadas e acionadas por tratores, e

são classificadas conforme a forma e tamanho dos fardos produzidos, sendo mais comuns fardos dos tipos prismáticos retangulares e fardos cilíndricos. Os fardos podem variar desde poucos quilos, fâceis de carregamento manual, até fardos de mais de 700 kg (Guerra et al. 2013).

Diversos estudos foram realizados a fim de definir o melhor sistema de recolhimento de palhicho, recolhimento a granel utilizando colhedora de forragem, recolhimento por fardos cilíndricos e prismáticos utilizando enfardadoras, enfardamento por prensas algodoeiras e colheita integral com as colhedoras de cana-de-açúcar, operando com os sistemas de corte dos ponteiros e limpezas desligados (Ripoli, 2001). No entanto, o recolhimento mecanizado do palhicho encontra alguns entraves como altos custos, heterogeneidade e baixa densidade do palhicho, além de se utilizar, atualmente, equipamentos de baixa capacidade operacional e custos elevados, por serem equipamentos adaptados para colheita de forragens (Michelazzo & Braunbeck 2008).

Diante da alternativa energética disponível no aproveitamento do palhicho de cana-de-açúcar e de ser opção o seu recolhimento por sistemas mecanizados, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho operacional e econômico do enfardamento de palhada de cana-de-açúcar utilizando duas enfardadoras em dois volumes diferentes de palha aleirada.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado durante a safra 2014, em área de produção de cana-de-açúcar da usina canavieira Caeté S/A, localizada no município de São Miguel dos Campos – AL, região conhecida por zona da mata, tendo como coordenadas geográficas Latitude 9° 48' 24" S, Longitude 36° 6' 55" W e altitude de 97 metros. O clima na região é classificado como tropical chuvoso com verão seco, apresentando precipitação anual de 1.634.2 mm e temperaturas média entre 34° e 24°C. O tipo de solo foi classificado como Latossolo amarelo Distrocoeso típico de textura argilosa A (EMBRAPA, 2010). A variedade cultivada na área do ensaio foi a RB92579, plantadas em espaçamento entre linhas de um metro e se encontrava no sétimo corte.

Foram ensaiados dois modelos de enfardadoras de fardos prismáticos retangulares, em que a biomassa recolhida foi o palhicho da cana-de-açúcar (três dias após a colheita mecanizada), em dois volumes diferentes de aleiramento do palhicho, definidos pela regulagem do implemento ancinho aleirador. Os tratamentos consistiram em: E₁V₁ (Enfardadora 1 – 50% de volume de palhicho enleirado), E₂V₁ (Enfardadora 2 – 50% de volume de palhicho enleirado), E₁V₂ (Enfardadora 1 – 90% de volume de palhicho enleirado) e E₂V₂ (Enfardadora 2 – 90% de volume de palhicho enleirado).

Os conjuntos mecanizados utilizados durante a condução do ensaio foram: duas enfardadoras (especificadas

conforme a Tabela 1) tracionadas, individualmente, por um trator de pneus modelo T7240 (4x2 TDA de 161,81 kW de potência); ancinho aleirador (modelo H5980) tracionado por um trator de pneus modelo TL 75E (4x2

TDA de 55,93 kW de potência) e carreta recolhadora de fardos modelo IPML PT2010, Modelo PT 2012, tracionada por um trator de pneus modelo T7240 (4x2 TDA de 164,05 kW de potência).

Tabela 1 - Especificações dos modelos de enfardadoras utilizadas no ensaio.

Especificação	Enfardadora 1	Enfardadora 2
Modelo	NH BB9080	CHALL 2270
Tipos de fardo	Prismático retangular	Prismático retangular
Dimensões dos fardos (cm)	120x250x90	120x275x87,5
Largura do coletor (cm)	225	226
Sistema alimentador	Pick-up (3 garfos e 9 dedos)	Manivela c/ 6 dedos
Velocidade do êmbolo/pistão	42 batidas min ⁻¹	47 batidas min ⁻¹
Curso do êmbolo (mm)	710	710
Sistema de amarração	Nó duplo	Nó duplo
Nº de fios de amarração	6	6
Capacidade de rolos de fio	30	30
Dimensões da enfardadora		
Largura (m)	2,58	3
Comprimento (m)	7,23	7,75
Altura (m)	3,10	3,31

A velocidade de deslocamento das enfardadoras foi determinada com auxílio de um GPS Garmin Etrex, sendo realizadas quatro repetições por tratamento.

O volume médio de palhico na área do ensaio era de 19 (t ha⁻¹), verificado três dias após a colheita mecanizada com auxílio de um gabarito de um m², adaptado da metodologia de RIPOLI (1991). O teor de água médio do palhico era de 14,5%, determinado através de medidor digital de umidade e haste de 0,20 m de comprimento. Para ambas avaliações foram realizadas 15 repetições.

Nos fardos produzidos foi avaliada a quantidade de impureza mineral presente (terra). O método de amostragem foi realizado com sonda cilíndrica acoplada a uma furadeira elétrica, sendo realizadas três amostragens por fardo. As amostras coletadas foram submetidas à análise de impureza mineral utilizando o método da mufla (CTC, 2005).

Para obter a massa seca dos fardos foi descontada do peso total, pesado em balança digital móvel, a impureza e o teor de água, sendo os cálculos realizados conforme a equação 1.

$$MS = Pt - U - I \quad (1)$$

Em que MS é a massa seca do fardo (kg), Pt é o peso total (kg), U é o teor de água (%) e I a impureza do fardo.

O volume dos fardos foi determinado através da Equação 2. Esta avaliação tem importância para a logística dos fardos, sendo desejável a uniformidade de volume.

$$V = A \cdot L \cdot C \quad (2)$$

Em que V é o volume (m³), A é a altura (m), L é a largura (m) e C o comprimento (m).

Para a análise do consumo de combustível foi utilizada a metodologia da proveta proposta por Ripoli (1991). A capacidade de campo teórica (Cct), a qual leva em consideração a largura de trabalho e velocidade de deslocamento das enfardadoras, foi calculada através da Equação 3.

$$Cct = \frac{L \cdot V}{10} \quad (3)$$

Em que Cce é a capacidade de campo teórica (ha h⁻¹), L é a largura de trabalho (m) e V a velocidade de deslocamento (km h⁻¹).

A capacidade de campo operacional (Cco), que considera a relação entre a área ou produção obtida e o tempo total que o conjunto mecanizado permaneceu no campo, foi calculada pela Equação 4.

$$Cco = \frac{A}{Tm} \quad (4)$$

Em que Cco é a capacidade de campo operacional (ha h⁻¹), A é a área trabalhada e Tm é o tempo máquina total (h).

O custo horário foi calculado considerando as operações de enleiramento da palha, enfardamento e recolhimento dos fardos, sendo utilizada a metodologia proposta por Mialhe (1974) e ASABE (2011). Foram considerados custos fixos de depreciação (linear), juros, abrigo, taxas e seguros, do conjunto trator/enfardadora, e custos variáveis com combustível, lubrificação, mão-de-obra e manutenção. A taxa de juros adotada para os cálculos foi de 6% a.a. (BNDES, 2014), valor residual das máquinas de 30%, demais taxas 5% e vida útil conforme parâmetros indicados ASAE D497.7 (ASABE, 2011). O valor de aquisição das máquinas, óleo diesel e salário

dos operadores com encargos trabalhistas e contábeis, foram considerados os pagos pela usina Caeté. A jornada de trabalho média dos operadores na usina foi considerada de 160 horas mensais. O custo de produção (R\$ ha⁻¹) foi obtido através da divisão do custo operacional pela capacidade de campo operacional do conjunto trator/enfardadora, e o custo por fardo (R\$ fardo⁻¹) obtido com a divisão do custo operacional pela quantidade de fardos produzidos por hora.

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, utilizando duas máquinas enfardadoras

diferentes e dois diferentes volumes de recolhimento do palhicho da cana-de-açúcar, com seis repetições em fatorial 2x2. Utilizou-se para análise estatística o sistema SISVAR, sendo os dados obtidos submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características como volume, impureza mineral e massa específica dos fardos produzidos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características de volume e impureza mineral dos fardos.

Tratamento	Fardo	
	Volume (m ³)	Impureza mineral (%)
E ₁ V ₁	2,59 a	4,84 a
E ₁ V ₂	2,59 a	5,54 a
E ₂ V ₁	2,61 a	3,96 a
E ₂ V ₂	2,61 a	4,58 a
CV (%)	0,47	0,28
DMS	0,01	0,02

C.V.: Coeficiente de variação; D.M.S.: Diferença mínima significativa. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p≤0,05).

O volume dos fardos produzidos foi semelhante entre os tratamentos, indicando que ambas enfardadoras produzem fardos com altura, largura e comprimento regulares, independentemente do volume de palhicho aleirado. De acordo com a Resolução 12/98 do CONTRAN (BRASIL, 1998, p. 7), que restringe o comprimento, altura e largura dos veículos de carga que trafega em rodovias públicas, o volume uniforme e a forma dos fardos passam a ter grande importância, pois, fardos uniformes otimizam o dimensionamento da frota, melhorando a eficiência e custo do transporte (Michelazzo & Braunbeck, 2008).

Os resultados de impureza mineral nos fardos não diferiram entre os tratamentos, sendo um aspecto positivo às enfardadoras avaliadas. De acordo com estudos realizados pela COPERSUCAR (1998), o volume de palhicho aleirado influencia a pureza dos fardos, sendo maior porcentagem de impureza quanto maior for o volume de palhicho aleirado. No entanto, os resultados obtidos demonstram que o volume de palhicho aleirado não influenciou na impureza dos fardos produzidos pelas duas enfardadoras ensaiadas. O índice de impureza dos fardos produzidos por ambas enfardadoras foi em média 4,7%. A diferença da menor para a maior quantidade de impureza presente nos fardos foi de 1,5%. Os resultados obtidos diferem da pesquisa realizada por Perea et al. (2012), que avaliando sistemas de manejo do palhicho e utilizando, entre outras

máquinas, uma enfardadora para recolhimento de palhicho, encontraram impureza média nos fardos de 8%. Torrezan (2003), em experimento avaliando uma enfardadora prismática BD940, na região de Piracicaba-SP, encontrou que para resultado médio de impureza mineral nos fardos de 6,31%.

De acordo com Pierossi et al. (2012) o índice de impurezas minerais nos fardos é um fator importante de conhecimento nos fardos devido desencadear danos nas caldeiras e outros componentes durante o processo industrial de queima. Segundo os autores, o parâmetro desejável é que os fardos de palhicho alcance valor de 2% de impurezas minerais.

Os resultados de massa seca por fardo produzido são descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Massa seca dos fardos.

Fator	Massa Seca (kg fardo ⁻¹)	
Vol. aleirado (V)		
50%	442,96 A	
90%	492,76 B	
DMS	28,87	
Enfardadora (E)		
1	438,63 a	
2	498,52 b	
CV (%)	6,13	
DMS	19,58	
Enfardadora x Vol. aleirado		
E ₁ V ₁	433,88 aA	
E ₁ V ₂	461,03 bB	
E ₂ V ₁	452,04 bB	
E ₂ V ₂	524,48 cC	
DMS	33,91	
	GL	F
Volume aleirado	2	9,02**
Enfardadora	1	39,06**
Volume aleirado x Enfardadora	2	5,83**

CV: coeficiente de variação; DMS: diferença média significativa; GL: grau de liberdade; F: teste F; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pela análise de variância ($p \leq 0,01$). Mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre as enfardadoras. Mesma letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre volumes aleirados.

A massa seca dos fardos, ou o peso dos fardos descontados o teor de água e impureza mineral, também é uma característica importante para a logística de transporte dos mesmos até a indústria. Dados do CTC (2013) demonstram que a massa seca de fardos prismáticos grandes pode atingir de 180 a 700 kg fardo⁻¹, sendo assim, os resultados obtidos são compatíveis com os descritos pelo autor.

Analisado isoladamente o fator volume de aleiramento, o volume 90% apresentou fardos com maior massa seca, sendo em média 10,1% mais pesados. Entre as enfardadoras a E2 produziu fardos mais pesados, com massa seca 12% maior que os produzidos pela E1. Este resultado caracteriza a E2 com maior capacidade de compactação e enfardamento da palha recolhida.

Entre os tratamentos os resultados indicaram fardos com maior massa seca em E₂V₂, 524,48 kg fardo⁻¹, diferença de 63,45 kg fardo⁻¹, ou 12%, para E₁V₂; 72,44 kg fardo⁻¹, ou 13,8%, para E₂V₁ e 90,6 kg fardo⁻¹, ou 17,27% para E₁V₁. Em estudo comparativo de dois sistemas de enfardamento de palhaço de cana-de-açúcar, Lemos et al. (2014) encontrou massa seca média nos fardos prismáticos de 294 kg. CANTO et al. (2011), encontraram valores de peso de fardos entre 535,4 e 570,9 kg. Lotjonen & Paappanen (2013), enfardando capim amarela primavera com diferentes enfardadoras, encontraram massa seca nos fardos prismáticos entre 246,16 e 345,42 kg. Martelli & Bentini (2015) encontraram 319 kg fardo⁻¹. As diferenças de resultados de massa seca dos fardos nos diferentes trabalhos podem ser justificadas pelos diferentes teores de água na

biomassa enfardada, tipo de material enfardado, características construtivas e regulagem das enfardadoras utilizadas em cada um deles.

Analisado isoladamente o fator volume aleirado de palhaço demonstrou diferenças significativas na capacidade de campo teórica (Cct) e capacidade de campo operacional (Cco). Para 50% de volume aleirado, a Cct e Cco foram de 6,92 e 5,95 ha h⁻¹, sendo 25,14 e 27,39% maiores, respectivamente, que os valores encontrados com 90% de volume de palha aleirado. Para o fator enfardadora, a Cct e Cco foram maiores para a número 2, cujos valores encontrados foram respectivamente 6,57 e 5,87 ha h⁻¹. Para a enfardadora 1 os resultados de Cct e Cco foram 18,56 e 24,02% menores respectivamente.

Os resultados apresentados podem ser compreendidos em função da velocidade do êmbolo, ou pistão, na câmara de compressão do palhaço, que na enfardadora 1 é de 42 batidas min⁻¹ e na enfardadora 2 é de 47 batidas min⁻¹. Mais batidas por minuto permite que a enfardadora produza fardos mais rapidamente, e que a velocidade de deslocamento não seja prejudicada em situações de maior oferta de palhaço pelo sistema de alimentação. Estas características possivelmente justificam o melhor desempenho da enfardadora 2.

Entre os tratamentos o E2V1 apresentou maior Cct e Cco, e os menores resultados foram encontrados para E1V2. Para ambas enfardadoras os melhores resultados de rendimentos, Cct e Cco, são obtidos com 50% de palhaço aleirado. Lemos et al. (2014), em experimento realizado em Lençóis Paulista, utilizando uma

enfardadora de fardos prismáticos encontraram que sua capacidade operacional foi de 2,23 ha h⁻¹, valor inferior ao encontrado no presente trabalho. Fatores como teor de

água no palhicho, velocidade de deslocamento e volume de palhicho aleirado podem ter contribuído para a divergência dos resultados.

Tabela 4 - Capacidade de campo teórica (Cct), capacidade de campo operacional (Cco), disponibilidade mecânica (Dm), fardos produzidos por hora (FPh), consumo horário de combustível (Chc) e consumo de combustível por fardos (Ccf).

Fator	Cct (ha h ⁻¹)	Cco (ha h ⁻¹)	FPh (fardos h ⁻¹)	Chc (L h ⁻¹)	Ccf (L fardo ⁻¹)					
Volume aleirado (V)										
50%	6,92 A	5,95 A	37,09 B	21,53 B	0,481 A					
90%	5,18 B	4,32 B	50,52 A	22,27 A	0,356 B					
DMS	0,53	0,49	3,26	0,65	0,01					
Enfardadora (E)										
1	5,35 b	4,46 b	37,18 b	21,43 b	0,412 a					
2	6,57 a	5,87 a	47,03 a	22,79 a	0,410 a					
CV	5,82	6,24	7,72	5,68	4,49					
DMS	0,35	0,33	2,21	1,06	0,015					
E x V										
E ₁ V ₁	6,57 bA	5,77 aA	-	-	0,341 bA					
E ₁ V ₂	4,66 bB	3,46 bB	-	-	0,372 aB					
E ₂ V ₁	7,28 aA	6,13 aA	-	-	0,339 bA					
E ₂ V ₂	5,70 aB	5,18 aB	-	-	0,370 bB					
DMS	0,61	0,57	-	-	0,022					
	GL	F	GL	F	GL	F				
E	1	55,63**	1	86,06**	1	82,54**	1	0,015*	1	0,083 ^{NS}
V	2	38,86**	2	38,56**	2	61,03**	1	11,60*	1	214,55**
E x V	2	4,84*	2	12,68**	2	0,55 ^{NS}	1	0,082 ^{NS}	1	17,54**

CV: coeficiente de variação; DMS: diferença média significativa; NS: não significativo; GL: grau de liberdade; F: teste F; * significativo ao nível de 5% ($p \leq 0,05$) pela análise de variância; ** significativo ao nível de 1% ($p \leq 0,01$) pela análise de variância ($p \leq 0,01$). Mesmas letras minúsculas não diferem estatisticamente entre as enfardadoras. Mesmas letras maiúsculas não diferem estatisticamente entre volumes aleirados.

A produção de fardos por hora (FPh) foi maior no volume de 90% do palhicho aleirado, 50,52 fardos h⁻¹, possivelmente devido a maior oferta de biomassa a enfardadora. Entre as enfardadoras a E2 produziu 9,85% mais fardos por hora que a E1, resultado possível de ser justificado devido à maior Cct e Cco da E2, caracterizando-a como de maior desempenho operacional na produção de fardos prismáticos retangulares. Os resultados de FPh da E2 corroboram com o encontrado por Marteli & Bentini (2015), de 40,9 a 45 fardos h⁻¹.

O consumo horário de combustível (Chc) foi diferenciado entre as duas enfardadoras e entre os volumes aleirados de palhicho. Para 90% de palhicho aleirado e para a enfardadora 2 o Chc foi aproximadamente 6% maior que utilizando o palhicho 50% aleirado e utilizando a enfardadora 1. A média do

Chc no fator 50% de volume aleirado foi 21,53 L h⁻¹, e na para enfardadora 1 foi de 21,43 L h⁻¹.

O consumo de combustível por fardos (Ccf) foi maior para o menor volume aleirado de palhicho, sendo de 0,481 L fardo⁻¹. Este resultado é consequência do menor número de fardos produzidos por hora neste volume de aleiramento, elevando o quociente da divisão Chc por

FPh. Entre as enfardadoras o Ccf não foi diferenciado. Os tratamentos E₁V₁ e E₂V₁ não diferenciaram entre si no Ccf e apresentaram os menores valores médios, entre 0,339 e 0,341 L fardo⁻¹. Os maiores valores de Ccf foram obtidos nos tratamentos E₁V₂ e E₂V₂, 0,370 e 0,372 L fardo⁻¹, em média 8,3% maior que os outros tratamentos. Os custos operacionais referentes ao enleiramento, enfardamento e recolhimento dos fardos, são descritos na Figura 1.

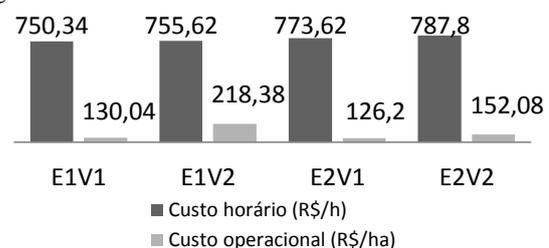


Figura 1 - Custo horário e operacional da operação de enleiramento, enfardamento e recolhimento dos fardos.

O menor custo operacional foi obtido no tratamento E1V1, de R\$750,34 h⁻¹. Esse resultado se justifica devido ao apresentado na Tabela 4, em que, o menor volume de palha a ser recolhido demanda menor consumo horário de combustível, possivelmente em razão da menor exigência de esforço da enfardadora em recolher a palha e maior velocidade de deslocamento.

Além disso, analisadas isoladamente, a enfardadora 1 demonstrou ser mais econômica em consumo de combustível que a enfardadora 2, potencializando o menor consumo horário do tratamento E1V1. O custo horário do E1V1 foi 0,7; 3,1 e 5% menor que os valores obtidos nos tratamentos E1V2, E2V1 e E2V2 respectivamente.

O menor custo operacional foi verificado no tratamento E2V1, de R\$126,20 ha⁻¹. Este resultado foi possível devido a interação dos fatores 50% de volume de palha aleirado e enfardadora 2 (E2V1), apresentarem, de acordo com a Tabela 4, maior Cct e Cco, reduzindo consequentemente o custo por unidade de área operada. Esse custo se assemelha com o encontrado por Denadai et. al., 2013, que avaliou o enfardamento da palha de milho em diferentes percentuais de recolhimento, e encontrou média de R\$ 205,10 ha⁻¹. O custo horário do tratamento E2V1 foi 3; 73 e 20,5% menor que E1V1, E1V2 e E2V2 respectivamente.

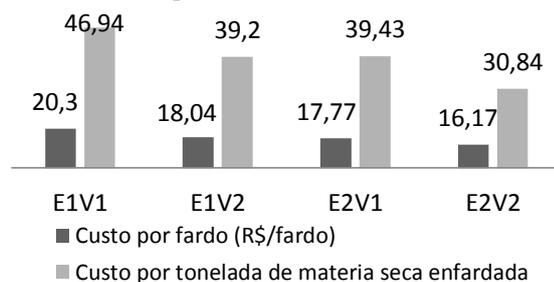


Figura 2 - Custo por fardo e por tonelada de matéria seca enfardada.

O menor custo por fardo produzido e por tonelada de matéria seca de palha enfardada (MS), R\$16,17 fardo⁻¹ e R\$30,84 Ton.MS⁻¹ respectivamente, foram obtidos no tratamento E2V2. O menor custo por fardo produzido neste tratamento foi possível devido o maior volume de palha aleirado (90%) e a enfardadora 2 (E2) proporcionarem a produção de maior quantidade de fardos por hora, conforme demonstra a Tabela 4. Sendo assim, se maior a produção de fardos por hora, consequentemente menor o custo unitário do fardo.

O entendimento do menor custo por tonelada de MS enfardada se assemelha ao entendimento de menor custo por fardo, sendo possível devido E2V2 produzir fardos mais pesados, indicado na Tabela 3. Desta forma, se maior o peso do fardo produzido, menor o custo da tonelada de matéria seca enfardada.

4 CONCLUSÕES

O menor custo operacional foi obtido com a enfardadora 1, no tratamento V1.

A enfardadora 2 apresentou maior consumo de combustível porém, maior quantidade de fardos produzidos por hora.

A enfardadora 2 quando trabalhada no V2 apresentou menor custo por fardo produzido e por tonelada de matéria seca de palha enfardada.

5 REFERÊNCIAS

American society of agricultural and biological engineers. **ASAE D497.7 MAR2011**: agricultural machinery management data, Saint Joseph, 2011. 15 p.

BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO. Taxa de Juros em Longo Prazo – TJLP, São Paulo: BND, 2014. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiam ento/guia/custos-financeiros/taxa-de-juros-de-longo-prazo-tjlp/>> Acessado em: 18/12/2016.

BRASIL. Resolução nº 12/98, de 23 de setembro de 1997. **Limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres. Conselho Nacional de Trânsito – Contran. Brasília, DF, fev. 1998.**

CANTO, J. L.; KLEPAC, J.; RUMMER, B.; SAVOIE, F.; SEIXAS, F. Evaluation of two round baling systems for harvesting understory biomass. **Biomass And Bioenergy**, Manchester, v. 35, n. 5, p.2163-2170, maio 2011.

COPERSUCAR. 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**, São Paulo-SP, v. 16, v.6, p.44-46, jul./ago. 1998.

COSTA, P R. O; DUARTE, F. S. A utilização da biomassa da cana-de-açúcar como fonte de energia renovável aplicada no setor sucroalcooleiro. **Revista de Administração da Fatea**, Lorena – SP, v. 3, n. 3, p. 2-107, jan./ dez., 2010.

DENADAI, M. S.; GUERRA, S. F. S.; ESPERANCINI, M S T.; BUENO, O. C.; LANÇAS, K. P.; PASCHOAL, L. Custo do enfardamento de palha de milho em diferentes percentuais de recolhimento, In: 8º Congresso Internacional de Bioenergia, 2013, São Paulo – SP: CIBio, 2013.

EMBRAPA. **Classificação dos tipos de solos**. Alagoas. 2010. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/zaal/PDF/MapasSolos/Solos_Sao%20Miguel.pdf> Acessado em: 14/ ago. 2014.

FAO. FAO Statistical Database, 2012. Disponível em: <www.fao.org>. Acesso em: 10 dez. 2016.

FERREIRA FILHO, J. B.; HARRIDGE, M. Endogenous land use and supply, and food security in Brazil. In: 15th Annual Conference on Global Economic Analysis, 15, 2012, Geneve., **Anais...** Geneve: GTAP, 2012. CD Rom.

FRANCO, F. N. **Alguns parâmetros de desempenho operacional de um sistema de recolhimento de palhaço de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) a granel**. 2003. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas)-Escola Superior de

Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

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

LEMOS, S. V.; DENADAI, M. S.; GUERRA, S. P. S.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C.; TAKITANE, I. C. Economic efficiency of two baling systems for sugarcane straw. **Industrial Crops and Products**, North Dakota, USA, v. 55, p. 97-101, 2014.

LÖTJÖNEN, T.; PAAPPANEN, T. Bale density of reed canary grass spring harvest. **Biomass And Bioenergy**, Manchester, v. 51, p.53-59, abr. 2013.

MIALHE, L. G. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo, Ed. Agrônômica Ceres, 1974, 301 p.

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. Análise de seis sistemas de recolhimento do palhicho na colheita mecânica da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.12, n.5, p.546-552, 2008.

PAULA, L. E. R; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 2, p.237-246, abr/jun, 2011.

PEREA, L. A.; BIAGGIONI, M. A. M.; SERAPHIM, O. J. Avaliação de sistemas de manejo do palhicho de cana-de-açúcar no campo e na indústria. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, vol. 27, n. 1, janeiro-março, 2012, p.89-108.

PIERROSSI, M. A.; FAGUNDES, S. A. Enfardamento de Palha. In: autores. A Cana-de-açúcar – do Plantio à colheita, Departamento de Fitotecnia UFV, Viçosa, 2012, p 1 – 4.

REN21 – **Relatório sobre a situação global**. Paris: UNEP, 2012. Disponível em: <<http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/06/2012KFpt.pdf>>. Acesso em: 8 dez. 2016.

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

RIPOLI, T. C. C. **Utilização do material remanescente da cana-de-açúcar (Saccharum spp): equacionamento dos balanços energéticos e econômicos.**, 1991, 150p. Tese (Livre-docência), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

RIPOLI, T. C. C; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: autores, 2004. 302 p.

RIPOLI, T. C. C. Algumas considerações sobre palhicho como fonte de energia. In: Seminário internacional de cana & energia, 2001, Ribeirão Preto. **Anais**. Ribeirão Preto: INEE/ IDEA, 2001, 1 CD-ROM.

ROMÃO JUNIOR, R. A. **Análise da viabilidade do aproveitamento da palha da cana-de-açúcar para cogeração de energia numa usina sucroalcooleira**. 2009. 165p. Dissertação (Mestrado e Engenharia Mecânica), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2009.

STEINER, E.; SCOTT, J.; MINTON, N P.; Winzer, K. An agr quorum sensing system that regulates granulose formation and sporulation in Clostridium acetobutylicum. **Applied and Environmental Microbiology**, v.78, p.1113-1122, 2011.

TORREZAN, H. F. **Enleiramento e enfardamento prismático de palhicho de cana-de-açúcar: Alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética**. 2003. 106p. Dissertação (Mestrado e Agronomia) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2003.

UNICA – União da indústria da cana-de-açúcar. **Tecnologia do CTC para recolher palha de cana beneficia bioeletricidade e etanol celulósico** São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/noticia/36120944920335416218/tecnologia-do-ctc-para-recolher-palha-de-cana-beneficia-bioeletricidade-e-etanol-celulosico/>> Acessado em 12 dez. 2016