



## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO OPERACIONAL DE ENFARDADORAS NO RECOLHIMENTO DE PALHIÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Marcelo Scantamburlo Denadai<sup>1</sup>, Emanuel Rangel Spadim<sup>1</sup>, Guilherme Oguri<sup>2</sup> & Saulo Philipe Sebastião Guerra<sup>3</sup>

**RESUMO:** A biomassa tem grande importância em relação às principais fontes de energia utilizadas no mundo, e também por ser uma energia renovável. O enfardamento tem sido amplamente utilizado na agricultura desde a década de 1970 e permite o aumento da densidade do material, uma vez que compacta a biomassa em fardos. Após a proibição da queima prévia dos canaviais, uma grande quantidade de resíduo vegetal, que antes era queimado, começou a ser deixado sobre o solo, podendo ser aproveitado para a geração de energia elétrica e produção de etanol de segunda geração. Dentre as diversas formas de recolhimento da palha no campo, tem-se discutido e utilizado a retirada da mesma em fardos, pois aumenta a eficiência no transporte desse material. Atualmente, as enfardadoras utilizadas no enfardamento do palhiço são as mesmas utilizadas e projetadas para o enfardamento de feno. Dentre elas, destacam-se dois sistemas básicos de funcionamento, as cilíndricas e as prismáticas, e os produtores têm dúvidas sobre qual sistema utilizar principalmente pela diferença no custo de aquisição dos equipamentos e logística envolvida. O objetivo deste trabalho foi a avaliação do desempenho operacional de duas enfardadoras para enfardamento do palhiço de cana-de-açúcar. Os equipamentos ensaiados compreenderam o conjunto trator e enfardadoras, sendo utilizado trator de mesma potência para as duas enfardadoras. Os ensaios foram realizados baseando-se nas normas da American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), com cinco repetições para análise estatística. Dentre as variáveis coletadas em campo, destacam-se o estudo de tempos e movimentos do conjunto, rastreamento da área trabalhada com receptor Global Positioning System (GPS), avaliação da biomassa no campo, avaliações dos fardos e mensuração do consumo de combustível. Para comparação das enfardadoras foi realizada análise de variância ao nível de 5% de significância por meio do programa estatístico Sisvar. Não foram observadas diferenças para as produtividades das enfardadoras avaliadas, porém existem diferenças para densidade dos fardos (kg.MS m<sup>-3</sup>), massa dos fardos (kg), número de fardos (un.) e capacidade de campo (ha h<sup>-1</sup>).

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomassa, Enfardamento, Capacidade de Campo, Resíduo Vegetal.

### OPERATIONAL PERFORMANCE OF DIFFERENT SUGARCANE STRAW BALERS

**ABSTRACT:** Biomass has great importance among the main sources of energy used in the world and is renewable. Baling has been widely used in agriculture since the 1970s and allows increasing material density, as compacts the biomass in bales. After the ban of previous burning in sugarcane fields, a lot of plant residue, which was previously burned, began to be left on the ground. The residue can be harnessed to generate electricity and second-generation ethanol. Among the various forms straw removal, its removal in bales have been discussed because it increases the material transport efficiency. Currently, balers used in straw baling are the same used and designed for hay baling. Among them, two basic systems, round and prismatic, stand out, and producers have doubts about which system to use mainly because of the difference in cost acquisition and logistics involved. The objective of this study was to evaluate the operational performance of two balers in sugarcane straw baling. The tested equipments included a tractor assembly connected to each baler. The tests were performed based on American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) standards, with five replicates for statistical analysis. Among the variables collected in the field, we highlight the study of time and motion, Global Positioning System (GPS) the worked area, biomass evaluation, bales evaluations, and fuel consumption. To statistically compare both balers, analysis of variance was performed at the 5% level of significance using the statistical program Sisvar. Differences in productivity of assessed balers were not observed, but there were differences in bales density (kg.DM m<sup>-3</sup>), weight (kg) and number (un.) and systems field capacity (ha h<sup>-1</sup>).

**KEYWORDS:** Biomass, Baling, Field Capacity, Plant Residue.

## 1 INTRODUÇÃO

A demanda da produção de cana-de-açúcar no Brasil é consolidada pela grande utilização de seus produtos, pois o país possui uma das maiores frotas de carros

\* Pós graduandos em Agronomia (Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista – UNESP, FCA/BOTUCATU-SP, Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia, [marcelodenadai@hotmail.com](mailto:marcelodenadai@hotmail.com), [spadim@gmail.com](mailto:spadim@gmail.com)

<sup>2</sup> Doutor, Coordenador Executivo do Programa Cooperativo sobre Mecanização e Automação Florestal - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), [guilherme@ipef.br](mailto:guilherme@ipef.br)

<sup>3</sup> Prof. Adjunto, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista – UNESP, FCA/BOTUCATU-SP, Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia, [ssguerra@fca.unesp.br](mailto:ssguerra@fca.unesp.br)

biocombustíveis, levando a uma maior utilização de combustíveis renováveis como o etanol (SILVA, 2012).

No sistema de colheita de cana-de-açúcar sem queima prévia o palhicho é deixado no campo, enleirado por meio de ancinho enleirador e compactado em fardos cilíndricos ou prismáticos para diminuir custos com transporte da biomassa. Estes fardos são carregados em caminhões através de garras carregadoras e transportados para usina, onde são processados (INNOCENTE, 2011).

As enfardadoras são atualmente a melhor opção tecnológica de retirar o palhicho disperso no campo e, essas enfardadoras são equipamentos utilizados para recolher e compactar capim, palha, feno ou restos culturais gerados pela prévia utilização de colhedoras mecanizadas, não sendo projetadas para recolher palhicho, sendo este muito mais abrasivo que o feno (GUERRA; DENADAI; TAKITANE, 2013).

É extremamente importante que as empresas aproveitem resíduos para a geração da sua própria energia, evitando assim problemas de movimentação e descarte desse material evitando danos ambientais (SANTIAGO e REZENDE, 2014)

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

Molina Júnior et al. (1995) verificaram aspectos operacionais para o enfardamento do palhicho sem enleiramento prévio por meio de uma enfardadora de forragem, visando seu aproveitamento energético e, obtiveram desempenho do conjunto trator-enfardadora de 1,1 tMS h<sup>-1</sup> de resíduo colhido e 0,26 ha h<sup>-1</sup> trabalhada.

Ripoli (2004) analisou a colheita integral da cana-de-açúcar e o enfardamento do palhicho residual da colheita convencional. O palhicho no sistema de colheita integral apresentou umidade média de 48,6%. Para o palhicho enfardado, a umidade e o teor de terra antes da operação de enleiramento foram de 16,6% e 2,9% respectivamente.

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

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

Perea, Biaggioni e Seraphim (2012) avaliaram um sistema de enfardamento cilíndrico para recolhimento de palhicho

de cana-de-açúcar para fins energéticos no Brasil, obtendo produtividade de 6,89 tMS ha<sup>-1</sup> e custo de recolhimento de palhicho em fardos cilíndricos de R\$ 62,97 tMS<sup>-1</sup>.

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

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

De acordo com Nery (2000) os resultados da avaliação dos desempenhos operacional e econômico oferecem subsídios que auxiliam a tomada de decisão na implantação de sistemas de colheita. O aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção do sistema de colheita mecanizado e eleva a renda líquida da colheita da usina (SANTOS et al., 2014).

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

A utilização de indicadores de desempenho operacional auxilia no planejamento das operações tanto para o dimensionamento do número de máquinas e implementos quanto para a projeção dos indicadores de desempenho das operações, os quais contribuem para o monitoramento e controle dessas operações (CERVI et al., 2015).

Sem base científica concreta para os atuais sistemas de enfardamento disponíveis comercialmente, os produtores têm tomado decisões precipitadas na escolha de qual enfardadora utilizar em sua área. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho operacional de duas enfardadoras com sistemas de enfardamento distintos, com a hipótese de que a enfardadora cilíndrica tivesse um desempenho menor em função das paradas para amarração dos fardos, o que não acontece nas enfardadoras prismáticas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados ensaios de campo no município de Lençóis Paulista, interior do Estado de São Paulo, em propriedade rural que adota o enfardamento do palhicho de cana-de-açúcar como uma das atividades comerciais. O talhão utilizado no ensaio estava sendo cultivado com a variedade SP81-3250 de cana-de-açúcar, em seu 4º corte mecanizado, espaçamento de plantio de 1,5 m, sendo a produtividade de colmos de 75 t ha<sup>-1</sup> no ano de 2012. A localização do talhão encontra-se nas proximidades do

ponto geográfico Latitude 22,507265° S e Longitude 48,808233° W, com altitude de 600 metros e declividade máxima de 3%, sendo utilizado 7,5 hectares deste para o ensaio. O solo foi classificado conforme dados da propriedade como um Latossolo Vermelho Escuro, e a precipitação anual média é de 1200 mm ano<sup>-1</sup>.

A área disponibilizada para o ensaio foi considerada homogênea na distribuição de palhicho de cana-de-açúcar, sendo amostrados 10 pontos amostrais de 3 m<sup>2</sup> com quadrado de área conhecida, minimizando os erros no comparativo das máquinas. A área também era relativamente plana, entre 2 e 3% de declividade, sendo apta às operações mecanizadas, onde o palhicho foi enleirado sete dias após a colheita da cana-de-açúcar.

Os ensaios foram realizados com base na norma D497.7 da ASABE (2011), consistindo na avaliação do desempenho operacional de uma enfardadora cilíndrica e uma prismática. Essas duas enfardadoras consistem nos dois únicos sistemas de enfardamento disponíveis que são tracionados por tratores agrícolas.

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

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

Foram coletadas cinco repetições para cada conjunto trator/enfardadora em delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo cada repetição constituída por faixas de 2500 à 3000 metros, totalizando seis horas

máquina de observação em 10 unidades experimentais. Dentre os dados coletados destaca-se o estudo de tempos e movimentos, sendo discriminado e contabilizado com o auxílio de um cronômetro (resolução de 1s), todos os tempos observados durante a operação do conjunto, como por exemplo os tempos gastos em manobras, paradas e tempos de operação. Dentre os tempos de operação, este divide-se em tempo efetivo de operação, tempo gasto para amarração do fardo, e tempo para descarregamento do mesmo.

O estudo de tempos e movimentos em conjunto com a mensuração do consumo de combustível, rastreamento das máquinas por receptor de *Global Positioning System (GPS)*, e avaliações dos fardos e áreas forneceram os demais dados necessários para os cálculos de capacidade de campo deste trabalho.

O consumo de combustível (L h<sup>-1</sup>) foi mensurado por meio da metodologia citada por Fiorese et al. (2012), sendo medido o volume de combustível gasto a partir de dois fluxômetros, Oval M-III Flow Mate (resolução de 1 mL e +/- 1% de acurácia), instalados no sistema de alimentação do motor do trator. O primeiro é instalado entre os filtros de limpeza e a bomba injetora, mensurando o volume de entrada de combustível para o motor. O segundo é instalado no retorno do sistema de alimentação, combustível que não foi utilizado na combustão, e a partir da diferença entre esses dois valores tem-se o volume de combustível gasto em determinado tempo. Com as informações de volume de combustível, de entrada e retorno, e tempo, foram calculados os consumos horários de combustível no ensaio.

Durante toda a coleta de dados de tempos e movimentos o trator foi rastreado ponto a ponto, a cada cinco segundos, por receptor com sistema GPS modelo 60CSx da Garmin. Esse rastreamento permitiu o conhecimento exato da área trabalhada, bem como o monitoramento preciso da velocidade de operação em todas as repetições.

Na avaliação dos fardos tem-se como parâmetros medidos, massa dos fardos (kg), volume dos fardos (m<sup>3</sup>), umidade de enfardamento (% de massa em base úmida) e impureza mineral do fardo (% massa), sendo o volume obtido através da mensuração da altura, largura e comprimento do fardo por meio de fita métrica graduada (resolução 1 mm). A massa dos fardos foi obtida por meio de balança de plataforma devidamente calibrada, com capacidade máxima de 10 t, modelo Dina3 da Dinamica Generale (precisão +/- 0,5%).

Os dados de umidade foram obtidos por método indireto a partir de um medidor digital de umidade modelo Preagro 25 (resolução de 0,1% e precisão de +/- 1%), fabricado pela FarmcompAgroeletronics. O equipamento foi devidamente calibrado e informava instantaneamente os valores de umidade dos fardos. O medidor consiste em uma haste de 45 cm que é inserida no fardo, calculando a umidade por condução elétrica entre dois pontos conhecidos na haste.

<sup>1</sup>A citação de qualquer marca comercial não indica recomendação por parte dos autores.

Para os dados de umidade, cada repetição consistiu em uma amostra composta de 10 leituras de umidade, sendo realizada duas leituras por fardo.

Para cálculo da impureza mineral dos fardos foram coletadas cinco repetições, conforme o esquema descrito para umidade, sendo obtidos por meio de um amostrador de 1" de diâmetro tipo *core sampler*, fabricado pela *Scientific Systems Inc.*, e acoplado à uma furadeira elétrica. O amostrador era inserido no fardo no sentido transversal, retirando cerca de 50 g de palhiço. Coletadas as repetições, as amostras (1g repetição<sup>-1</sup>) foram levadas ao laboratório, sendo a impureza mineral determinada conforme a *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, norma D1102-84, pela queima completa da amostra à 600 °C por 6h em mufla até calcinação.

As avaliações da área consistiram na determinação da quantidade de palhiço existente antes do recolhimento do palhiço, após seu enleiramento, e na quantidade recolhida em fardos. Para a determinação do palhiço existente antes do início das operações, foi pesado todo o palhiço existente em uma área de três metros quadrados, consistindo em duas linhas de cana-de-açúcar espaçadas de 1,5 m, por um metro de comprimento, corrigindo posteriormente para matéria seca sendo desconsiderada a massa de água contida no palhiço.

Para a determinação da quantidade de palhiço enleirado, após o enleiramento foi repetido o processo anterior, entre as leiras formadas, sendo o palhiço enleirado

calculado a partir da diferença entre a primeira e segunda pesagem, isto é, antes e depois da operação de enleiramento. Já a quantidade de palhiço recolhida em fardos consistiu na pesagem de fardos aleatórios, e a partir desta, extrapolado os valores para toneladas de matéria seca (tMS) enfardada por hectare.

A produtividade efetiva foi calculada pelo enfardamento efetivo multiplicado pela massa do fardo, não sendo levado em consideração as paradas e manobras. Para a produtividade operacional, multiplicou-se o enfardamento operacional pela massa do fardo.

Para as comparações entre as enfardadoras, os dados foram tabulados com auxílio do software Excel 2013 (MICROSOFT, 2013) e posteriormente realizado análise de variância para a comparação de médias por meio do software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011), para um nível de 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se que para a maioria dos parâmetros avaliados, não existe diferença entre as enfardadoras avaliadas (Tabela 1). Para os parâmetros relativos à área, observa-se homogeneidade da área por não haver diferença e devido ao baixo coeficiente de variação (C.V.). Analisando a quantidade de biomassa no campo para as áreas do ensaio, juntamente com a distância entre os fardos compactados e impureza mineral, pode-se afirmar também uma boa homogeneidade na distribuição do palhiço sobre o solo, bem como umidade e impureza mineral, devido aos baixos (<15%) valores de coeficiente de variação observados.

**Tabela 1 - Dados dos desempenhos operacionais das enfardadoras cilíndrica e prismática.**

FARDOS/BIOMASSA	Round	Square	C.V. (%)
Biomassa campo (tMS ha <sup>-1</sup> )	23,8	23,4	12,0
Biomassa enleirada (tMS ha <sup>-1</sup> )	15,4	15,5	10,5
Biomassa recolhida em fardos (tMS ha <sup>-1</sup> )	8,5	7,2	13,5
Densidade do fardo (kgMS m <sup>-3</sup> )	164**	132	4,3
Barbante de amarração do fardo (kg tMS <sup>-1</sup> )	2,01**	0,6	5,8
Umidade no enfardamento (%)	13,5	13,5	13,8
Impureza mineral (%)	5,9	5,5	14,2
Massa do fardo (kgMS)	405**	325	4,3
ENFARDADORA	Round	Square	C.V. (%)
Velocidade média efetiva (km h <sup>-1</sup> )	7,7**	4,9	2,1
Enfardamento efetivo (fardos h <sup>-1</sup> )	39,6**	53,6	11,9
Enfardamento operacional (fardos h <sup>-1</sup> )	29,0	34,3	25,6
Número de fardos por área (fardos ha <sup>-1</sup> )	20,9	22,1	13,9
Consumo de combustível (L tMS <sup>-1</sup> )	1,5	1,6	14,2
Capacidade de campo teórica (ha h <sup>-1</sup> )	4,7	3,4	-
Capacidade de campo efetiva (ha h <sup>-1</sup> )	1,9**	2,4	4,0
Capacidade de campo operacional (ha h <sup>-1</sup> )	1,4	1,5	22,6
Rendimento operacional (%)	73,4	63,7	22,7
<b>Produtividade efetiva (tMS h<sup>-1</sup>)</b>	16,0	17,4	10,6
<b>Produtividade operacional (tMS h<sup>-1</sup>)</b>	11,8	11,1	27,6

\*\* Médias diferem estatisticamente para 5% de probabilidade (p<0,01)

Os fardos produzidos pela enfardadora cilíndrica apresentaram maior massa (405 kg.MS) e densidade (164 kg.MS m<sup>-3</sup>) quando comparados com os da enfardadora prismática (325 kg.MS e 132 kg.MS m<sup>-3</sup>).

Devido ao sistema característico de cada enfardadora, era esperado que os fardos da enfardadora prismática obtivessem maior densidade que a cilíndrica, porém isso não foi observado. Neste ensaio ressalta-se a tentativa do

produtor em reduzir os custos com reparos e manutenções, reduzindo a capacidade da enfardadora. Lemos et al. (2014) encontraram resultados semelhantes para enfardadora cilíndrica (381 kg.MS) e prismática (294 kg.MS). Apesar deste autor ter encontrado menores massas de fardos, a massa para fardos cilíndricos também foi maior quando comparada com uma prismática.

Outra variável que deve ser observada é a maior velocidade efetiva constatada para a enfardadora cilíndrica (7,7 km h<sup>-1</sup>), percorrendo maiores quantidades de leiras quando comparada com a prismática (4,9 km h<sup>-1</sup>). Essa velocidade refere-se somente quando o trator estava percorrendo a leira, não considerando os tempos gastos em paradas e manobras.

A umidade de enfardamento (13,5%) está abaixo da encontrada no trabalho de Ripoli (2004), que encontrou valores entre 14,5% e 30,5% durante seus trabalhos de enfardamento de palhicho de cana-de-açúcar, sendo esta variação característica da região e influenciada diretamente pelo horário do enfardamento segundo o autor.

Os resultados encontrados para impureza mineral deste trabalho (5,9% e 5,5%) estão próximos ao encontrado por Torrezan (2003), que constatou a presença de 5,7% de impurezas em seu ensaio de campo enfardando palhicho de cana-de-açúcar em enleiramento simples, como o deste trabalho. Comparado com o trabalho de Bizuti (2003), os resultados de impureza deste trabalho estão abaixo do seu, que encontrou 10,6% de impurezas minerais, evidenciando a melhoria da qualidade de enfardamento deste trabalho.

As velocidades de trabalho das enfardadoras também estão de acordo com a norma D497.7 da ASABE (2011), que informa a velocidade de operação entre 5,0 e 13,0 km h<sup>-1</sup>, sendo encontrado neste trabalho 4,9 e 7,7 km h<sup>-1</sup> para prismática e cilíndrica respectivamente.

A quantidade de palhicho recolhida em fardos não apresentou diferença, e neste ensaio variou entre 7,2 e 8,5 t.MS ha<sup>-1</sup>, para prismática e cilíndrica, sendo superior ao encontrado no trabalho de Perea et al. (2012). Por outro lado, a enfardadora prismática destaca-se no número de fardos efetivos por hora (53,6 fardos h<sup>-1</sup>) e capacidade de campo. Todas as variáveis favoráveis à enfardadora prismática do ensaio estão relacionadas com o fato desta não ter a obrigatoriedade de parar seu deslocamento para amarração do fardo e descarregamento do mesmo. Na enfardadora prismática a compactação do palhicho é contínua, havendo um sistema atador de fardos, composto de agulhas e mecanismos que fazem um nó duplo no barbante que envolve o fardo. Já na enfardadora cilíndrica há a necessidade de completa parada do conjunto, e somente após não estar mais deslocando-se sobre o solo, o sistema de amarração e consequente descarregamento do fardo são acionados.

Por meio das produtividades efetivo e operacional, pode-se observar melhor este comportamento. Observando a

produtividade efetiva a enfardadora prismática (16,0 t.MS h<sup>-1</sup>) é mais eficiente pois não desperdiça tempo em paradas, mesmo a velocidade de operação da cilíndrica sendo superior que a prismática. Todavia, para a produtividade operacional o resultado desta variável muda, obtendo maiores valores para a cilíndrica (11,1 t.MS h<sup>-1</sup>), neste trabalho. Isto pode ser explicado devido ao maior tempo de paradas para manutenção que ocorrem para a enfardadora prismática, principalmente para manutenção do sistema de amarração dos fardos. Devido à complexidade da enfardadora prismática, quando é necessária alguma manutenção por embuchamentos, amarração dos fardos ou quaisquer outros problemas, necessita de maior tempo parada, e sendo assim, seu rendimento operacional é menor quando comparado com a cilíndrica.

O rendimento operacional da enfardadora cilíndrica (73,4%) deste trabalho está de acordo com a norma D497.7 da ASABE (2011), que informa como a eficiência deste tipo de máquina entre 55 e 75%. Para enfardadoras prismáticas, a mesma norma informa como rendimento operacional na faixa de 70 a 90%, porém foi encontrado um valor menor neste trabalho (63,7%). Este resultado pode ser explicado pelo fato do produtor buscar um menor custo com a manutenção da enfardadora, e para isso, trabalha em velocidades menores, reduzindo a capacidade de campo.

Deve-se ter cautela na interpretação dos rendimentos, pois mesmo o rendimento operacional sendo maior para a enfardadora cilíndrica, é a prismática que tem as maiores capacidades de campo efetiva (2,4 ha h<sup>-1</sup>) e operacional (1,5 ha h<sup>-1</sup>), sendo próxima à capacidade de campo operacional encontrada por Lemos et al. (2014), obtendo 1,84 ha h<sup>-1</sup>.

Existe uma alternância entre qual enfardadora apresenta os melhores desempenhos para os parâmetros avaliados. A partir desses dados os autores sugerem que a variável fundamental na análise das enfardadoras seja a produtividade operacional, considerando o número de fardos por hora e a massa dos fardos. Para esta variável não houve diferença entre as enfardadoras e neste caso, as duas máquinas são indicadas para esta condição de trabalho.

Analisando os dados de produtividade, ou seja, a biomassa compactada por hora, os resultados encontrados neste trabalho estão acima dos encontrados por Balastreire (1987), que encontrou a produtividade das enfardadoras variando entre 6,0 e 7,5 t.MS h<sup>-1</sup>, com densidade de 170 kg.MS m<sup>-3</sup> e umidade entre 20 e 35%. A umidade de enfardamento deste trabalho foi de 13,5%, e a densidade dos fardos variou entre 132 e 164 kg.MS m<sup>-3</sup>. Os menores valores de umidade e densidade, quando comparado com os resultados deste autor justificam a maior produtividade encontrada, pois as enfardadoras perdem menor tempo comprimindo a biomassa, e esta tem menor resistência devido a menor umidade, isto é, trabalham em maior velocidade, enfardando mais biomassa. Gomes et al. (2016) também observou uma redução no enfardamento efetivo conforme aumentou-se a quantidade de palhicho disponível na leira.

Conclui-se também uma provável melhoria nas máquinas com o passar dos anos, resultando em valores mais competitivos.

#### 4 CONCLUSÕES

No experimento realizado a enfardadora cilíndrica foi superior para densidade e massa de fardos, e velocidade média efetiva.

A enfardadora prismática foi superior para enfardamento efetivo e capacidade de campo efetivo, quando comparada com uma cilíndrica

A variável que melhor analisa o desempenho operacional para enfardadoras de biomassa é a produtividade efetiva e operacional, analisando a quantidade de biomassa enfardada por hora.

Para este ensaio, não há diferença nas produtividades efetiva e operacional, sendo as enfardadoras semelhantes.

#### 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1102-84**: standard testmethod for ash in wood. Phyladelphia, 2007. 2 p.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS – ASABE. **D497.7**: AgriculturalMachinery Management. St. Joseph: ASABE, 2011.

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

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

CANTO, J.L.; KLEPAC, J.; RUMMER, B.; SAVOIE, P.; SEIXAS, F. Evaluation of two round baling systems for harvesting understory. **BiomassandBioenergy**, v. 35, p. 2163-2170, 2011.

CERVI, R.G.; ESPERANCINI, M.S.T.; SILVA, H.O.F.; ISLER, P.R.; OLIVEIRA, P.A. Avaliação do desempenho operacional da colheita e transbordo de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 3, p. 232-241, jul./set. 2015.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computerstatisticalanalysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

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

GOMES, A. R. A.; CORREIA, T. P. S.; DIAS, P. P.; SILVA, P. R. A. Desempenho operacional e econômico de duas enfardadoras prismáticas de palhiço de cana-de-açúcar. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 207-214, 2016.

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

INNOCENTE, A.F. **Cogeração a partir da biomassa residual de cana-de-açúcar – estudo de caso**. 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2011.

LEMONS, 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 staw. **Industrial Crops and Products**, v.55, p. 97-101, 2014.

MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel 2013. [S.l.]: Microsoft Coporation, 2013.

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

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

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

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

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

SANTIAGO, F.L.S.; REZENDE, M.A. Aproveitamento de resíduos florestais de *Eucalyptus* spp na indústria de fabricação de celulose para geração de energia térmica e elétrica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.4, p. 241-253, out./dez. 2014.

SANTOS, B.N.; CAVALCANTE, D.S.; FERNANDES, H.C.; GADANHA JÚNIOR, C.D. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 29, n.1, p. 09-13, jan./mar. 2014.

SILVA, D.P. **Thiametoxam em cana-de-açúcar manejada com maturadores**. 2012. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SOUZA, R. T. G. **Análise da viabilidade técnico-econômica do uso de palhicho, para fins de cogeração de energia, pela rota de colheita integral**. 2012. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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