



**LIDIANE DO AMARAL VILAS BOAS**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA  
PICADORA DE FORRAGENS EM FUNÇÃO DO  
ESTADO DAS FACAS E DA UTILIZAÇÃO DE  
MOTOR DIESEL E ELÉTRICO**

**LAVRAS-MG  
2010**

**LIDIANE DO AMARAL VILAS BOAS**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA PICADORA DE FORRAGENS  
EM FUNÇÃO DO ESTADO DAS FACAS E DA UTILIZAÇÃO DE  
MOTOR DIESEL E ELÉTRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato

Coorientadores

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Dr. Jackson Antonio Barbosa

**LAVRAS – MG  
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Vilas Boas, Lidiane do Amaral.

Eficiência energética de uma picadora de forragens em função  
do estado das facas e da utilização de motor diesel e elétrico /  
Lidiane do Amaral Vilas Boas. – Lavras : UFLA, 2010.  
57 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.  
Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.  
Bibliografia.

1. Corte de forragem. 2. Demanda energética. 3. Capim-elefante.  
4. Ensaio de máquina. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.56

**LIDIANE DO AMARAL VILAS BOAS**

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA PICADORA DE FORRAGENS  
EM FUNÇÃO DO ESTADO DAS FACAS E DA UTILIZAÇÃO DE  
MOTOR DIESEL E ELÉTRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 25 de fevereiro de 2010.

Dr. Jackson Antonio Barbosa                      UFLA

Dr. Roberto de Mattos                              Fundação ROGE

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato  
Orientador  
Dr. Giovanni Francisco Rabelo  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2010**

*A minha mãe, Rose Mary do Amaral, pela dedicação, apoio, amor e todo carinho.*

*A minhas irmãs, Layla, Layne e Luise, pelo apoio, amizade e pelos momentos de descontração.*

*Aos meus sobrinhos, Rodrigo e Rafael, pela continuidade.*

*Aos meus padrinhos, Salustio e Celide, por todo apoio e carinho.*

*Ao meu namorado, Ricardo, por todo incentivo, carinho e paciência.*

## **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso e pelos ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro. A ELETROBRAS, que através da Fundação ROGE, forneceu bolsa de estudo para a continuação do mestrado.

À Trapp, pelo fornecimento da picadora para a realização dos ensaios.

Ao Professor Carlos Eduardo Silva Volpato, pela orientação, apoio, confiança e amizade durante a realização deste trabalho.

Aos professores Jackson Antonio Barbosa, Giovanni Francisco Rabelo, pelos ensinamentos e amizade.

Ao professor Tomas de Aquino Ferreira, pela grande ajuda e inestimável amizade.

Ao Diogo e à Usinagem Maciel, pela amizade e pela ajuda na montagem dos equipamentos.

Aos graduandos Rodrigo Alencar, Felipe Gabriel, Layne do Amaral e ao Engenheiro Ricardo Faria, pelo auxílio na condução dos ensaios.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia, Sr. Roberto, Adão, Isidoro, Jerry, Antonio, pelo auxílio na condução e montagem dos equipamentos.

Ao Dr. Roberto de Mattos, pelo apoio, ensinamentos e pela oportunidade de acrescentar valores ao meu trabalho.

As grandes amigas, Ana Cecília e Mariana, pela amizade, companheirismo e convivência durante o mestrado.

Aos amigos Daniel, Eduardo, Henrique, Emmanuel, Reginaldo, Clarisse, Phebus, Roger, Ana, David, por todos os momentos.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

## RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de determinar a demanda energética e a qualidade do material picado de uma picadora de forragens estacionária, alimentada com motor diesel e elétrico, em função do estado de afiação das facas, do tamanho de corte e da taxa de alimentação da máquina. Para isso foi instalado entre a picadora e o motor um transdutor de torque e a rotação medida com o auxílio de um tacômetro. O arranjo experimental foi um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com 5 repetições. Os ensaios mostraram que a utilização da faca sega apresentou maiores valores médios de demanda de potência e de consumo específico e menores valores médios de capacidade de produção, além de apresentar qualidade de corte inferior ao corte realizado com a faca nova, demonstrando assim a necessidade da afiação das facas para obtenção de um melhor desempenho da máquina. A maior taxa de alimentação, que foi a com 9 colmos, apesar de ter apresentado maior demanda de potência, não apresentou maior consumo específico e, apresentou também, maior capacidade de produção. O motor que apresentou maior capacidade de produção foi o elétrico. O trabalho foi realizado nas dependências do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, Brasil, no período de novembro de 2009 a janeiro de 2010.

Palavras-chave: Corte de forragem. Demanda energética. Capim-elefante. Ensaio de máquina.

## **ABSTRACT**

This work was developed with the objective of determining the energy use and the quality of the chopped material of a stationary forage chopper, powered by a diesel engine and electric motor, in function of the sharpness of the blades, the cut size and the feed rate of the machine. For that, a torque transducer was installed between the chopper and the motor and the rotation was measured with the aid of a tachometer. The experimental arrangement was a completely randomized design in a factorial outline, with 5 repetitions. The assays showed that the use of a dull blade presented higher average energy demand and specific consumption values and lower average production capacity values, besides presenting a cut quality inferior to that made with a new blade, thus demonstrating the need of the sharpness of the blades to obtain better machine performance. The highest feed rate, which was with 9 stalks, in spite of having presented higher energy demand, did not present higher specific consumption and also presented higher production capacity. The power source that presented higher production capacity was the electric motor. The work was conducted within the Engineering Department of the Federal University of Lavras (UFLA), in Lavras, Minas Gerais, Brazil, during the period of November, 2009 to January, 2010.

**Keywords:** Cut forage. Energy demand. Elephant grass. Test machine.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	01
	REFERENCIAL.....	03
2	TEÓRICO.....	
2.1	Capineira de Capim-elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> ).....	03
2.2	Picagem da forragem.....	04
2.3	Eficiência Energética no meio agrícola.....	09
2.4	Motor Elétrico X Motor Diesel.....	13
	MATERIAL E.....	16
3	MÉTODOS.....	
3.1	Materiais.....	16
3.1.1	Picadora de forragem.....	16
3.1.2	Motor ciclo diesel.....	17
3.1.3	Motor elétrico.....	18
3.1.4	Transdutor de torque.....	18
3.1.5	Bancada de ensaios.....	18
3.1.6	Sistema de aquisição de dados.....	21
3.1.7	Paquímetro.....	21
3.1.8	Tacômetro.....	21
3.2	Métodos.....	21
3.2.1	Calibração do Torquímetro.....	21
3.2.2	Preparo do material.....	24
3.2.3	Capacidade de produção.....	25
3.2.4	Demanda de potência.....	25
3.2.5	Determinação da eficiência do trabalho útil.....	27
3.2.6	Determinação do consumo específico de energia.....	28
3.2.7	Determinação da qualidade do material picado.....	29
3.2.8	Distribuição do tamanho de partículas.....	29
3.2.9	Desgaste das facas.....	32
3.3	Delineamento Experimental.....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Demanda de potência.....	35
4.2	Eficiência de trabalho útil.....	37
4.3	Capacidade de produção.....	40
4.4	Consumo específico.....	44
4.5	Tamanho de partículas.....	47
4.6	Qualidade do material picado.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54



## 1 INTRODUÇÃO

Dentre as várias áreas de atuação da Engenharia Agrícola, mais precisamente na área de Máquinas Agrícolas, está o corte dos materiais biológicos, principalmente, aqueles realizados nos materiais celulares fibrosos originários das plantas cultivadas. Esta relação, se denomina interação máquina (ferramenta de corte)/planta. Durante o manejo de uma cultura, essa interação ocorre mais frequentemente ao final do seu ciclo, mais especificamente durante as operações de colheita e processamento do material colhido.

Os elementos da máquina colhedora e/ou processadora que interagem ativamente com o material celular fibroso são a faca e a contra-faca. Assim sendo, a necessidade da operação determina o tipo de máquina a ser utilizado. Esta, pode realizar o corte do material somente pela ação da faca, caracterizando um corte inercial ou pode ser realizado com ajuda da contra-faca, caracterizando um corte apoiado.

As picadoras de forragem são máquinas que executam o corte do material fibroso com auxílio da contra-faca. É uma máquina estacionária de alimentação manual, que pode ser classificado quanto à fonte de potência para seu acionamento em motorizada (elétrica ou combustão interna) ou tratorizada (acionada pela TDP do trator).

Para uma máquina agrícola de corte e/ou processamento de material fibroso realizar um corte dito completo, esta deverá realizá-lo de forma que todo o processo envolvido tenha máxima qualidade possível, ou seja, realize o trabalho de corte com um mínimo de perdas, menor quantidade de danos, maior uniformidade das partículas e, indiscutivelmente com a máxima eficiência energética.

A qualidade e a eficiência do processo de corte de uma picadora de forragem estacionária podem ser avaliadas pela uniformidade das partículas,

danos na partícula, demanda energética, tempo de afiação e desgaste das facas e contra-facas.

As máquinas picadoras de forragem estacionárias devem produzir material picado com tamanho entre 5 e 30 mm, sendo que algumas marcas podem ter regulagem para tamanhos maiores. O tamanho desejado da forragem é função da rotação do eixo das facas, da velocidade de alimentação e do estado de afiação das facas e da contra-faca. Outro fator que afeta estes parâmetros é o estado de umidade do material a ser picado.

A maioria das picadoras estacionárias é acionada por motores elétricos, e quando mal manejadas, resulta num aumento de consumo de energia, o que em dias atuais é prejudicial, devido aos problemas referentes à escassez de investimentos na área energética, o que torna obrigatórias ações para racionalizar o uso dessa energia.

Este trabalho tem por objetivo geral avaliar o desempenho de uma picadora de forragens estacionária, alimentada com energia elétrica e óleo diesel fóssil em função do estado das facas, do tamanho de corte e do volume de alimentação da picadora; utilizando como forrageira o capim elefante.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Capineira de Capim-elefante (*Pennisetum purpureum*)

Devido às condições climáticas brasileiras, há um período de disponibilidade de forragem verde e nutritiva e outro período em que a forragem é escassa e de baixa qualidade para utilização na alimentação de ruminantes. Uma das medidas que o agricultor pode utilizar para evitar ou amenizar os prejuízos causados por morte ou queda acentuada da produção de leite ou carne do rebanho, é a utilização de capim para corte, produto resultante de área formada para este fim que é denominada capineira (EVANGELISTA, 1988).

Capineira é uma área cultivada com gramíneas, que são cortadas e picadas para o fornecimento de alimento verde aos animais. Apresentam elevada produtividade e, quando bem utilizada, minimiza a escassez de forragem no período seco, melhorando o desempenho do rebanho (COSTA; MAGALHÃES, 2009).

O capim-elefante é considerado uma das mais importantes forrageiras tropicais, sendo a mais indicada para a formação de capineiras, para corte e fornecimento de forragem verde picado no cocho. Pois, além de uma elevada produtividade, apresenta as vantagens de propiciar maior aproveitamento da forragem produzida e uma redução de perdas no campo. Como desvantagem, apresenta uma rápida perda de qualidade decorrente do aumento da idade da planta, fator observado na maioria das forrageiras tropicais (COSER; CRUZ FILHO; MARTINS, 2003).

De acordo com Evangelista (1988), o capim deve ser cortado duas a três vezes por ano, sendo o primeiro para ensilar e o segundo e terceiro (rebrotas) para fornecimento no cocho e/ou ensilar novamente.

O corte deve ser feito quando o capim-elefante estiver com 1,80 metros de altura, ou a cada 60 dias, na época das águas; na época seca, cortá-lo com 1,50 metros. Nessa altura o capim apresenta razoável valor nutritivo e grande produção de massa verde. Deve ser cortada uma área de capineira suficiente para dois dias de fornecimento aos animais (COSER, 2008).

O corte do capim-elefante pode ser feito mecanicamente, utilizando uma colhedora acoplada ao trator, que além do corte, pica o material cortado e o conduz por um tubo a carreta ou manualmente, de preferência com uma enxada bem amolada, utilizando o corte rente ao solo, onde o material cortado pode ser transportado por carroça ou carreta até o local onde está a picadora de forragens, que realiza a picagem do material (COSER; CRUZ FILHO; MARTINS, 2003).

## **2.2 Picagem da forragem**

Tanto para o gado como para o equino e o ovino, é interessante que o material verde seja picado em talos pequenos. Com isso, esses alimentos fibrosos são mais facilmente mastigados, ruminados e digeridos, com melhor aproveitamento pelo aparelho digestivo. Esse procedimento facilita a mistura com outros alimentos, formando produtos mais nutritivos e apetecíveis. Outra vantagem obtida é a diminuição das perdas, pois o material picado, colocado no cocho, evita o pisoteio dos animais, facilitando sua manipulação.

De acordo com Branco, Gai e Jobim, (2003), um comprimento adequado de partícula teórico é importante para que se tenha uma boa qualidade de fermentação no processo de ensilagem um bom desempenho do animal. O recomendado é normalmente de 0,6 a 1,0 cm.

Corsi e Nussio (2003) cita que o maior benefício da redução das partículas está mais relacionado ao consumo voluntário pelos animais, podendo aumentar em 15% sob partículas de menor tamanho.

As picadoras são máquinas que executam o corte de material verde, como cana, capins, forragens, utilizados no trato diário dos animais, onde o material é colocado na bica de alimentação e conduzido de encontro às facas, as quais, com auxílio da contra-faca, se encarregam de cortá-los. É uma máquina estacionária de alimentação manual, que pode ser classificada quanto à fonte de potência para seu acionamento em motorizada (elétrica ou combustão interna), através de correias e polias, ou tratorizada (acionada pela TDP do trator).

Em Minas Gerais, de acordo com dados do Censo Agropecuário 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006), existem, aproximadamente, 77 mil picadoras de forragens distribuídas em 69 mil propriedades, podendo ser encontradas desde em pequenas propriedades, com menos de um ha, até grandes acima de 100 ha (Tabela 1).

Tabela 1 Número de estabelecimentos e quantidade de picadoras de forragens no estado de Minas Gerais.

<b>Grupos de área total (ha)</b>	<b>Estabelecimentos</b>	<b>Quantidade</b>
Até 1	268	272
1 – 5	1882	1957
5 – 100	10499	11920
> 100	229	376
<b>Total</b>	<b>69037</b>	<b>77064</b>

Fonte: IBGE (2006)

As facas que compõe o sistema de corte dessas máquinas, ao passar por uma contra-faca, fixada na estrutura interna, picam o produto em tamanhos que podem variar de acordo com a velocidade de alimentação da máquina, com a velocidade periférica das facas e com o número destas facas. O produto picado sai através de uma bica posicionada na parte lateral da máquina (SOUZA, 2005).

Possui como vantagens o baixo custo de aquisição, operação e manutenção, permitem sua utilização diretamente no campo, o que diminui a operação de transporte do material inteiro, maior uniformidade no tamanho das partículas, menor necessidade de mão-de-obra, maior rendimento e maior qualidade da silagem (FERREIRA, 2006).

As partes componentes da máquina são (Figura 1):



Figura 1 Picadora de forragens

A – Bica de alimentação: tem como função direcionar o material a ser picado para os rolos alimentadores.

B – Rolos alimentadores: tem como funções comprimir a forragem, auxiliar no apoio da mesma durante o picamento, controlar o tamanho dos fragmentos e evitar a sobrecarga dos mecanismos picadores, garantindo uma alimentação uniforme (FERREIRA, 2006), transportar e distribuir o feixe até os mecanismos picadores (facas).

C – Cavalete: Promove a sustentação da máquina e seu acoplamento na base de fixação do motor;

D – Caixa de transmissão: O comprimento de corte é determinado pela velocidade de alimentação, ajustada com a troca de polia com o posicionamento de correia.

E – Caixa de facas: Onde se encontra as facas e a contra-faca, que cortam a forragem e a enviam para a bica de saída. Para manter a eficiência no corte, as facas devem estar devidamente afiadas, em bom estado de uso e reguladas com a contra-faca. Segundo Coser, Cruz Filho e Martins (2003), facas desreguladas e cegas permitem o corte do material em pedaços muito grandes, desfibrados e desuniformes, fazendo que o consumo pelo animal seja reduzido e haja muita sobra de forragem no cocho. Além disso, pode prejudicar o equipamento com desgastes e aumentar o consumo de combustível ou energia.

F – Bica de saída: local onde o produto é conduzido após ser picado

G – Motor: Pode ser elétrico ou de combustão interna, promove o acionamento da máquina. A transmissão de potência para a máquina é feita através de correias e polias.

Coutinho et al. (2008), em uma simulação de consumo de energia elétrica em uma propriedade rural leiteira que possui 24 vacas em lactação, estimou que o consumo médio da picadora de forragens é de 29 kWh, o que representou 9,24% do consumo de energia utilizada na produção.

A Tabela 2 apresenta a potência e o consumo de energia elétrica para alguns equipamentos eletrorurais e uma estimativa de consumo para um tempo médio de uso destes equipamentos.

Tabela 2 Dados médios de consumo de equipamentos eletrorurais.

<b>Equipamentos eletrorurais</b>	<b>Potência (kW)</b>	<b>Produto</b>	<b>Horas (mês)</b>	<b>Consumo (kWh/mês)</b>
Desintegrador/Picador/Moedor	3,68	Milho (espiga)	90	331,2
Desintegrador	3,68	Milho (grão)	26	95,7
Picadora Forragem	2,21	Capim/cana	60	132,5
Ensiladora	7,36	Capim/cana	60	441,6
Misturador de ração	3,68	Ração	60	220,8

Fonte: Adaptada de Pereira et al. (2002)

Normalmente os fabricantes de máquinas e equipamentos elétricos fornecem um manual de especificações técnicas e instruções de operação, junto com o produto. No entanto, para alguns equipamentos eletrorurais, existe uma grande variação da faixa de operação, ficando ao critério do usuário escolher a rotação e a potência do motor a ser acoplado.

Nestas condições, Pereira et al. (2002) constatou que em muitas propriedades, há grande discrepância entre a potência requerida (PR), a potência encontrada (PE) e a potência recomendada pelo vendedor (PV) no equipamento adquirido pelo produtor.

A Tabela 3 mostra o resultado de uma pesquisa realizada em propriedades rurais. Nela pode-se constatar que tanto a potência encontrada (PE) como a potência sugerida pelos vendedores (PV), é sempre maior que a potência requerida (PR). E que a potência encontrada tende a ser constante independente do número de cabeças a alimentar.

Tabela 3 Distorções das potências encontradas nos estabelecimentos.

<b>Nº de vacas</b>	<b>KG de capim</b>	<b>PR (CV)</b>	<b>PE (CV)</b>	<b>PV (CV)</b>
300	4.500	7,5	10,0	20,0
280	4.200	7,5	10,0	20,0
65	975	3,0	10,0	10,0
50	750	3,0	15,0	10,0
22	330	3,0	10,0	5,0
16	240	3,0	10,0	5,0

Fonte: Pereira (2002)

Souza et al. (2009), avaliou a demanda energética de 3 DPM's (Desintegrador/Picador/Moedor) no processamento do capim-elefante em função da rotação, concluindo que é possível baixar o custo de produção trabalhando em menores rotações, devido ao valor do consumo específico ser reduzido e que um aumento da capacidade de produção pode não significar maior eficiência da máquina.

Haddad et al. (1998) avaliou o consumo específico de energia no processamento de milho em grãos, em um DPM I, utilizando-se quatro peneiras, quatro diâmetros de furo e diversas taxas de produção de farelo de milho, concluindo que o consumo específico de energia diminuiu à medida que se aumentou a taxa de produção, e que existem condições adequadas de regulação, capazes de proporcionar consumo específico mínimo de energia, embora nem sempre este ponto seja relativo à máxima produção.

### **2.3 Eficiência Energética no meio agrícola**

No Brasil, aproximadamente 15% da população vive sem acesso a energia elétrica, população essa que vive em sua maioria no meio rural e em

áreas remotas do país. Estima-se que cerca de 100 mil propriedade rurais não tem acesso à eletricidade (WALTER, 2000).

De acordo com dados do Balanço Energético do Estado de Minas Gerais de 2008, em Minas Gerais a demanda total de energia alcançou o equivalente a 13,9% da demanda total de energia no Brasil, sendo que no período de 1978-2007, a demanda cresceu a uma taxa de 2,74% ao ano. O setor agropecuário apresentou em 2007 a demanda de 755 mil tEP (tonelada equivalente de petróleo), com crescimento de 1,1% em relação ao ano de 2006. Como pode ser visto na Figura 2, as fontes energéticas mais representativas foram o petróleo, derivados e gás natural, com 68,1%, seguidos por energia hidráulica com 26,9%, lenha e derivados com 5,0% (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 2009).

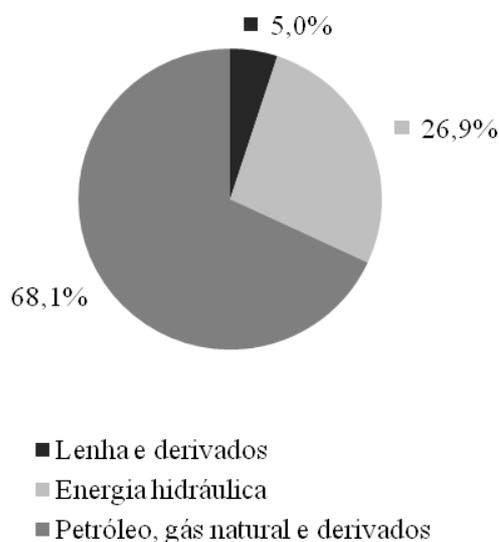


Figura 2 Demanda de energia do setor agropecuario de Minas Gerais, em 2007, por fonte

As atividades agrícolas dependem de fontes de energia, interna ou externa, renovável ou não, para sua execução.

Como fontes internas de energia têm o aproveitamento de resíduos para a geração de energia elétrica, como, por exemplo, a utilização de esterco em biodigestores, vapor de processo para aquecimento d'água, de granjas, secagem de grãos, enfim, em diversas etapas de pré-processamento e processamento agroindustriais (PEREIRA et al., 2002).

Como fontes externas, a energia elétrica e a energia proveniente dos combustíveis fósseis, sendo o diesel o mais comum.

Com o crescimento acelerado nos custos de energia elétrica no país, os fabricantes de equipamentos eletrorurais têm buscado fazer com que os processos q consomem energia sejam mais eficiente, com o objetivo de diminuir o valor da energia elétrica para os produtores rurais. De acordo com a Lei de Eficiência Energética (Lei nº. 10.295, 17 de outubro de 2001), os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho (BRASIL, 2001).

Eficiência Energética é o nome dado ao processo que busca utilizar a menor quantidade de energia para executar determinada função, assegurando assim o melhor aproveitamento energético. Suas principais vantagens são:

- a) Diminuição da necessidade de geração de energia elétrica;
- b) Redução dos custos e do consumo de energia elétrica para o consumidor final;
- c) Diminuição dos impactos ambientais.

A principal dificuldade encontrada no uso da eficiência energética está na falta de conhecimentos dos usuários ao melhor aproveitamento energético.

De acordo com Wander et al. (2007), o objetivo da eficiência energética é a redução de custos e maior economia da energia, utilizando novas tecnologias, materiais e equipamentos. Atualmente, um possível esgotamento de fontes naturais para a geração de energia é um perigo real, o que gera a necessidade de se saber como utilizar esses recursos, de forma adequada e econômica.

Na criação de animais em confinamento ou semiconfinamento, é comum as propriedades rurais utilizarem máquinas essencialmente rotativas para processar os alimentos dos animais, sejam estes aves, suínos, bovinos ou outros. Essas máquinas não são de uso exclusivo de grandes propriedades rurais, muitas vezes são encontradas em pequenas propriedades, nas quais o produtor busca agregar valor ao seu produto, melhorando a nutrição do rebanho. As máquinas utilizadas no processamento dos alimentos, como DPM's, picadoras de forragem, desintegradores, entre outros, pertencem ao grupo dos eletrorurais. (PEREIRA et al., 2002).

Um dos maiores motivos de desperdício de energia em motores elétricos, que são os mais utilizados nos equipamentos eletrorurais é o superdimensionamento, que acarreta consequências como redução do rendimento, maior custo, volume e peso do motor, além de acarretar em um maior custo da instalação e da proteção. Isso ocorre devido a fatores, como o desconhecimento das características da carga e de métodos para um dimensionamento adequado, expectativa de futuro, aumento de carga, busca de grandes margens de segurança para operação etc (WANDER et al., 2007).

Em um trabalho elaborado pela CEMIG (citado por PEREIRA et al., 2002), foram feitas diversas recomendações para o uso racional de equipamentos, inclusive para a picadora de forragem, a saber: realizar a alimentação da picadora de maneira uniforme e contínua, evitando a operação em vazio; cortar a forrageira tenra e macia, para melhor aproveitamento

nutricional, evitar o excesso de material no alimentador da máquina para não embuchar e ter que parar a operação.

Vendo a importância e a necessidade de se melhorar a eficiência energética no meio rural, a ELETROBRAS em parceria com a Fundação ROGE está desenvolvendo o projeto intitulado “Projeto Piloto de Conservação de Energia no Meio Rural - Estudo de Caso nas Terras Altas da Mantiqueira” o qual pretende realizar um diagnóstico do consumo de energia elétrica na região acima mencionada e propor melhorias.

#### **2.4 Motor Elétrico X Motor Diesel**

Na maioria dos processos agrícolas se utiliza a força motriz para o acionamento de máquinas necessárias a execução de tarefas. Embora existam diversas fontes de energia para o acionamento de motores, a eletricidade e o diesel são as mais utilizadas no Brasil (MONTEIRO et al., 2007).

De acordo com Faga e Mello Júnior (2008), grande parte da força motriz necessária ao acionamento de máquinas é originária do motor elétrico, devido a sua versatilidade, construção, manutenção, instalação, apresentando larga aplicação e grande utilização nos dias de hoje, se tornando a máquina mais utilizada em todo o mundo. Uma das principais características dos motores elétricos é o fato de manterem a velocidade constante dependendo do número de pólos do enrolamento e da frequência da linha.

De acordo com Silva (2006) o sistema de distribuição de energia elétrica na área rural é, quase na sua totalidade, monofásico. Os motores monofásicos são os geralmente utilizados nas propriedades rurais. Porém, com a necessidade de se melhorar a produtividade e com a mecanização da agricultura, a utilização de motores de maiores potências se torna fundamental, o que é inviável na

utilização de motores monofásicos, pois acima de 12,5 cv eles apresentam uma série de desvantagens elétricas e mecânicas, além do custo extremamente alto.

Alves Júnior et al. (2003) cita que para equipamentos de maior porte, na irrigação, existe a necessidade de motores elétricos trifásicos e que, do ponto de vista econômico, existem tem alternativas:

- a) Modificação do ramal monofásico para o trifásico
- b) Instalação de um conversor de fase junto aos motores (que permite a obtenção de correntes trifásicas a partir de monofásicas de baixa tensão)
- c) Utilizar motores no mesmo eixo para atingir maiores potências.

As vantagens de se utilizar o motor trifásico ao invés do monofásico são inúmeras. Para uma dada potência os motores trifásicos são significativamente mais eficientes que seus similares monofásicos. Correntes de partida e em regime de motores trifásicos são menos severas que em motores monofásicos. Os motores monofásicos se caracterizam por apresentarem: torque pulsante em regime, provocando falhas mecânicas e ruídos; baixo torque de partida; são muito mais pesados, chegando próximo ao dobro da massa (kg) de um similar trifásico e, conseqüentemente, são mais caros (SOLARI FILHO et al., 2001).

Os motores elétricos apresentam várias vantagens em relação aos motores a diesel, como se pode citar: maior vida útil, manutenção mais econômica, maior segurança, etc. Como principal desvantagem, a exigência de uma linha de transmissão de energia até o local de instalação e a dependência da qualidade de fornecimento da concessionária (BRAGA JUNIOR; CARVALHO; REIS, 2000).

Braga Júnior, Carvalho e Reis (2000) realizou um estudo dos custos fixos e variáveis usando motor elétrico e diesel para o acionamento de bombas em áreas irrigadas e concluiu que o motor elétrico apresentou menores custos

com relação à instalação do motor diesel, para atender a mesma potência requerida.

Entretanto, em determinadas situações, não se dispõe, nas proximidades, de rede elétrica, o que passa a viabilizar o uso de motores diesel. E também é muito importante lembrar que o racionamento de energia elétrica, ao qual o Brasil foi submetido desde junho de 2001 até meados de 2002, trouxe à tona novamente a necessidade de se pesquisarem outras fontes energéticas.

O motor diesel pode servir como fonte alternativa em caso de falta de energia, além de independe da qualidade de fornecimento de energia elétrica pela concessionária.

O motor diesel executa as mesmas funções do motor elétrico, ou seja, prover trabalho ao eixo para utilização em vários processos, como, por exemplo, acionar uma bomba, um compressor, etc.

O motor diesel permite adaptações para funcionar com praticamente qualquer tipo de combustível, desde os óleos vegetais, até o gás natural e a gasolina de alta octanagem; porém, o mais comum e adequado é o óleo diesel destilado do óleo mineral cru.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi realizado no Centro Tecnológico de Máquinas e Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

O produto utilizado nos ensaios foi o capim-elefante, proveniente das instalações do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras.

#### **3.1 Materiais**

Os materiais utilizados na presente pesquisa estão relacionados a seguir.

##### **3.1.1 Picadora de forragem**

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma Picadora Trapp, modelo ES500 (Figura 3), que foi projetada para picar forrageiras tais como: capins, cana-de-açúcar, sorgo, milho, etc., utilizadas na produção de silagem ou no trato diário de animais.



Figura 3 Máquina utilizada na pesquisa  
Fonte: Trapp (2009)

Possui disco com 3 facas, bica de descarga direcionável e pode ser acionada por motores elétricos, a diesel, a gasolina ou pela tomada de força do trator. Neste trabalho ela foi acionada por dois tipos de motores: um elétrico de 3,7 kW e um de ciclo diesel de 7,4 kW.

As características da picadora estão relacionadas na Tabela 4.

Tabela 4 Características técnicas da máquina, segundo o fabricante.

Número de facas	Rotação (rpm)	Produção kg.h <sup>-1</sup>	Comprimento de corte (mm)	Motor elétrico (kW)	Motor diesel (kW)
3	1600	1400/5000	5 e 10	3,68 e 5,52	5,22 a 5,97

Fonte: Trapp (2009)

### 3.1.2 Motor ciclo diesel

O motor diesel utilizado nos ensaios foi um motor estacionário da marca Branco, modelo BD 10.0, ciclo diesel a 4 tempos, monocilíndrico. Possui sistema de injeção direta, refrigerado a ar, rotação nominal de 3000/3600 rpm. A

potência máxima nominal é de 6,7 kW a 3600 rpm e o torque máximo nominal é de 27 N.m a 2000 rpm. Apresenta consumo médio de combustível de 2,15 L.h<sup>-1</sup>.

Para os ensaios utilizando motor ciclo diesel foi utilizado óleo diesel, obtido na rede de abastecimento automotiva local. A rotação do motor foi de 3300 rpm.

### **3.1.3 Motor elétrico**

O motor elétrico utilizado nos ensaios, foi um motor estacionário da marca WEG, de alto rendimento, trifásico, rotação de 3500 rpm, potência de 3,7 kW.

### **3.1.4 Transdutor de torque**

Entre a máquina motora (motor) e a máquina movida (picadora de forragens) foi instalado um transdutor de torque ou torquímetro, que possui quatro sensores do tipo resistivos de 120  $\Omega$ , montados em ponte de Wheatstone completa, da marca “Hottinger Baldwin Messtechnik – HBM” e especificação HBM XA 11. Os sensores são montados em 2 rosetas a 90 ° e colados a 45 ° do eixo. Os anéis coletores e as escovas responsáveis pela transmissão de dados também são HBM.

### **3.1.5 Bancada de ensaios**

A base para o torquímetro foi construída de modo que evitasse a transmissão de qualquer tipo de força que não fosse o torque. Para isso, a estrutura foi fixada diretamente no chão utilizando-se chumbadores. Como pode se ver na Figura 4, as polias colocadas foram do mesmo diâmetro da polia do

motor para obter a rotação de 1600 rpm no eixo das facas, especificado pelo fabricante, e, além dos rolamentos de fixação, foram colocados nas extremidades dos eixos rolamentos de auto compensação para compensar qualquer desalinhamento no eixo.



Figura 4 Base construída para o transdutor de torque

A bancada de ensaio para a medição do torque foi montada conforme as Figuras 5 e 6 abaixo.

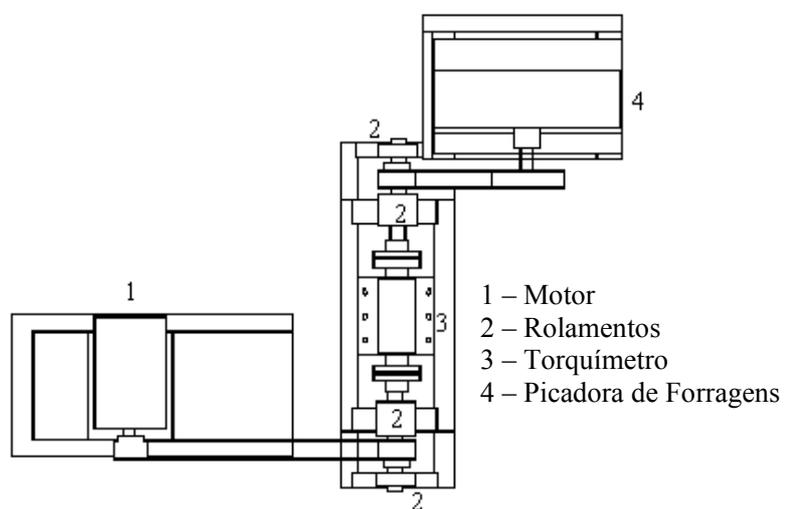


Figura 5 Esquema do sistema construtivo



Figura 6 Torquímetro acoplado a picadora

### **3.1.6 Sistema de aquisição de dados**

Para a aquisição dos dados foi utilizado um sistema da HBM modelo “SPIDER 8” que utiliza o programa “Catman” para o seu controle e possibilita a visualização gráfica instantânea e o armazenamento de dados.

### **3.1.7 Paquímetro**

Foi utilizado um paquímetro digital, marca King Tools, com capacidade de 150 mm (6”) e resolução de 0,01 mm (0,005”), para a determinação do tamanho de corte das partículas.

### **3.1.8 Tacômetro**

Para a determinação da rotação do motor foi utilizado um tacômetro de foto/contato digital, marca Microtest.

## **3.2 Métodos**

A metodologia utilizada na condução do experimento está descrita a seguir.

### **3.2.1 Calibração do Torquímetro**

A calibração do torquímetro foi feita estaticamente utilizando um braço de alavanca de 1 metro de comprimento, no qual, para anular o peso do braço, foi feito um furo no centro, conforme pode ser visto da Figura 7. Foram aplicadas cargas a distância do centro de 0,46 m, até o limite de 6,37 N, sendo

que os sinais de saída foram registrados através do sistema de aquisição de dados SPIDER 8.



Figura 7 Calibração do torquímetro

A Tabela 5 mostra as relações obtidas entre os valores de carga aplicada e valores lidos.

Tabela 5 Calibração do torquímetro.

Carga aplicada (N.m)	Valores lidos (mV.V <sup>-1</sup> )
0,471	0,005
2,638	0,027
5,050	0,052
7,267	0,075
9,493	0,098
11,709	0,121
13,288	0,137
16,220	0,167
17,819	0,184
19,898	0,206

Foi feita uma curva de calibração com a carga aplicada (N.m) x tensão de saída. A Figura 8 mostra o gráfico de calibração do torquímetro.

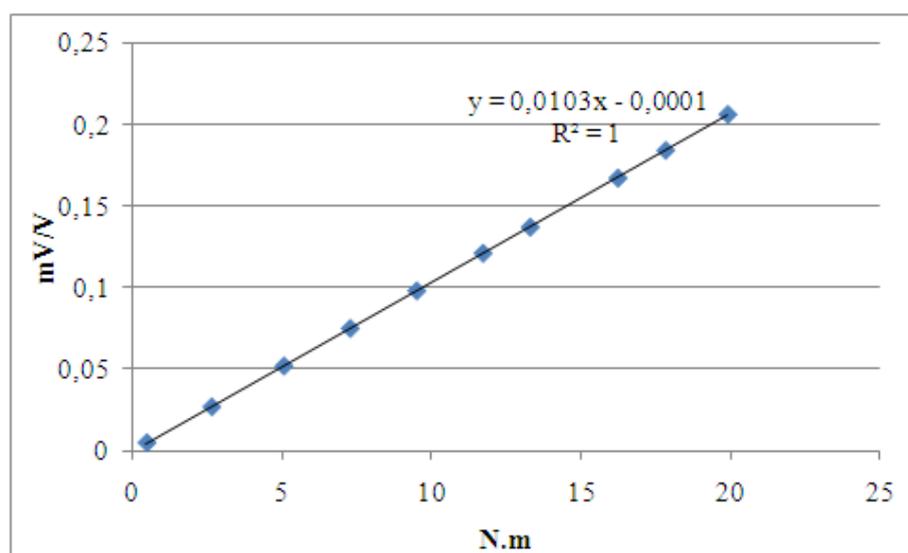


Figura 8 Gráfico de calibração do torquímetro

### 3.2.2 Preparo do material

O capim foi cortado manualmente em campo utilizando um facão e transportado até o Centro Tecnológico de Máquinas e Mecanização Agrícola utilizando-se trator com carreta. Foram formados quatro tamanhos de feixes, com 3, 5, 7 e 9 colmos (Figura 9).



Figura 9 Preparo do material para os ensaios

Para a alteração do tamanho das partículas, 5 e 10 mm, foi feita a troca de posição da correia, conforme a Figura 10.



(a)



(b)

Figura 10 Alteração do tamanho das partículas: (a) 5 mm e (b) 10 mm

### 3.2.3 Capacidade de produção

Para avaliar a capacidade de produção, foi colocada, próximo a saída da máquina uma lona esticada no chão. Para cada repetição, o tempo foi medido a partir do momento em que se iniciou o corte.

O material, depois de cortado foi recolhido com ajuda de vassoura, foi acondicionado em sacos plásticos e pesado posteriormente.

### 3.2.4 Demanda de potência

Para avaliar a demanda de potência foi medido o torque da máquina em operação, com o auxílio do transdutor de torque, o qual foi instalado entre a máquina e o motor. Foi medido o torque de ambos os motores. A rotação foi medida com o auxílio de um tacômetro, sendo que seus sensores foram posicionados no eixo do motor.

Foi considerada para o cálculo da potência a média do momento exato em que se iniciou o corte até o seu término total. Como podem ser exemplificados na Figura 11, os gráficos de torque, tanto do motor elétrico, quanto do motor diesel, podem ser divididos em três partes, a saber: (A) Torque com motor desligada; (B) Torque no momento de estiramento da correia; (C) Torque do motor sem alimentação; (D) Torque do motor com alimentação.

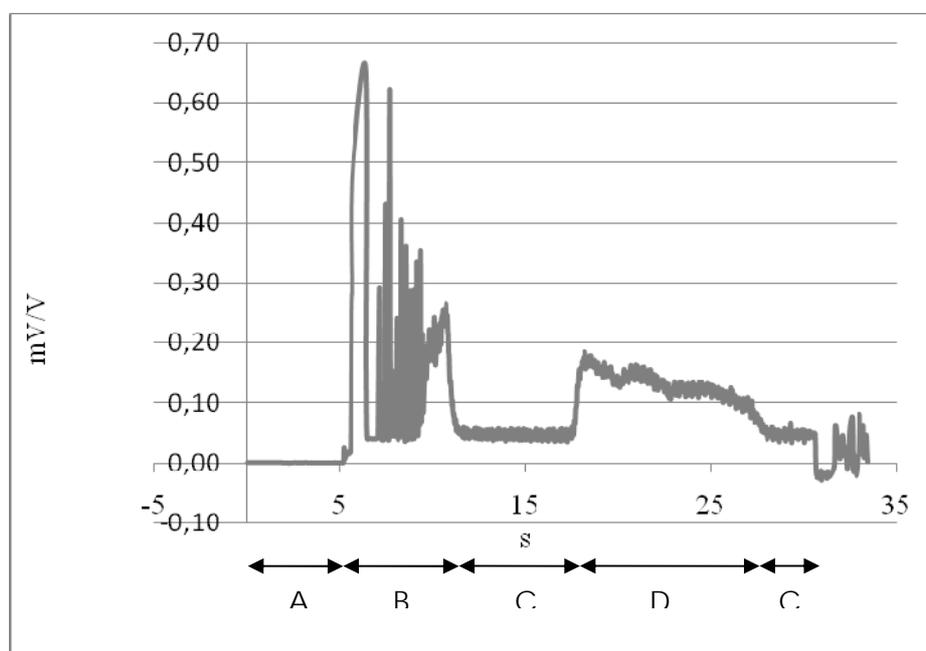


Figura 11 Histograma da medição de torque

A potência pode ser calculada com o torque correspondente à velocidade angular pela Equação 1.

$$P = \frac{T \times N \times 2\pi}{60000}$$

(1)

Onde:

P = potência demandada, KW

T = torque, N.m

N = Rotação, rpm.

### 3.2.5 Determinação da eficiência do trabalho útil

De acordo com Rodriguez (2004), o consumo de potência dos órgãos de trabalho de uma picadora de forragens, assim como de máquinas agrícolas e outras máquinas em geral, pode ser expresso pela Equação 2:

$$P = P_{\text{útil}} + P_{\text{vazio}} \quad (2)$$

Onde:

$P_{\text{útil}}$  – Potência útil demandada, kW.

$P_{\text{vazio}}$  – Potência demandada com a máquina funcionando sem fluxo de material, kW.

Como pode ser visto na Figura 12, a potência total foi considerada como a média da potência nos três primeiros segundos de alimentação do motor e a Potência da máquina funcionando sem fluxo de material como o menor valor do motor ligado.

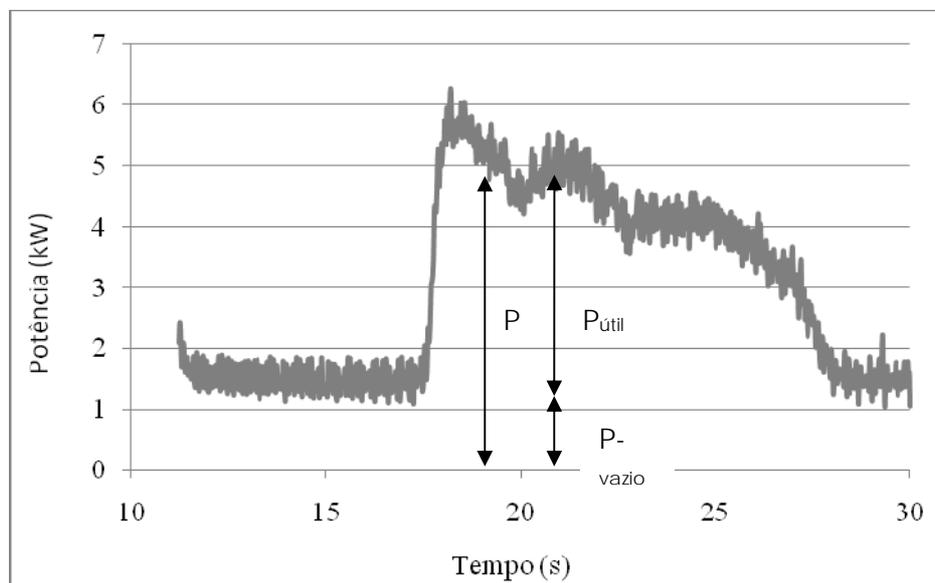


Figura 12 Histograma de medição da Potência Total (P), Potência útil (P<sub>útil</sub>) e Potência no vazio (P<sub>vazio</sub>)

De acordo com Souza (2005), a eficiência de trabalho útil das picadoras de forragens, que envolve os processos de sucção do material, corte e impulsão das partículas cortadas, pode ser determinada pela Equação 3.

$$Ef = \frac{P_{\text{útil}}}{P} = \frac{P - P_{\text{vazio}}}{P} = \left(1 - \frac{P_{\text{vazio}}}{P}\right) \quad (3)$$

### 3.2.6 Determinação do consumo específico de energia

De acordo com Souza (2005), o consumo específico de energia foi determinado relacionando a potência total demandada (kW) com a capacidade de produção (t.h<sup>-1</sup>) (Equação 4).

$$C_e = \frac{P}{C_p}$$

(4)

Em que,

C<sub>e</sub> – Consumo específico, kWh<sup>-1</sup>;

P – Potência total demandada, kW;

C<sub>p</sub> – Capacidade de produção da máquina, t.h<sup>-1</sup>.

### 3.2.7 Determinação da qualidade do material picado

A deformação das partículas ou desfibramento foi determinada por comparação visual através de fotografia digital retirada das amostras.

### 3.2.8 Distribuição do tamanho de partículas

Para determinação da distribuição do tamanho de partículas foi utilizado o método Penn State Particle Size Separator, adaptado para capins tropicais, o qual consiste de quatro bandejas, sendo que a primeira retém partículas com diâmetro superior a 38 mm, a segunda retém partículas com diâmetro entre 19 e 38 mm, a terceira retém partículas com diâmetro entre 7,8 e 19 mm e a quarta e última bandeja, com fundo fechado, retém partículas com diâmetro inferior a 7,8 mm (MARI; NUSSIO, 2008).

Os procedimentos adaptados de Buckmaster, Heinrichs e Lammers (1999) e Buckmaster, Heirinchs e Lammers (1996) para determinação do tamanho médio de partículas são os seguintes:

- a) Anotar a tara de cada peneira e do fundo;

- b) Pesar 250 gramas de amostra de forragem fresca;
- c) Colocar a amostra sobre a peneira superior e iniciar a agitação sistematizada. A agitação deve ser realizada sobre uma superfície plana e lisa, e consiste em oito séries de cinco agitações vigorosas (a cada cinco agitações o conjunto de peneiras é rotacionado a 90 °), totalizando 40 movimentos;
- d) Anotar o peso de cada peneira com a forragem retida;

Medir com paquímetro digital, o tamanho médio das maiores partículas retidas na peneira superior e das menores partículas retidas na peneira fechada (fundo) (Figura 13).



Figura 13 Peneiramento e separação das partículas para determinação do tamanho médio

O cálculo da porcentagem de partículas retidas em cada peneira foi realizado de forma direta, considerando o somatório dos pesos da fração retida em cada peneira, descontando-se a tara da peneira. O cálculo ponderal do tamanho médio das partículas foi dado pelo tamanho médio das partículas retidas em cada peneira e o percentual de retenção em relação ao peso total da amostra estratificada.

O tamanho médio das partículas (TMP) é medido pela Equação 5:

$$TMP = \left\{ \left[ \frac{(T_1 + 38)}{2} \right] \times P_1 \right\} + \left\{ \left[ \frac{(38 + 19)}{2} \right] \times P_2 \right\} + \left\{ \left[ \frac{(19 + 8)}{2} \right] \times P_3 \right\} + \left\{ \left[ \frac{(8 + T_2)}{2} \right] \times P_4 \right\}$$

(5)

Onde:

TMP = tamanho médio das partículas, mm

T<sub>1</sub> = tamanho das maiores partículas retidas na peneira superior, mmT<sub>2</sub> = tamanho das menores partículas retidas na peneira fechada, mmP<sub>1</sub> = porcentagem retida na primeira peneiraP<sub>2</sub> = porcentagem retida na segunda peneiraP<sub>3</sub> = porcentagem retida na terceira peneiraP<sub>4</sub> = porcentagem retida na peneira fechada

Porém, as peneiras maiores não foram utilizadas, pois não houve, depois do material cortado, partículas maiores que 19 mm, ficando a equação para a determinação do tamanho médio das partículas da seguinte forma (Equação 6):

$$TMP = \left\{ \left[ \frac{(T_1 + 8)}{2} \right] \times P_1 \right\} + \left\{ \left[ \frac{(8 + T_2)}{2} \right] \times P_2 \right\}$$

(6)

Onde:

T<sub>1</sub> = tamanho das maiores partículas retidas na peneira superior, mmT<sub>2</sub> = tamanho das menores partículas retidas na peneira fechada, mmP<sub>1</sub> = porcentagem retida na primeira peneiraP<sub>2</sub> = porcentagem retida na peneira fechada

### **3.2.9 Desgaste das facas**

As facas novas utilizadas nos ensaios foram as que vieram originais com a picadora de forragens. Depois de realizados os ensaios, as facas novas foram segadas com o auxílio de uma lima até a perda total da afiação das facas.

### **3.3 Delineamento Experimental**

Foram realizados 32 tratamentos no corte da forragem pela associação de 2 formas de acionamento da máquina, correspondendo uma ao acionamento elétrico e outra ao acionamento pelo motor diesel, 2 facas, sendo uma nova e a outra sega, 4 volumes de alimentação e 2 tamanhos de partículas, 5 e 10 mm.

Conforme Gomes (1990), o arranjo experimental será um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, com 5 repetições, totalizando 160 medições.

Os dados obtidos das situações correspondentes aos 32 tratamentos acima mencionados foram tabulados em planilhas eletrônicas e analisados utilizando um software livre para análises estatísticas, denominado ASSISTAT.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Pela Tabela 6 pode-se observar a interação significativa entre os fatores analisados, o que necessita de desdobramentos para explicar melhor os resultados, que será visto nos itens a seguir.

Analisando o fator motor, verifica-se que o motor diesel, apesar de ter apresentado uma menor demanda de potência e maior eficiência de trabalho útil, apresentou também um maior consumo específico e menor capacidade de produção.

A faca nova apresentou os melhores valores em todas as análises efetuadas quando comparada a faca sega, apresentando menores valores de potência consumida e de consumo específico e maior valor de capacidade de produção.

Se tratando de consumo de energia, o tamanho de corte de 10 mm foi o que apresentou melhores valores, menor potência consumida e menor consumo específico, além de apresentar maior capacidade de produção que o tamanho de corte de 5 mm, porém, seu tamanho médio de partículas ficou distante do valor esperado.

Quando se analisa o fator número de colmos constata-se que para os valores de potência consumida, eficiência de trabalho útil e capacidade de produção, todos os quatro tratamentos apresentaram diferença estatisticamente significativa, decrescendo da alimentação de 9 colmos para a de 3 colmos. Já para o consumo específico, as alimentações com 3 e 7 colmos foram estatisticamente semelhantes entre si, apresentando valores maiores que para as

alimentações com 5 e 9 colmos, que também não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 6 Síntese da análise de variância e do teste de médias<sup>#</sup> para as variáveis analisadas.

Fatores	Potência Consumida (kW)	Eficiência de trabalho útil (%)	Consumo específico (kWh.t <sup>-1</sup> )	Capacidade de produção (t.h <sup>-1</sup> )	Tamanho de partículas (mm)
Motor (M)					
Diesel	3,37 b	0,59 a	3,96 a	1,08 b	6,83 a
Elétrico	4,10 a	0,54 b	3,34 b	1,36 a	6,47 b
Faca (F)					
Nova	3,52 b	0,54 b	2,97 b	1,38 a	6,54 b
Sega	3,95 a	0,58 a	4,32 a	1,06 b	6,77 a
Tamanho de corte (T)					
5	3,96 a	0,59 a	4,06 a	1,04 b	5,86 b
10	3,50 b	0,53 b	3,23 b	1,40 a	7,44 a
Número de colmos (N)					
3	2,78 d	0,43 d	4,06 a	0,75 d	6,86 a
5	3,36 c	0,52 c	3,24 b	1,17 c	6,85 a
7	4,29 b	0,64 b	4,02 a	1,37 b	6,44 b
9	4,50 a	0,66 a	3,26 b	1,59 a	6,46 b
<b>Teste F</b>					
M	275,71 **	100,4 **	22,17 **	71,58**	56,94 **
F	94,43 **	93,9 **	106,19 **	95,22**	24,37 **
T	106,72 **	184,99 **	39,77 **	118,35**	1132,82 **
N	333,42 **	559,57 **	12,16 **	119,80**	24,73 **
M X F	0,13 ns	19,52 **	33,35 **	39,85**	11,34 **
M X T	7,25 **	1,74 ns	0,01 ns	0,68 ns	14,85 **
M X N	7,04 **	4,41 **	14,92 **	13,80 **	5,31 **
F X T	2,75 ns	44,10 **	66,11 **	105,63**	96,46**
F X N	1,25 ns	5,06 **	8,26 **	12,86**	21,66 **
T X N	1,77 ns	3,11 *	18,49 **	10,40 **	5,39 **
M X F X T	1,01 ns	1,62 ns	19,22 **	11,16 **	1,10 ns

M X F X N	0,92 ns	0,15 ns	19,59 **	11,25**	1,84 ns
M X T X N	2,91 *	0,19 ns	21,52 **	13,24 **	2,71 *
...continua...					

Tabela 6, Cont.

F X T X N	2,33 ns	2,57 ns	11,44 **	9,36**	6,14 **
M X F X T X N	0,70 ns	0,88 ns	8,09 **	1,39 ns	7,14 **
CV (%)	7,49	5,07	22,71	16,96	4,46

<sup>†</sup>Em cada coluna, para cada fator, médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

\*\*Significativo em nível de 1% de probabilidade

\*significativo em nível de 5% de probabilidade

ns- não significativo

CV – Coeficiente de variação

#### 4.1 Demanda de potência

Como pode ser observado no Gráfico 1, na interação entre os fatores número de colmos e tipo de motor, para a demanda de potência, o motor elétrico apresentou valores médios maiores que para o motor diesel em todas as situações de alimentação da picadora, pois para seu acionamento a potência demandada foi maior. A alimentação com nove colmos foi a que apresentou maior demanda de potência para ambos os motores, que aumentou na medida em que se aumentou a quantidade de colmos, pois quanto mais carga se aplica na alimentação, maior a resistência de penetração da faca no material vegetal, aumentando, conseqüentemente, a força necessária para o corte.

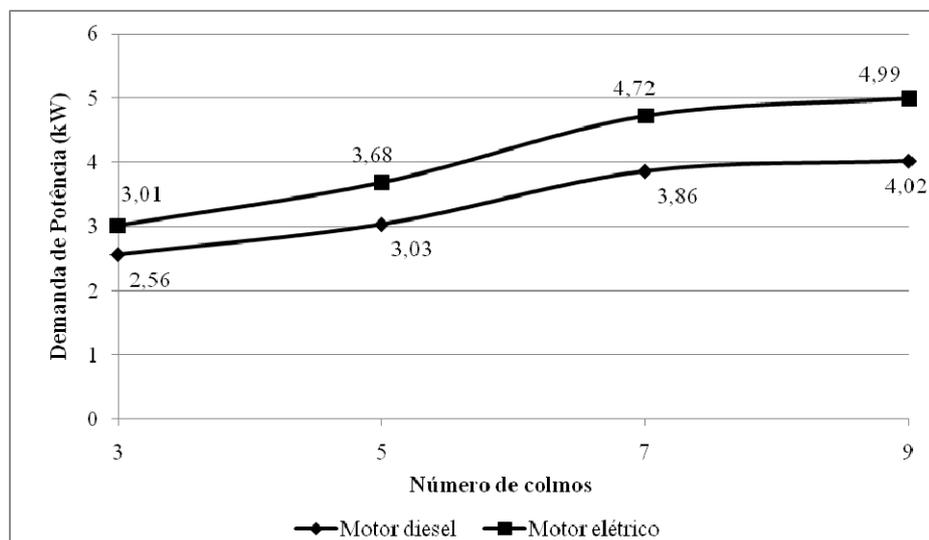


Gráfico 1 Demanda de potência em função do número de colmos para os motores elétrico e diesel

Analisando-se a interação entre os fatores, tamanho de corte e tipo de motor (Tabela 7), o elétrico, novamente, apresentou maiores valores médio de demanda de potência. Quando se observa o fator tamanho de corte dentro do fator motor, o tamanho de corte de 5 mm foi o que apresentou maiores valores médios, para os dois tipos de motor, fato esse que pode ser explicado, pois ao se diminuir o tamanho do corte, diminui-se a velocidade de alimentação da picadora, fazendo-se necessário uma maior quantidade de vezes com que a faca passe pelo material.

Tabela 7 Desdobramento das interações entre os fatores Tamanho de Corte e Motor para a Demanda de Potência, em kW.

Tamanho de corte	Motor	
	Diesel	Elétrico
5 mm	3,65 aB	4,27 aA
10 mm	3,08 bB	3,93 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, em nível de 1% de probabilidade

No desdobramento da interação dos fatores MxTxN, o motor elétrico não apresentou diferenças estatisticamente significativas. Para o motor diesel, os dados podem ser visualizados na Tabela 8. Com exceção da alimentação com três colmos, o qual apresentou valores estatisticamente semelhantes, o tamanho de corte de 5 mm apresentou maiores valores médios de demanda de potência.

Tabela 8 Desdobramento das interações entre os fatores Tamanho de corte e Número de colmos, utilizando motor Diesel, para a demanda de potência, em kW.

		Número de colmos			
		3	5	7	9
Tamanho de corte (mm)	5	2.67 aC	3.31 aB	4.23 aA	4.41 aA
	10	2.45 aB	2.76 bB	3.49 bA	3.62 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade

Souza (2005), avaliando a demanda de potência de 3 dpm's no corte de capim elefante, encontrou valores semelhantes de demanda de potência, porém superiores devido ao fato de que a picadora de forragens possui rolos alimentadores, que controla a entrada da alimentação da máquina e distribuindo-a uniformemente para o corte.

Bianchini (2004) verificou que, para o corte de palha de cana, a força máxima de corte apresentou tendência linear e crescente com o incremento de quantidade de material vegetal.

#### 4.2 Eficiência de trabalho útil

Avaliando-se a interação dos fatores tamanho de corte e motor com o fator número de colmos, conforme pode ser visto na Tabela 9, para todas as taxas de alimentação, o tamanho de corte de 5 mm apresentou maior eficiência

de trabalho útil, assim como o motor diesel. Em ambas as interações, a eficiência de trabalho útil cresceu na medida em que se aumentou a taxa de alimentação.

Tabela 9 Desdobramento das interações entre os fatores tamanho de corte e número de colmos e entre os fatores motor e número de colmos, para a demanda de potência, em kW.

		Número de colmos			
		3	5	7	9
Tamanho de corte (mm)**	5	0,46 aC	0,56 aB	0,67 aA	0,68 aA
	10	0,40 bC	0,48 bB	0,61 bA	0,64 bA
Motor*	Diesel	0,46 aC	0,55 aB	0,66 aA	0,67 aA
	Elétrico	0,40 bC	0,49 bB	0,63 bA	0,64 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey. \*Em nível de 1% de probabilidade. \*\* Em nível de 5% de probabilidade

No Gráfico 2 pode-se visualizar a interação dos fatores com o fator faca. Para ambos os tipos de motor, a faca sega apresentou maior eficiência de trabalho útil que a faca nova e o motor diesel mais eficiente que o motor elétrico. O tamanho de corte de 5 mm, utilizando-se faca sega foi o que apresentou maior eficiência de trabalho útil. As alimentações com 7 e 9 colmos foram estatisticamente semelhantes, apresentando valores médios superiores de eficiência de trabalho útil que as alimentações com 3 e 5 colmos. Para todas as taxas de alimentação a faca sega apresentou valores superiores à faca nova.

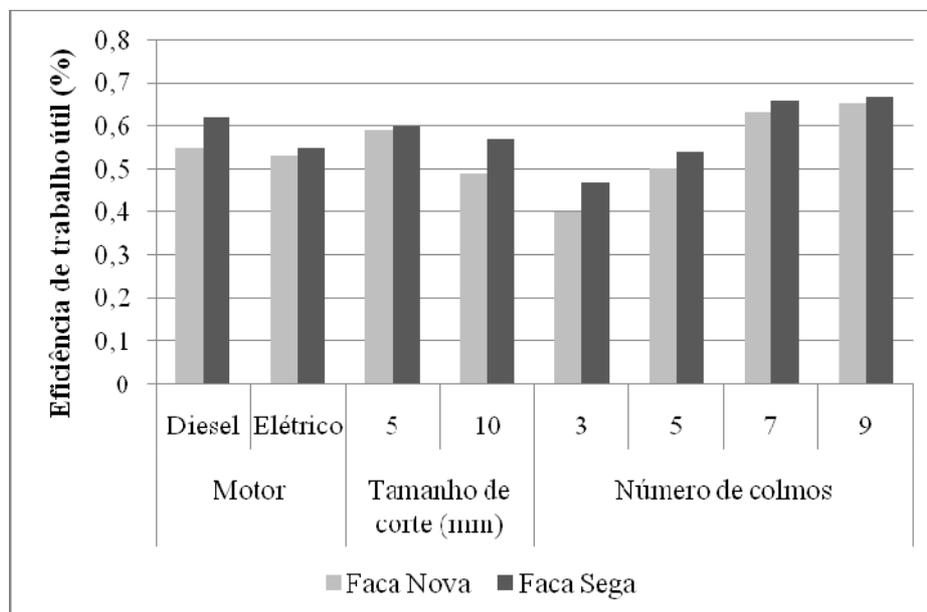


Gráfico 2 Interação entre os fatores Motor, Tamanho de corte e Número de Colmos com o fator Faca, para a Eficiência de trabalho útil, em %

A eficiência de trabalho útil é a porcentagem da potência que está sendo utilizada para realizar trabalho e como a potência da picadora sem trabalho útil, ou seja, sem fluxo de material, não varia, independente do parâmetro avaliado, os parâmetros que apresentaram maior eficiência de trabalho útil são os mesmos que apresentaram maior demanda de potência.

O motor diesel, como já citado, necessitou de menor potência para seu acionamento e, mesmo apresentando valores totais de demanda de potência inferiores ao motor elétrico, a potência útil demandada foi superior apresentando, portanto, maiores valores de eficiência de trabalho útil.

### 4.3 Capacidade de produção

No Gráfico 3 pode-se visualizar a interação entre os fatores Motor, Faca e Tamanho de corte, sendo que, a interação que apresentou maior capacidade de produção foi o motor diesel, com a picadora regulada para o corte de 10 mm, utilizando faca nova.

O tamanho de corte de 10 mm tende a ser maior, haja vista que a velocidade dos rolos alimentadores aumentará, diminuindo assim o tempo de corte para determinada quantidade de material.

A utilização de faca nova também proporcionou uma maior capacidade de produção, a exceção da interação entre o motor elétrico e o corte de 5 mm, pois a resistência a penetração da faca nova no material vegetal é menor do que para a faca sega, diminuindo o tempo que levará para se efetuar o corte.

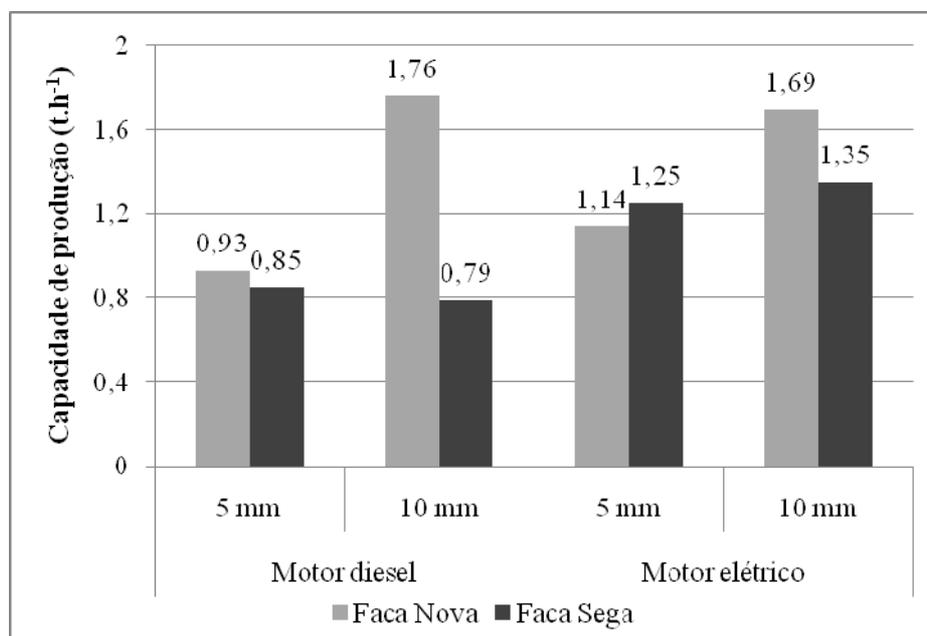


Gráfico 3 Interação entre os fatores Motor, Tamanho de corte e Faca, para a Capacidade de produção, em t.h<sup>-1</sup>

Como pode ser observada na Tabela 10, a interação entre os fatores Motor, Faca e Número de colmos, a exceção da alimentação com 3 colmos para o motor diesel e com 3 e 5 colmos para o motor elétrico, a faca nova apresentou valores estatisticamente superiores de capacidade de produção que a faca sega.

No Gráfico 4 pode ser observado o comportamento das interações com o aumento da alimentação. Exceto a utilização do motor diesel com a faca sega para as outras interações a capacidade de produção aumentou na medida em que se aumentou a alimentação.

Uma explicação para os dados obtidos utilizando o motor diesel com faca sega, é que durante o corte com a faca sega devido à força de corte ser maior, a rotação do motor diesel variou consideravelmente, não conseguindo assim manter constante a rotação dos rolos alimentadores e das facas, inclusive chegando a valores muito baixos, fazendo com que o tempo de corte fosse maior.

Tabela 10 Desdobramento das interações entre os fatores Motor, Faca e Número de colmos, para a demanda de potência, em kW.

Motor	Faca	Número de colmos			
		3	5	7	9
Diesel	Nova	0,77 aD	1,25 aC	1,49 aB	1,87 aA
	Sega	0,75 aB	0,88 bAB	0,70 bB	0,94 bA
Elétrico	Nova	0,75 aC	1,41 aB	1,60 aB	1,90 aA
	Sega	0,74 aC	1,12 bB	1,69 aA	1,65 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey. \*Ao nível de 1% de probabilidade. \*\* No nível de 5% de probabilidade

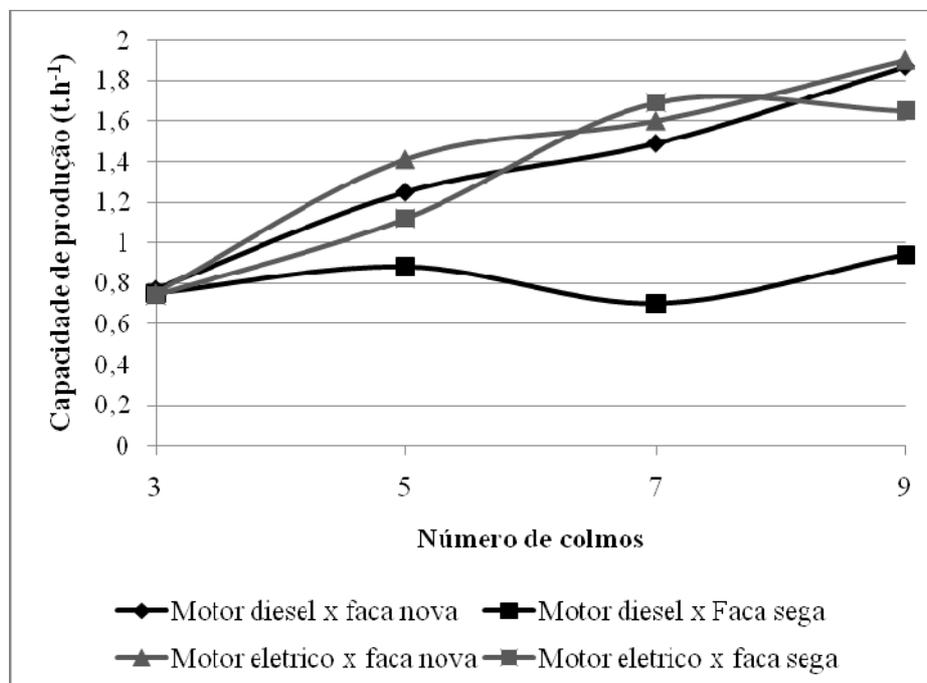


Gráfico 4 Interação entre os fatores Motor x Faca x Número de Colmos para a capacidade de produção

Na Tabela 11 é possível visualizar o desdobramento dos fatores Motor, Tamanho de corte e Número de colmos. Os resultados são semelhantes aos encontrados nas outras interações, sendo que, o conjunto que apresentou maior capacidade de produção foi utilizando motor elétrico, com a picadora regulada para corte de 10 mm e alimentada com feixes de 9 colmos.

Tabela 11 Desdobramento da interação entre os fatores Motor, Tamanho de corte e Número de colmos para a capacidade de produção, em t.h<sup>-1</sup>.

Motor	Tamanho de corte (mm)	Número de colmos			
		3	5	7	9
Diesel	5	0,50 bC	0,74 bB	1,10 aA	1,21 bA
	10	1,01 aC	1,39 aB	1,09 aC	1,60 aA
Elétrico	5	0,75 aC	1,14 bB	1,51 bA	1,37 bAB
	10	0,73 aD	0,73 aD	1,78 aB	2,18 aA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, no nível de 1% de probabilidade

No desdobramento entre os fatores Faca, Tamanho de corte e Número de colmos, a faca sega não apresentou diferença estatística entre os fatores. O comportamento da interação entre os fatores utilizando faca nova pode ser visualizado no Gráfico 5, onde pode-se notar que, como já evidenciado acima, a capacidade de produção aumenta com o incremento da alimentação e é maior utilizando-se a regulagem de corte de 10 mm.

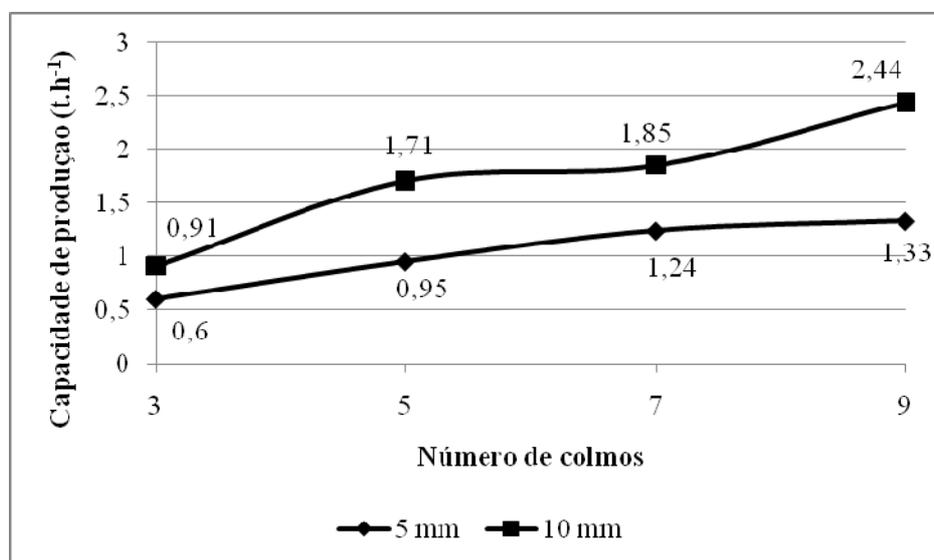


Gráfico 5 Interação entre os fatores Número de colmos e Tamanho de corte, utilizando faca nova, para a capacidade de produção, t.h<sup>-1</sup>

Visto que, o fabricante estima uma produção de 1,4 a 5 t.h<sup>-1</sup>, a alimentação com 3 e 5 colmos e algumas interações, como utilizando-se faca sega e motor diesel, apresentam valores muito inferiores.

#### 4.4 Consumo específico

Avaliando-se a interação entre os fatores Motor, Faca e Tamanho de corte para o consumo específico, como pode ser visto no Gráfico 6, tanto para o motor diesel, quanto para o motor elétrico, a interação entre o motor diesel, a faca nova e o tamanho de corte de 10 mm apresentaram menor consumo específico, sendo o valor encontrado de 1,68 kWh.t<sup>-1</sup>. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que o tamanho de corte de 10 mm foi o que apresentou maiores valores de capacidade de produção e menores de demanda de potência.

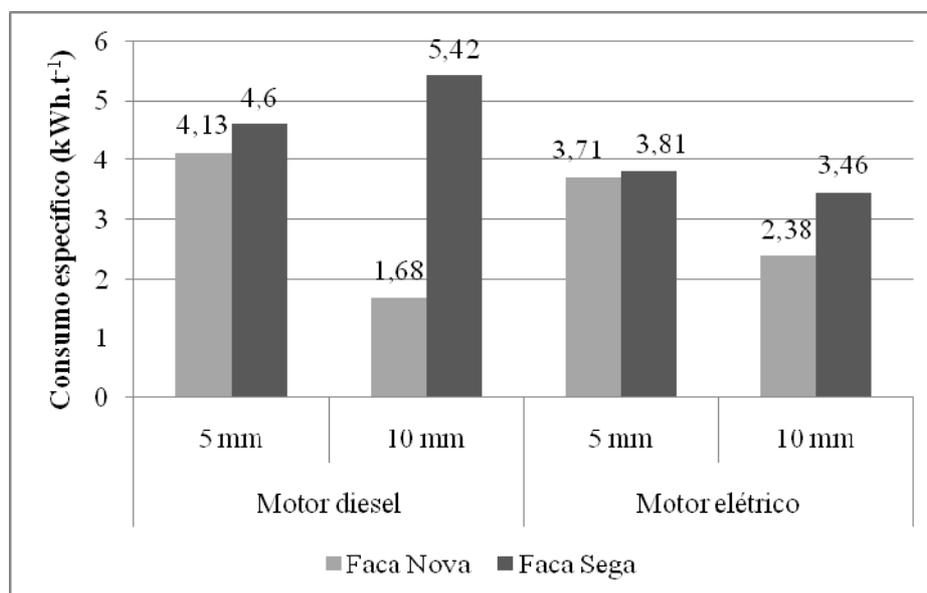


Gráfico 6 Interação entre os fatores Motor, Tamanho de corte e Faca, para o Consumo específico

Nas interações Motor, Tamanho de corte e Número de colmos e Motor, Faca e Número de colmos, o motor elétrico não apresentou diferenças estatisticamente significativas. Os comportamentos da interação para o motor diesel podem ser visualizados na Tabela 12 e no Gráfico 7. Como se pode observar, o tamanho de corte de 10 mm apresentou comportamento semelhante ao da faca sega, atingindo um pico na alimentação com 7 colmos. O tamanho de corte de 5 mm também apresentou comportamento semelhante ao da faca nova, decrescendo a medida em que se aumenta a alimentação. A utilização da faca nova, cortando o material com tamanho de 10 mm apresentou menor consumo específico.

Tabela 12 Desdobramento das interações entre os fatores Tamanho de corte e Faca com o fator Número de colmos, utilizando motor diesel, para o Consumo específico, em kWh.t<sup>-1</sup>.

		Número de colmos			
		3	5	7	9
Tamanho de corte (mm)	5	5,32 aA	4,47 aAB	3,91bB	3,74 aB
	10	2,52 bB	2,25 bB	6,2 aA	3,23 aB
Faca	Nova	3,66 aA	2,91 bAB	2,66 bAB	2,36 bB
	Sega	4,18 aB	3,81 aB	7,43 aA	4,61 aB

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, em nível de 1% de probabilidade

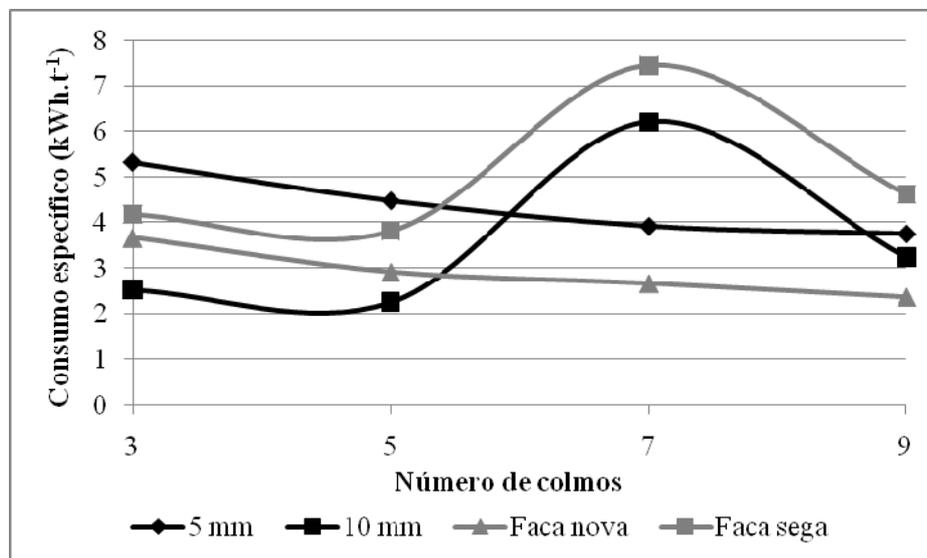


Gráfico 7 Interação entre os fatores Faca, Tamanho de corte e Número de colmos, utilizando motor diesel

No desdobramento da interação entre os fatores Faca, Tamanho de corte e Número de colmos, para consumo específico, a faca nova não apresentou diferenças estatísticas. O comportamento da interação utilizando-se faca sega pode ser observado no Gráfico 8. Como já evidenciado acima, a regulagem para corte de 10 mm, alimentando-se a máquina com 7 colmos foi o que proporcionou maior consumo específico.

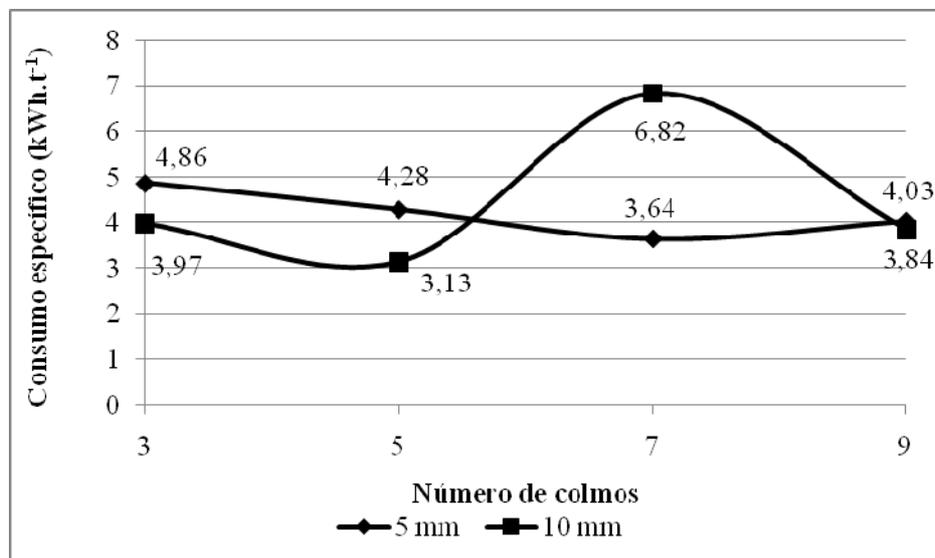


Gráfico 8 Interação entre os Tamanho de corte e Número de colmos, utilizando Faca sega

### 5.5 Tamanho de partículas

Para a análise do tamanho de partículas foi feito somente os desdobramentos das interações com o tamanho de corte.

Nos desdobramentos das interações entre os fatores motor, faca e número de colmos com o fator tamanho de corte, conforme pode ser visto na Tabela 30, para todos os casos o houve diferença estatisticamente significativa entre o tamanho de corte de 5 e o de 10 mm.

Tabela 13 Desdobramento das interações dos fatores motor, faca e número de colmos com o fator tamanho de corte para o tamanho de partículas, em mm.

		Tamanho de corte (mm)	
		5	10
Motor	Diesel	6,13 aB	7,53 aA
	Elétrico	5,59 bB	7,35 bA
Faca	Nova	5,98 aB	7,09 bA
	Sega	5,75 bB	7,79 aA
Número de colmos	3	6,09 aB	7,63 aA
	5	5,91 abB	7,78 aA
	7	5,66 cB	7,22 bA
	9	5,78 bcB	7,13 bA

Em cada coluna, médias seguidas de mesma letra minúscula e, em cada linha, médias seguidas de mesma letra maiúscula não diferem pelo teste de Tukey, em nível de 1% de probabilidade

Schlosser et al. (2010) avaliou duas regulagens de uma colhedora de forragens, para tamanho de corte entre 4 e 22 mm, sobre as culturas de milho e sorgo forrageiro e determinou que a regulagem de corte para 4 mm apresentou maior uniformidade do picado em relação a regulagem de 22 mm.

Como pode ser visto no Gráfico 9, tanto para a regulagem de corte de 5 mm quanto para a de 10 mm, o tamanho médio de corte não variou muito, porém, o de 5 mm apresentou tamanho mais semelhante ao esperado após regulagem.

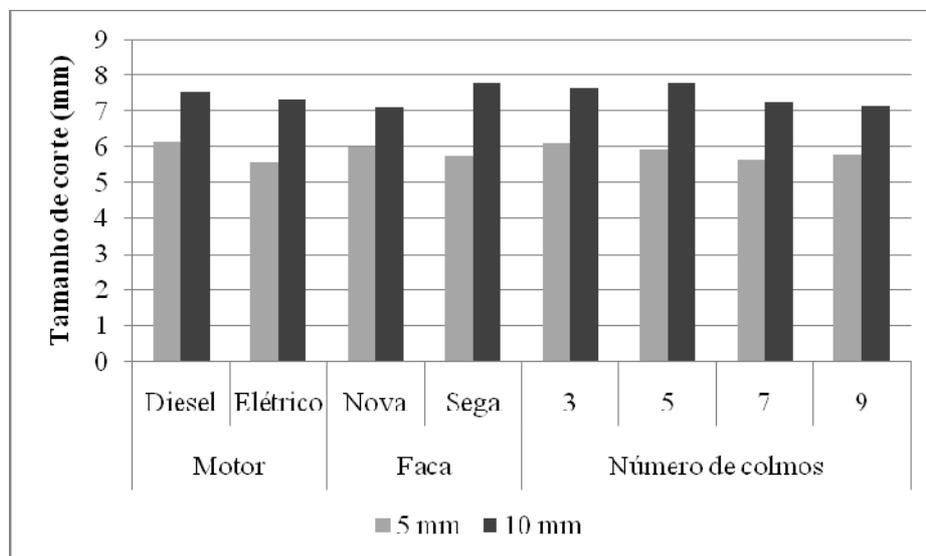


Gráfico 9 Interação entre os fatores Motor, Faca e Número de Colmos com o fator Tamanho de corte

#### 4.6 Qualidade do material picado

Como pode ser visualizado nas Figuras 14 e 15 abaixo, a utilização da faca sega causou o desfibramento do material picado, diferentemente da faca nova, que cortou o material verde com uma maior qualidade.



Figura 14 Material picado utilizando faca sega



Figura 15 Material picado utilizando faca nova

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Devido à importância e grande abrangência do tema avaliado, fica como sugestão para trabalhos futuros:

- a) Avaliar a demanda energética de uma picadora de forragens sendo alimentada com motor elétrico monofásico e trifásico;
- b) Comparar a demanda energética de uma picadora de forragens e de um desintegrador/picador/moedor na picagem de forragens, sob mesmas condições;
- c) Avaliar diferentes taxas de alimentação.

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que:

- a) A demanda de potência e a eficiência de trabalho útil aumentaram na medida em que se aumentou a taxa de alimentação da máquina, assim como a capacidade de produção.
- b) O motor elétrico apresentou uma maior demanda de potência, porém uma menor eficiência de trabalho útil, pois para seu funcionamento sem carga foi necessário uma maior potência do que para o motor diesel.
- c) A faca sega apresentou maiores valores médios de demanda de potência e de consumo específico e menores valores médios de capacidade de produção, além de apresentar qualidade de corte inferior ao corte realizado com a faca nova, demonstrando assim a necessidade da afiação das facas para se obter um melhor desempenho da máquina.
- d) Em todas as interações realizadas com o tamanho de corte, pode-se concluir que a média do tamanho das partículas encontradas ficou mais próxima do tamanho de corte para 5 mm. No tamanho de corte de 10 mm, apesar de ter aumentado o tamanho das partículas, a média ficou bem abaixo do esperado.
- e) A interação que obteve maior consumo específico de energia foi entre a faca sega, o tamanho de corte de 10 mm e alimentação com 7 colmos.
- f) Apesar da alimentação com 9 colmos ter apresentado a maior demanda de potência, seu consumo específico não foi o maior. Além disso, apresentou maior capacidade de produção.
- g) A alimentação com 3 colmos apresentou menor demanda de potência, porém seu consumo específico foi estatisticamente semelhante as demais alimentações, além de ter apresentado uma capacidade média de produção bem menor do que o esperado.

- h) O motor elétrico apresentou valores médios de consumo específico de energia inferior e maior capacidade de produção.
- i) A interação de fatores que obteve maior capacidade de produção foi a interação entre o motor elétrico, faca nova, tamanho de corte de 10 mm e alimentação com 9 colmos.

## REFERENCIAS

- ALVES JÚNIOR, J. et al. Custo da energia elétrica na irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2003.
- BIANCHINI, A.; MAGALHÃES, P. S. G. Comportamento da palha de cana-de-açúcar submetida ao corte por meio de ensaios de bancada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 304-310, 2004.
- BRAGA JUNIOR, R. A.; CARVALHO, J. A.; REIS, J. B. R. S. Análises de custos da escolha do tipo de motor para acionamento de bombas em áreas irrigadas. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 46-49, abr./jun. 2000.
- BRANCO, A. F.; GAI, V. F.; JOBIM, C. C. **Qualidade de forragens conservadas versus produção e qualidade do leite de vacas**. 2003. Disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/pos-ppz/forragens-08-03.pdf>>. Acesso em: 12 jul. 2009.
- BRASIL. **Lei 10.295**, de 17 outubro de 2001. “Lei de Eficiência Energética”. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Brasília, 2001. Disponível em <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 20 set. 2009.
- BUCKMASTER, D. R.; HEINRICH, A. J.; LAMMERS, B. P. Processing, mixing, and particle size reduction of forages for dairy cattle. **Journal of Animal Science**, Stanford, n. 77, p. 180-186, 1999. Disponível em: <<http://jas.fass.org/cgi/reprint/77/1/180?maxtoshow=&HITS=10&hits=10&RESULTFORMAT=&fulltext=forages&searchid=1&FIRSTINDEX=0&volume=77&resourcetype=HWCIT>>. Acesso em: 17 nov. 2008.
- BUCKMASTER, D. R.; HEINRICH, A. J.; LAMMERS, B. P. A simple method for the analysis of particle size of forage and total mixed rations. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, p. 922-928, 1996.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **23º Balanço energético do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <[cemig.com.br/cemig2008/media/anexo/23\\_BEEMG\\_2008.pdf](http://cemig.com.br/cemig2008/media/anexo/23_BEEMG_2008.pdf)>. Acesso em: 19 nov. 2009.

CORSI, M.; NUSSIO, L. G. Silagem de milho. **Revista JC Maschietto**, Penápolis, v. 1, n. 1, ago. 2003.

COSER, A. C. **Como manejar corretamente uma capineira**. Juiz de Fora: EMBRAPA Gado de leite, 2008. Disponível em: <<http://www.cnp.gl.embrapa.br/nova/sala/artigos/artigolinha.php?id=39>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

COSER, A. C.; CRUZ FILHO, A. B.; MARTINS, C. E. **Manejo de uma capineira de capim-elefante**. 2003. Disponível em: <<http://www.zoonews.com.br/noticiax.php?idnoticia=6402>>. Acesso em: 12 mar. 2009.

COSTA, N. L.; MAGALHAES, J. A. **Formação e manejo de capineiras: recomendações técnicas para a agropecuária de Rondônia**. Manual do produtor. Disponível em <<http://www.cpafrro.embrapa.br>>. Acesso em: 19 jan. 2009.

COUTINHO, A. C. et al. Estudo e diagnóstico para balanço agro-energético em propriedade rural produtora de leite. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 18., 2008, Olinda. **Anais...** Olinda, 2008.

EVANGELISTA, A. R. **Manejo e uso de capineira**. Lavras: UFLA, 1988. Boletim Técnico, n. 55. Disponível em: <[http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol\\_55.pdf](http://www.editora.ufla.br/BolExtensao/pdfBE/bol_55.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2009.

FAGA, M. T. W.; MELLO JUNIOR, A. G. O uso de motores de combustão interna a gás natural em substituição aos motores elétricos nas instalações de centrais de bombeamento de água. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 5., 2008, Salvador. **Anais...** Salvador, 2008. Disponível em: <[http://catedradogas.iee.usp.br/artigos/mello\\_uso\\_motores\\_combustao.pdf](http://catedradogas.iee.usp.br/artigos/mello_uso_motores_combustao.pdf)>. Acesso em: 5 ago. 2009.

FERREIRA, O. **Máquinas para ensilagem**. Pelotas: UFPel, 2006. Disponível em: <<http://www.ufpel.edu.br/faem/engenhariarural/maquinas/arquivos/ensilagem06.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

GOMES, P. F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

HADDAD, F. et al. Consumo específico de energia do processamento de milho em grãos em um desintegrador/moedor/picador (DPM I). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário**. 2006. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: 20 set. 2009.

MARI, L. J.; NUSSIO, L. G. O método Penn State Particle Size Separator para a predição do tamanho de partículas de silagens. 2002. **Radars Técnicos**. Disponível em: <<http://www.beefpoint.com.br/bn/radarestecnicos>>. Acesso em: 28 out. 2008.

MONTEIRO, R. O. C. et al. Distancia da rede elétrica que viabiliza o uso de motores diesel em áreas irrigadas do Brasil. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 263-272. abr./jun. 2007.

PEREIRA, S. et al. Eficiência energética de equipamentos eletrorurais. In: ENCONTRO DE ENERGIA DO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Campinas, 2002. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000100055&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000100055&script=sci_arttext)>. Acesso em: 22 ago. 2009.

RODRIGUEZ, A. M. et al. Modelo matemático racional para el calculo de la potencia consumida em molinos forrajeros de tambor. **Revista Ciências Técnicas Agropecuárias**, La Habana, v. 13, n. 4, 2004.

SCHLOSSER, J. F. et al. Uniformidade de picado processado por colhedora de forragem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, abr. 2010.

SILVA, E. O. **Avaliação eletromecânica do motor trifásico assimétrico com alimentação monofásica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SOLARI FILHO, J. C. et al. **Estudos de dispositivos elétricos para conversão de sistemas monofásicos em trifásicos para acionamento de motores trifásicos em áreas rurais**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2001. Relatório Técnico.

SOUZA, L. H. **Avaliação da demanda energética e níveis de ruído em picadoras de forragem tipo desintegrador/picador/moedor**. 2005. 81 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

SOUZA, L. H. et al. Capacidade de produção e consumo específico de energia em picadoras forrageiras tipo desintegrador/picador/moedor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 1, p. 88-93. jan./fev. 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662009000100013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662009000100013&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 3 out. 2009.

TRAPP. Disponível em: <<http://www.trapp.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2009.

WALTER, A. Fomento a geração elétrica com fontes renováveis de energia no meio rural brasileiro: barreiras, ações e perspectivas. In: ENCONTRO DE ENERGIA RURAL, 3., 2000, Campinas. **Anais...**Campinas, 2000. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022000000100028&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022000000100028&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em: 12 nov. 2009.

WANDER, P. R. et al. Eficiência energética: um estudo de caso na indústria moveleira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 28., 2007, Foz do Iguaçu. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2007\\_TR650480\\_0355.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGERP2007_TR650480_0355.pdf)>. Acesso em: 3 out. 2009.