

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA E NÍVEIS DE RUÍDO EM
PICADORAS DE FORRAGEM TIPO
DESINTEGRADOR/PICADOR/MOEDOR (DPM)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA

**AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA E NÍVEIS DE RUÍDO EM
PICADORAS DE FORRAGEM TIPO
DESINTEGRADOR/PICADOR/MOEDOR (DPM)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 08 de Agosto de 2005.

Prof. Nilson Salvador

Prof. Haroldo Carlos Fernandes

Prof. Gutemberg Pereira Dias
(Conselheiro)

Prof. Adair José Regazzi
(Conselheiro)

Prof. Luciano Baião Vieira
(Orientador)

A Deus, pela vida.

À minha esposa Vanda Simone.

Aos meus pais Maria Helena e Luiz.

Ao meu irmão Clessius.

Ao meu sobrinho Luan e cunhada Raquel.

À tia Osmarina e toda a família

AGRADECIMENTOS

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo e à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), pelo suporte financeiro.

Aos Profs. Luciano Baião Vieira, Gutemberg Pereira Dias e Adair José Regazzi, pelo inestimável apoio, confiança e amizade, pelo conhecimento e orientação transmitidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos membros da Banca Examinadora professores Nilson Salvador e Haroldo Carlos Fernandes, pelas valiosas sugestões.

Aos meus companheiros de república José Alberto, Roberto Avelino, Alisson, Mário e Élcio, pela amizade, pelo companheirismo e pela convivência agradável durante o doutorado.

Aos colegas da pós-graduação e ao Luiz César, pela ajuda na realização deste trabalho e em todos os momentos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e ao Laboratório de Mecanização Agrícola, pela ajuda.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA, filho de Luiz de Souza e Maria Helena Macedo de Souza, nasceu em Barbacena, MG, em 24 de setembro de 1972.

Em agosto de 1999, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em agosto de 1999, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em agosto de 2001.

Em agosto de 2001, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em agosto de 2005.

ÍNDICE

| | Página |
|---|---------------|
| Lista de Figuras..... | vi |
| Lista de Tabelas..... | viii |
| Resumo | x |
| Abstract | xii |
| Introdução..... | 1 |
| Literatura Citada..... | 5 |
| Avaliação da Demanda Energética em Picadoras de Forragem Tipo Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) | 7 |
| Resumo..... | 7 |
| Energy Demand in Forage Cutters Type Disintegrator/Chopper/Grinder (DPM) | 8 |
| Abstract..... | 8 |
| Introdução..... | 10 |
| Material e Métodos..... | 19 |
| Resultados e Discussão..... | 30 |
| Conclusões..... | 55 |
| Literatura Citada..... | 56 |
| Avaliação dos Níveis de Ruído em Picadoras de Forragem Tipo Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) | 59 |
| Resumo..... | 59 |
| Noise Levels in Forage Cutters Type Disintegrator/Chopper/Grinder (DPM) | 59 |
| Abstract..... | 59 |
| Introdução..... | 60 |
| Material e Métodos..... | 66 |
| Resultados e Discussão..... | 70 |
| Conclusões..... | 75 |
| Literatura Citada..... | 75 |
| Resumo e Conclusões | 78 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Corte lateral do DPM, girado de 90°: (a) Ângulos e dimensões relativos à faca e seu movimento; (b) Ângulo oblíquo da faca..... | 14 |
| Figura 2. Características da força instantânea de corte sobre o material vegetal..... | 16 |
| Figura 3. Esquema da interação da faca de corte com a massa vegetal em picadoras de forragem..... | 17 |
| Figura 4. Máquinas utilizadas no experimento..... | 19 |
| Figura 5. Inversor de frequência VECTRUE INVERTER..... | 20 |
| Figura 6. Ângulo oblíquo das facas: (a) -10°, (b) 0° e (c) 10°; Ângulo do gume das facas: (d ₁) 38° e (d ₂) 30°..... | 21 |
| Figura 7. Esquema de preparação dos feixes de capim..... | 23 |
| Figura 8. (a) Torquímetro da ÔMEGA ENGINEERING, INC, modelo TQ 501-2k; (b) Sistema de aquisição de dados da HBM, modelo "Spider 8" e programa "Catman v.1.2"..... | 24 |
| Figura 9. Esquema da bancada de ensaios para os DPMs 1 e 2..... | 25 |
| Figura 10. Esquema da bancada de ensaios para o DPM-4..... | 26 |
| Figura 11. Histograma de medição do torque e rotação..... | 27 |
| Figura 12. Histograma de medição da potência total (P), potência útil (Pu) e potência sem carga (Psc)..... | 28 |
| Figura 13. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 32 |
| Figura 14. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 33 |
| Figura 15. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 35 |
| Figura 16. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 37 |
| Figura 17. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 38 |
| Figura 18. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 39 |

| | |
|--|----|
| Figura 19. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 44 |
| Figura 20. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 46 |
| Figura 21. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 47 |
| Figura 22. Máquinas utilizadas no experimento..... | 66 |
| Figura 23. Inversor de frequência VECTRUE INVERTER..... | 68 |
| Figura 24. Ângulo oblíquo das facas: (a) -10° , (b) 0° e (c) 10° ; Ângulo do gume das facas: (d ₁) 38° e (d ₂) 30° | 68 |
| Figura 25. Equação de regressão ajustada para nível de ruído do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G)..... | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | Página |
|---|--------|
| Tabela 1. Características técnicas das máquinas, segundo prospecto do fabricante..... | 20 |
| Tabela 2. Médias dos valores de capacidade de produção ($t\ h^{-1}$) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 30 |
| Tabela 3. Médias dos valores de capacidade de produção ($t\ h^{-1}$) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 33 |
| Tabela 4. Médias dos valores de capacidade de produção ($t\ h^{-1}$) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 34 |
| Tabela 5. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 36 |
| Tabela 6. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 37 |
| Tabela 7. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 39 |
| Tabela 8. Médias dos valores de potência do DPM-1 sendo manuseado sem taxa de alimentação, em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 40 |
| Tabela 9. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 41 |
| Tabela 10. Médias dos valores de potência do DPM-2 sendo manuseado sem taxa de alimentação em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 41 |
| Tabela 11. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 42 |
| Tabela 12. Médias dos valores de potência do DPM-4 sendo manuseado sem taxa de alimentação em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 42 |

| | |
|--|----|
| Tabela 13. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 43 |
| Tabela 14. Médias dos valores de consumo específico (kWh t ⁻¹) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 43 |
| Tabela 15. Médias dos valores de consumo específico (kWh t ⁻¹) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 45 |
| Tabela 16. Médias dos valores de consumo específico (kWh t ⁻¹) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 47 |
| Tabela 17. Avaliação econômica do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 50 |
| Tabela 18. Avaliação econômica do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 51 |
| Tabela 19. Avaliação econômica do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°)..... | 52 |
| Tabela 20. Custos de aquisição dos DPMs..... | 54 |
| Tabela 21. Limites de tolerância ao ruído contínuo ou intermitente, segundo a Portaria nº 3.214/78 – NR-15 – CLT..... | 64 |
| Tabela 22. Características técnicas das máquinas, segundo prospecto do fabricante..... | 66 |
| Tabela 23. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado com alimentação de capim-elefante..... | 70 |
| Tabela 24. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado com alimentação de capim-elefante..... | 71 |
| Tabela 25. Limites de tolerância ao ruído contínuo ou intermitente, segundo a Portaria nº 3.214/78 da NR-15-CLT para o DPM-2 em operação de picagem de capim-elefante..... | 73 |
| Tabela 26. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado sem alimentação de capim-elefante..... | 73 |
| Tabela 27. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado sem alimentação de capim-elefante..... | 74 |

RESUMO

SOUZA, Luiz Henrique de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005.

Avaliação da demanda energética e níveis de ruído em picadoras de forragem tipo Desintegrador/Picador/Moedor (DPM). Orientador: Luciano Baião Vieira. Conselheiros: Gutemberg Pereira Dias e Adair José Regazzi.

O desempenho de picadoras de forragem tipo DPM (Desintegrador/Picador/Moedor) no processamento de capim-elefante foi avaliado considerando a capacidade de produção, demanda de potência, consumo específico de energia e nível de ruído. Na avaliação da capacidade de produção e demanda energética (potência e consumo específico), os tratamentos foram constituídos pela combinação de três picadoras (DPM-1, DPM-2 e DPM-4), cada uma operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. Para auxiliar a avaliação da demanda energética, foram feitas análises de eficiência de trabalho útil das máquinas, bem como análise econômica dos custos com mão-de-obra e consumo específico de energia. Já na avaliação dos níveis de ruído, os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas delas (DPM-1 e DPM-2), cada uma também operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições e os resultados avaliados por meio da análise de regressão. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas. As maiores capacidades de produção e menores consumos específicos foram proporcionados pelas facas de 10° de ângulo oblíquo para todos os DPMs e 38° de ângulo do gume para os DPMs 1 e 2 e 30° para o DPM-4. O ângulo oblíquo de 10° propiciou aos três DPMs maior eficiência, ou seja, mesmo demandando maior potência, proporcionou maior capacidade de produção e menor demanda energética. Os ângulos do gume

utilizados serviram para concluir que esta variável influencia diretamente na demanda energética das máquinas que envolvem corte de material vegetal, porém, necessita-se de uma maior variação deste parâmetro para se avaliar até quando este poderá ser utilizado como referência, pois os valores variaram de máquina para máquina. Apesar das maiores rotações propiciarem maior capacidade de produção e menor tempo de processamento, é possível baixar o custo de produção quando se trabalha em menores rotações devido ao valor do consumo específico ser reduzido. Embora o DPM-4 tenha apresentado maior capacidade de produção, menor consumo específico e conseqüentemente menor custo de produção, vale ressaltar que esta máquina apresenta maior preço de aquisição do que os outros dois modelos e maior dificuldade de alimentação, obrigando o produtor a contratar mais uma pessoa para executar este processo com o intuito de que a máquina possa trabalhar com fluxo constante e desta forma não haver queda da demanda energética. Considerando os custos totais de produção, um produtor que possui um DPM-1, ao adquirir um modelo DPM-2, levaria 4,8 anos para repor apenas a diferença de preço de aquisição entre as duas máquinas trabalhando 150 dias por ano. Caso esse produtor adquirisse um DPM-4, este tempo de reposição aumentaria para 7 anos. Já o produtor que possui um DPM-2, ao adquirir um DPM-4, levaria 18 anos para repor a diferença de preço de aquisição, não justificando, desta forma, o uso do DPM-4. A redução do consumo específico do DPM-1, no período de 150 dias, com as modificações nas facas e rotação, permitiria a 4,48 cidades do porte de Viçosa serem atendidas no período de 31 dias, e/ou uma cidade do mesmo porte por 31 dias, apenas diminuindo-se a rotação indicada pelo fabricante para 3154 rpm, sem alterar as características da máquina. O DPM-1 apresentou média de 114 dB(A), o que representa 7 minutos de exposição diária máxima do operador sem o uso de protetores auriculares de acordo com a NR-15. Os níveis de ruído do DPM-2 aumentaram com o incremento da rotação, apresentando valores críticos de 7 e 8 minutos de exposição diária máxima. Mesmo sendo operadas sem taxa de alimentação, as máquinas produziram elevados níveis de ruído, sendo estes bem acima de 85 dB(A) para uma exposição diária máxima de 8 horas de acordo com a NR-15. O uso de protetores auriculares se torna indispensável no processamento de forragem.

ABSTRACT

SOUZA, Luiz Henrique de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2005.
Energy demand and noise levels in forage cutters type Disintegrator/Chopper/Grinder (DPM). Adviser: Luciano Baião Vieira.
Committee Members: Gutemberg Pereira Dias and Adair José Regazzi.

The performance of forage cutters type DPM (Disintegrator/Chopper/Grinder) in the elephant grass processing was evaluated considering the production capacity, power demand, specific energy consumption and noise level. In the evaluation of production capacity and energy demand (power and specific consumption), the treatments were constituted by the combination of three cutters (DPM-1, DPM-2 and DPM-4), every one operating in five different rotations, three oblique angles of the knives and two angles of the knives' edge. Analyses of efficiency of useful work of the machines, as well as economic analysis of the costs with workmanship and specific consumption of energy were realized in order to assist the assessment of the energy demand. Concerning to evaluation of noise levels, the treatments were constituted by the combination of the machines DPM-1 and DPM-2, every one also operating in five different rotations, three oblique angles of the knives and two angles of the knives' edge. The experimental design was entirely at random with two repetitions and the results were evaluated by means of the regression analysis. Cuts in the surfaces of adjusted response were accomplished to facilitate the discussion and interpretation of the results. The greater capacities of production and minor specific consumptions were proportionate by the knives of 10° of oblique angle for all the DPM's and 38° of edge angle for DPM's 1 and 2 and 30° for the DPM-4. The oblique angle of 10° furnished larger efficiency to the three DPM's, or either, despite demanding bigger power, it provided to greater capacity of production and minor energy demand. The angles of the used edge served

to conclude that this variable influences directly on the energy demand of cutters of vegetal material, however, it is necessary a larger variation of this parameter to evaluate up to when it could be used as reference, therefore the values changed from machine to machine. Despite the biggest rotations propitiating greater capacity of production and minor processing time, it is possible to lower the production cost, when one works in lesser rotations, due to the specific consumption value to be reduced. Although the DPM-4 has presented greater capacity of production, minor specific consumption and consequently lesser cost of production, it is worth to stand out that this machine is more expensive than the others two models and presents greater difficulty in feeding, compelling the producer to employ more a person to execute this process in order to the machine can work with constant flow and so not there be fall of the energy demand. Considering the total costs of production, a producer that possesses a DPM-1, when acquiring a model DPM-2, would take 4,8 years to retribute only the difference of acquisition price between the two machines working 150 days per year. If that producer acquired a DPM-4, this restitution time would increase to 7 years, while the producer that possesses a DPM-2, when acquiring a DPM-4, would take 18 years to retribute the difference of acquisition price, not justifying, of this way, the use of the DPM-4. The reduction of the specific consumption of the DPM-1, in the period of 150 days, with the modifications in the knives and rotation, would allow to 4,48 cities like Viçosa to be served in the period of 31 days, and/or a city corresponding to that capacity for the same time, diminishing only the rotation indicated by the manufacturer for 3154 rpm, without modifying the machine characteristics. The DPM-1 presented average of 114 dB(A), what represents 7 minutes of maximum daily exposition of the operator without the use of auricular protectors in accordance with the NR-15. The levels of noise of the DPM-2 had increased with the increment of the rotation; showing critical values of 7 and 8 minutes of maximum daily exposition. Despite being operated without feeding tax, the machines produced high level of noise, being this above 85 dB(A) for a maximum daily exposition of 8 hours in accordance with the NR-15. The use of auricular protectors becomes indispensable in the forage processing.

INTRODUÇÃO

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das espécies forrageiras tropicais mais importante na alimentação do rebanho bovino no período da seca em função do seu elevado potencial de produção de matéria seca (MS), aceitabilidade e qualidade (PEREIRA et al., 2000). É versátil tanto na forma natural (picado ou pastejo), como conservado (SILVA et al., 1996).

No Brasil, segundo Cóser et al. (2000), o capim-elefante picado e fornecido no cocho é largamente utilizado na alimentação de rebanhos leiteiros. As vantagens apontadas são o maior aproveitamento da forragem produzida e a diminuição de perdas no campo.

Há acentuada estacionalidade de produção dessa espécie forrageira durante o ano, sendo descrito na literatura que, de 23 a 44% da produção anual ocorrem durante o período da seca (HILLESHEIM, 1992). Nesta época, devido à precariedade dos pastos, as capineiras são a principal reserva de forragem, sendo o capim-elefante a forrageira mais utilizada, devido ao seu elevado potencial para produção de forragem de boa qualidade (EMBRAPA, 1993).

Uma vez cortada e picada, a forragem deve ser colocada no cocho em quantidade suficiente para que o consumo animal não seja restringido, podendo ser administrada em uma ou duas porções diárias (MARTINS et al., 1999).

Como o clima não permite a produção contínua de alimentos para os animais durante toda a época do ano, torna-se necessário providenciá-los no período de menor oferta. Nesse caso, máquinas específicas são usadas para cortar e picar o material, objetivando facilitar a ingestão do alimento; aumentar a superfície de ação dos agentes digestivos; compactar o material para facilitar seu transporte e armazenamento e reduzir a presença de ar no interior dos silos, na fase de fermentação, quando este for ensilado (SILVA et al., 2003).

Dentre as principais máquinas utilizadas para picar o capim, pode-se citar o Desintegrador/Picador/Moedor (DPM), que pode ser acionado por motores

estacionários (elétricos, de combustão interna diesel ou gasolina), por intermédio de correias, polias ou ainda pela Tomada de Potência (TDP) dos tratores. Para cada modelo de DPM, a capacidade de processamento é função da potência do motor e do tipo de forragem a ser processada.

Os DPMs possuem um conjunto de martelos, peneiras e facas fixas a um rotor giratório que processa além, de produtos como milho debulhado, ou com palha e sabugo, diversos tipos de forrageiras como cana e capim. As facas que compõem o sistema de corte destas 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.

Uma grande parcela dos fabricantes de equipamentos eletrorurais, porém, constitui-se de pequenas fábricas sem setor de pesquisa, sendo que, desta forma, os equipamentos fabricados e comercializados nem sempre funcionam no seu ponto ótimo. Desta forma, cabe o esforço do setor público em induzir a avaliação do desempenho operacional destas máquinas a fim de otimizar a eficiência energética, pois, de acordo com o Cepel (2000), CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, não existem normas específicas para estes ensaios. O esforço para elaboração destas normas e a realização da avaliação de desempenho deve contemplar também os aspectos de segurança e eficiência.

Com o objetivo de otimizar a eficiência energética dos equipamentos utilizados no Brasil, em 17 de outubro de 2001, foi sancionada a lei nº 10.295, que prevê, em seu artigo 2º, a criação de "níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país" (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2002). Esta lei definiu a relação de equipamentos que devem atender aos requisitos mínimos de eficiência, e incluiu entre eles o DPM (Desintegrador/Picador/Moedor). As máquinas que estiverem dentro de certos níveis de eficiência energética, a serem definidos pelo MME, passarão a receber o selo do INMETRO, enquanto que aquelas que não estiverem dentro do proposto serão retiradas do mercado.

Atualmente, existe o Selo Procel de Economia de Energia (em parceria com o INMETRO) concedido aos equipamentos elétricos que apresentam melhor eficiência

energética. Sua finalidade é estimular a fabricação nacional de equipamentos elétricos mais eficientes e orientar o consumidor a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética.

A habilidade de uma lâmina para produzir o corte de materiais vegetais depende de vários fatores, classificados por Bianchini (2002), em extrínsecos e intrínsecos. Os fatores extrínsecos são aqueles relacionados às condições de operação como quantidade de massa a ser cortada, taxa de alimentação e às condições do material a ser cortado, como idade das plantas, espécies vegetais que compõe a massa, estado nutricional das plantas e umidade da massa vegetal. As características intrínsecas à lâmina são aquelas relacionadas às suas dimensões construtivas ou posição de montagem no dispositivo de corte.

Persson (1987) afirma que a quantidade de energia consumida para fragmentar material vegetal pode depender de diversos fatores, quais sejam: taxa de alimentação, comprimento dos fragmentos, velocidade das facas, largura de corte, ângulo de afiação das facas, tipo de facas e possíveis interações entre eles.

O nível de ruído é outra variável de extrema importância na avaliação de máquinas agrícolas, pois, algumas máquinas geram altos níveis de ruído que podem causar conseqüências graves à saúde do operador.

Dentre muitos fatores ambientais que prejudicam o trabalhador, o ruído é considerado um dos principais, pois pode causar danos auditivos, assim como outras conseqüências. O setor agrícola observou esse problema tardiamente, tanto que, na área rural, pouco, ou quase nada, existe a respeito do ruído em máquinas agrícolas e, conseqüentemente, não se pode tirar nenhuma conclusão sobre os problemas ocupacionais em trabalhadores deste campo (VITÓRIA, 2000).

O ruído, além de causar a perda auditiva, pode contribuir para a ocorrência de acidentes, pois o trabalhador pode ter como conseqüência do ruído, cansaço, irritação, dores de cabeça, entre outros sintomas. Além da perda de produtividade gerada por estes sintomas, existe a diminuição dos reflexos e da atenção, aumentando os riscos de acidentes devido a estresse físico e mental (GOLDMAN, 2002).

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui inúmeras normas de medições de ruído, sendo as principais: NBR – 9999 (Associação... – NBR, 1987) – "Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas" e a NBR – 10400 (Associação... – NBR, 1988) – "Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho".

Existem também as leis e normas que visam à proteção do trabalhador. A Norma Regulamentadora nº 15 (NR-15), anexo nº 1, aprovada pela Portaria 3.214, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho é uma delas.

A avaliação da capacidade de produção e da demanda energética, bem como do nível de ruído das várias máquinas agrícolas envolvidas no corte de material vegetal torna-se necessária do ponto de vista tecnológico. A Universidade Federal de Viçosa vem trabalhando junto à COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG) no sentido de criar condições e realizar avaliações de desempenho de equipamentos para processamento de produtos de origem vegetal ou animal. Os resultados deste trabalho são encaminhados aos usuários finais (agricultores) e aos órgãos de assistência técnica do meio rural, como também aos fabricantes.

Considerando a importância do processamento do capim-elefante, aliada à necessidade de melhor conhecimento sobre a demanda energética das máquinas utilizadas para este fim, assim como o nível de ruído que estas provocam, este trabalho teve como objetivo: Avaliar a demanda energética e os níveis de ruído em picadoras de forragem denominadas Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) no processamento do capim-elefante.

Este trabalho é constituído por 2 capítulos, sendo que o primeiro envolve a avaliação da capacidade de produção, demanda de potência, eficiência de trabalho útil, consumo específico de energia e avaliação econômica de 3 picadoras (DPM-1, DPM-2 e DPM-4), enquanto o segundo capítulo abrange a avaliação dos níveis de ruído emitidos por duas delas (DPM-1 e DPM-2).

LITERATURA CITADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9999:** Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação de Tratores e Máquinas Agrícolas. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10400:** Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho. Rio de Janeiro, 1988.

BIANCHINI, A. **Desenvolvimento teórico experimental de disco de corte dentado passivo para corte de palhico em cana-de-açúcar.** 2002. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Metodologia para o ensaio de máquinas rurais.** Rio de Janeiro, RJ: 2000. 31p.

CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DERESZ, F. Capim-elefante: formas de uso na alimentação animal. Juiz de Fora, MG: **Embrapa Gado de Leite**, 2000. 27p. (Embrapa Gado de leite. Circular Técnica, 57).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Capim-elefante.** Curso de Pecuária Leiteira. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1993. Documentos, n.43, 2ªed. 34p.

GOLDMAN, C. F. **Análise de acidentes de trabalho ocorridos na atividade da indústria metalúrgica e metal-mecânica no estado do Rio Grande do Sul em 1996 e 1997 - Breve interligação sobre o trabalho do soldador.** 2002. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

HILLESHEIM, A. Manejo do capim-elefante: corte. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1992. p. 117-141.

MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; FILHO, A. B. C. Manejo de uma capineira de capim-elefante. **Sociedade Nacional de Agricultura**, n. 629, junho. 1999. Disponível em: <http://biblioteca.sna.agr.br/artigos/artitec-capineira.htm>. Acesso em: 15 de jul. 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Implementação da lei de eficiência energética – Comitê gestor de indicadores e níveis de eficiência energética – CGIEE**. Brasília, DF: 2002. 87p.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR-15**: Atividades e Operações Insalubres. Disponível em: <http://www.sobes.org.br/nr15.htm>. Acesso em: 21 de dez. 2005.

PEREIRA, A. V.; FERREIRA, R. P.; PASSOS, L. P.; FREITAS, V. P.; VERNEQUE, R. S.; BARRA, R. B.; SILVA, C. H. P. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milho (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, MG, v. 24, n. 2, p. 490-499, abr./jun. 2000.

PERSSON, S. Factors, influencing forces, energy and power. In: ASAE. **Mechanics of cutting plant material**. St. Joseph, 1987. p.161-217.

SILVA, S. C.; FARIA, V. P.; CORSI, M. Sistema intensivo de produção de leite em pastagens de capim-elefante do Departamento de Zootecnia da ESALQ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GADO LEITEIRO, 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1996. p 97-122.

SILVA, D. F.; SOUZA, C. M.; OLIVEIRA, A. D. **Máquinas para corte de forragem**. Viçosa. 2003. Disponível em: <http://www.ufv.br/poscolheita/colheita/forragens>. Acesso em: 15 dez. 2003.

VITÓRIA, E. L. **Avaliação do nível de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas**. 2000. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA EM PICADORAS DE FORRAGEM TIPO DESINTEGRADOR/PICADOR/MOEDOR (DPM)

RESUMO

O desempenho de picadoras de forragem tipo DPM (Desintegrador/Picador/Moedor) no processamento de capim-elefante foi avaliado considerando a capacidade de produção, demanda de potência e consumo específico de energia. Na avaliação da capacidade de produção e demanda energética (potência e consumo específico), os tratamentos foram constituídos pela combinação de três picadoras (DPM-1, DPM-2 e DPM-4), cada uma operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. Para auxiliar a avaliação da demanda energética, foram feitas análises de eficiência de trabalho útil das máquinas, bem como análise econômica dos custos com mão-de-obra e consumo específico de energia. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições e os resultados avaliados por meio da análise de regressão. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas. As maiores capacidades de produção e menores consumos específicos foram proporcionados pelas facas de 10° de ângulo oblíquo para todos os DPMs e 38° de ângulo do gume para os DPMs 1 e 2 e 30° para o DPM-4. O ângulo oblíquo de 10° propiciou aos três DPMs maior eficiência, ou seja, mesmo demandando maior potência, proporcionou maior capacidade de produção e menor demanda energética. Os ângulos do gume utilizados serviram para concluir que esta variável influencia diretamente na demanda energética das máquinas que envolvem corte de material vegetal, porém, necessita-se de uma maior variação deste parâmetro para se avaliar até quando este poderá ser utilizado como referência, pois os valores variaram de máquina para máquina. Apesar das maiores rotações propiciarem maior capacidade de produção e menor tempo de processamento, é possível baixar o custo de produção quando se trabalha em menores rotações, devido ao valor do consumo específico ser reduzido. Embora o DPM-4 tenha apresentado maior capacidade de produção, menor consumo específico e conseqüentemente menor custo de produção, vale ressaltar que esta máquina apresenta maior preço de aquisição do que os outros dois modelos e maior

dificuldade de alimentação, obrigando o produtor a contratar mais uma pessoa para executar este processo com o intuito de que a máquina possa trabalhar com fluxo constante e desta forma não haver queda da demanda energética. Considerando os custos totais de produção, um produtor que possui um DPM-1, ao adquirir um modelo DPM-2, levaria 4,8 anos para repor apenas a diferença de preço de aquisição entre as duas máquinas trabalhando 150 dias por ano. Caso esse produtor adquirisse um DPM-4, este tempo de reposição aumentaria para 7 anos. Já o produtor que possui um DPM-2, ao adquirir um DPM-4, levaria 18 anos para repor a diferença de preço de aquisição, não justificando, desta forma, o uso do DPM-4. A redução do consumo específico do DPM-1, no período de 150 dias, com as modificações nas facas e rotação, permitiria a 4,48 cidades do porte de Viçosa serem atendidas no período de 31 dias, e/ou uma cidade do mesmo porte por 31 dias, apenas diminuindo-se a rotação indicada pelo fabricante para 3154 rpm, sem alterar as características da máquina.

Palavras-chave: capim-elefante, demanda energética, energia específica de corte

ENERGY DEMAND IN FORAGE CUTTERS TYPE DISINTEGRATOR/CHOPPER/GRINDER (DPM)

ABSTRACT

The performance of forage cutters type DPM (Disintegrator/Chopper/Grinder) in the elephant grass processing was evaluated considering the production capacity, power demand and specific energy consumption. In the evaluation of production capacity and energy demand (power and specific consumption), the treatments were constituted by the combination of three cutters (DPM-1, DPM-2 and DPM-4), every one operating in five different rotations, three oblique angles of the knives and two angles of the knives' edge. Analyses of efficiency of useful work of the machines, as well as economic analysis of the costs with workmanship and specific consumption of energy were realized in order to assist the assessment of the energy demand. The experimental design was

entirely at random with two repetitions and the results were evaluated by means of the regression analysis. Cuts in the surfaces of adjusted response were accomplished to facilitate the discussion and interpretation of the results. The greater capacities of production and minor specific consumptions were proportionate by the knives of 10° of oblique angle for all the DPM's and 38° of edge angle for DPM's 1 and 2 and 30° for the DPM-4. The oblique angle of 10° furnished larger efficiency to the three DPM's, or either, despite demanding bigger power, it provided to greater capacity of production and minor energy demand. The angles of the used edge served to conclude that this variable influences directly on the energy demand of cutters of vegetal material, however, it is necessary a larger variation of this parameter to evaluate up to when it could be used as reference, therefore the values changed from machine to machine. Despite the biggest rotations propitiating greater capacity of production and minor processing time, it is possible to lower the production cost, when one works in lesser rotations, due to the specific consumption value to be reduced. Although the DPM-4 has presented greater capacity of production, minor specific consumption and consequently lesser cost of production, it is worth to stand out that this machine is more expensive than the others two models and presents greater difficulty in feeding, compelling the producer to employ more a person to execute this process in order to the machine can work with constant flow and so not there be fall of the energy demand. Considering the total costs of production, a producer that possesses a DPM-1, when acquiring a model DPM-2, would take 4,8 years to retribute only the difference of acquisition price between the two machines working 150 days per year. If that producer acquired a DPM-4, this restitution time would increase to 7 years, while the producer that possesses a DPM-2, when acquiring a DPM-4, would take 18 years to retribute the difference of acquisition price, not justifying, of this way, the use of the DPM-4. The reduction of the specific consumption of the DPM-1, in the period of 150 days, with the modifications in the knives and rotation, would allow to 4,48 cities like Viçosa to be served in the period of 31 days, and/or a city corresponding to that capacity for the same time, diminishing only the rotation indicated by the manufacturer for 3154 rpm, without modifying the machine characteristics.

Keywords: elephant grass, energy demand, specific cutting energy

INTRODUÇÃO

A forragem

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das espécies forrageiras tropicais mais importante na alimentação do rebanho bovino no período da seca em função do seu elevado potencial de produção de matéria seca (MS), aceitabilidade e qualidade (PEREIRA et al., 2000a). É versátil tanto na forma natural (picado ou pastejo), como conservado (SILVA et al., 1996).

No Brasil, segundo Cóser et al. (2000), o capim-elefante picado e fornecido no cocho é largamente utilizado na alimentação de rebanhos leiteiros. As vantagens apontadas são o maior aproveitamento da forragem produzida e a diminuição de perdas no campo.

Há acentuada estacionalidade de produção dessa espécie forrageira durante o ano, sendo descrito na literatura que, de 23 a 44% da produção anual ocorrem durante o período da seca (HILLESHEIM, 1992). Nesta época, devido à precariedade dos pastos, as capineiras são a principal reserva de forragem, sendo o capim-elefante a forrageira mais utilizada, devido ao seu elevado potencial para produção de forragem de boa qualidade (EMBRAPA, 1993).

Consoante Cóser (2001), na estação chuvosa, o corte do capim-elefante deve ser feito quando este apresentar 1,80 m de altura ou a cada 60 dias, sendo que no período da estiagem, este deve ser cortado com 1,50 m. Nessa altura, o capim possui razoável valor nutritivo e grande produção de massa verde devendo ser cortada, no máximo, uma quantidade suficiente para dois dias de fornecimento aos animais.

Uma vez cortada e picada, a forragem deve ser colocada no cocho em quantidade suficiente para que o consumo animal não seja restringido, podendo ser administrada em uma ou duas porções diárias (MARTINS et al., 1999).

Processamento da forragem

Como o clima não permite a produção contínua de alimentos para os animais durante toda a época do ano, torna-se necessário providenciá-los no período de menor oferta. Nesse caso, máquinas específicas são usadas para cortar e picar o material, objetivando facilitar a ingestão do alimento; aumentar a superfície de ação dos agentes digestivos; compactar o material para facilitar seu transporte e

armazenamento e reduzir a presença de ar no interior dos silos, na fase de fermentação, quando este for ensilado (SILVA et al., 2003).

Dentre as principais máquinas utilizadas para picar o capim, pode-se citar o Desintegrador/Picador/Moedor (DPM), que pode ser acionado por motores estacionários (elétricos, de combustão interna diesel ou gasolina), por intermédio de correias, polias ou ainda por tratores via tomada de Potência (TDP). Para cada modelo de DPM, a capacidade de processamento é função da potência do motor e do tipo de forragem a ser processada.

Os DPMs possuem um conjunto de martelos, peneiras e facas fixas a um rotor giratório que processa, além de produtos como milho debulhado, ou com palha e sabugo, diversos tipos de forrageiras como cana e capim. As facas que compõem o sistema de corte destas 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.

Antes da execução do trabalho, deve-se observar o estado de lubrificação da máquina (mancais de rolamento) e se as facas passam pela contra-faca sem tocar uma na outra. Se necessário, regular as facas, deslocando-se a contra-faca, até que as facas passem rente à mesma, sem tocá-la.

A picadora, segundo Martins et al. (1999), deve estar regulada de modo que pique o capim no tamanho de 1 a 2 cm, considerado o ideal, e que possibilita aos animais um aumento no consumo de forragem. Salienta também a importância da verificação da afiação das facas, sempre que possível, pois, facas desreguladas e cegas proporcionam o corte do material em pedaços muito grandes, desfibrados e desuniformes, fazendo com que o consumo, pelo animal, seja reduzido, havendo, desta forma, muita sobra de forragem no cocho. Além disso, pode prejudicar o equipamento com desgastes e aumentar o consumo de combustível ou energia.

Racionalização de energia

A partir das crises do petróleo (1973 e 1979), o governo brasileiro tem-se preocupado com a situação energética do país e a sua dependência em relação às importações. Desde então se presenciaram ações cíclicas do governo visando à racionalização do uso da energia.

Entende-se por eficiência energética o conjunto de práticas e políticas que reduzem os custos com energia e/ou aumentam a quantidade de energia oferecida sem alteração da geração que, segundo Martins (1999), podem ser assim resumidas:

- Planejamento integrado dos recursos – são práticas que subsidiam os planejadores e reguladores de energia a avaliar os custos e benefícios sob a ótica da oferta (geração) e demanda (consumidor final), de forma que a energia utilizada pelo sistema seja a de menor custo financeiro e ambiental;

- Eficiência na geração, transmissão e distribuição – são práticas e tecnologias que estimulam a eficiência em toda a eletricidade que é gerada e entregue aos consumidores finais. Esta categoria inclui co-geração e turbinas de queima de gás natural, além de outras tecnologias capazes de disponibilizar maior quantidade de energia elétrica em plantas já existentes;

- Gerenciamento pelo lado da demanda – são práticas e políticas adotadas pelos planejadores de energia, que encorajam os consumidores a usar a energia de uma forma mais eficiente, além de permitir a administração da curva de carga das concessionárias;

- Eficiência no uso final – são tecnologias e práticas que estimulam a eficiência energética do consumidor final. Essa categoria inclui praticamente todos os empregos de eletricidade e tecnologias caloríficas existentes, tais como motores, iluminação, aquecimento, ventilação, condicionamento de ar, entre outros. Também inclui tecnologias que propiciem a conservação e o melhor uso da energia, tais como aparelhos de controle do consumo de energia.

As alternativas que visam ao uso racional e eficiente de energia elétrica apresentam, geralmente, custo e tempo de retorno pequenos quando comparados aos valores de outras. Os resultados obtidos, relativos à redução do consumo, são imediatos, tornando o uso racional e eficiente de energia elétrica uma alternativa, de certa forma, natural para a solução de parte do problema de fornecimento no curto prazo (ALVAREZ, 1998).

Segundo Costa et al. (1999), pequenos produtores de baixa renda não são capazes, geralmente, de fazer uso intensivo de energia, demorando muito para agregar novos equipamentos à produção. Suas propriedades espalham-se por áreas muito dispersas, de difícil acesso, muitas vezes sem estrada, constituindo um mercado que não compra e não cresce, onde se registra alto nível de perdas, cujo

suprimento implica altos custos, sendo considerado pelas concessionárias como um mercado pouco rentável.

Uma grande parcela dos fabricantes de equipamentos eletroenergéticos, porém, constitui-se de pequenas fábricas sem setor de pesquisa, sendo que, desta forma, os equipamentos fabricados e comercializados nem sempre funcionam no seu ponto ótimo. Desta forma, cabe o esforço do setor público em induzir a avaliação do desempenho operacional destas máquinas a fim de otimizar a eficiência energética, pois, de acordo com o Cepel (2000), CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA, não existem normas específicas para estes ensaios. O esforço para elaboração destas normas e a realização da avaliação de desempenho deve contemplar também os aspectos de segurança e eficiência.

Com o objetivo de otimizar a eficiência energética dos equipamentos utilizados no Brasil, em 17 de outubro de 2001, foi sancionada a lei nº 10.295, que prevê, em seu artigo 2º, a criação de “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados e comercializados no país” (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2002). Esta lei definiu a relação de equipamentos que devem atender aos requisitos mínimos de eficiência, e incluiu entre eles o DPM (Desintegrador/Picador/Moedor). As máquinas que estiverem dentro de certos níveis de eficiência energética, a serem definidos pelo MME, passarão a receber o selo do INMETRO, enquanto que aquelas que não estiverem dentro do proposto serão retiradas do mercado.

Atualmente, existe o Selo Procel de Economia de Energia (em parceria com o INMETRO) concedido aos equipamentos elétricos que apresentam melhor eficiência energética. Sua finalidade é estimular a fabricação nacional de equipamentos elétricos mais eficientes e orientar o consumidor a adquirir equipamentos que apresentam melhores níveis de eficiência energética.

Processamento do capim

A habilidade de uma lâmina para produzir o corte de materiais vegetais depende de vários fatores, classificados por Bianchini (2002), em extrínsecos e intrínsecos. Os fatores extrínsecos são aqueles relacionados às condições de operação como quantidade de massa a ser cortada, taxa de alimentação e às condições do material a ser cortado, como idade das plantas, espécies vegetais que compõe a

massa, estado nutricional das plantas e umidade da massa vegetal. As características intrínsecas à lâmina são aquelas relacionadas às suas dimensões construtivas ou posição de montagem no dispositivo de corte.

Persson (1987a) afirma que a quantidade de energia consumida para fragmentar material vegetal pode depender de diversos fatores, quais sejam: taxa de alimentação, comprimento dos fragmentos, velocidade das facas, largura de corte, ângulo de afiação das facas, tipo de facas e possíveis interações entre eles.

De acordo com Persson (1987b), utilizado por Bianchini (2002), algumas das dimensões mais importantes no corte com faca (conforme demonstrado na Figura 1) são: ângulo do gume **AG**, definido pelas duas faces do gume da faca; espessura da lâmina **EL**; ângulos de ataque **AA**, compreendido entre a face inferior do gume da faca e o plano "yz"; ângulo de limpeza **AL**, que abrange a face inferior do gume e o plano "xz"; ângulo de escape **AE**, formado pela face superior do gume e o plano "yz" e o ângulo oblíquo **AO**, formado entre o eixo "z" e a borda cortante do gume. Estes ângulos consideram um plano em que o movimento da faca se dá em torno do eixo "x".

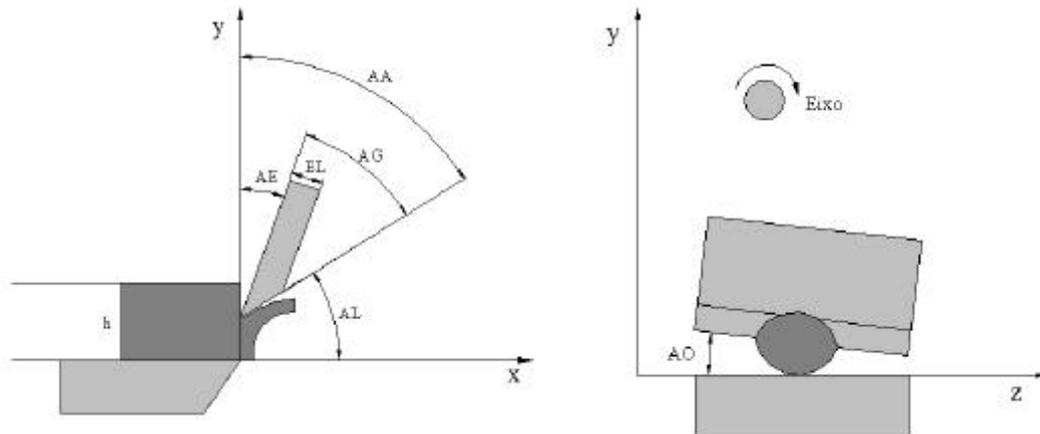


Figura 1. Corte lateral do DPM, girado de 90°: (a) Ângulos e dimensões relativos à faca e seu movimento; (b) Ângulo oblíquo da faca.

Bianchini (2002) montou um experimento utilizando-se de uma bancada de ensaio com a função de produzir o movimento de uma faca de corte num movimento retilíneo alternado, de forma que a lâmina pudesse descer através do material ensaiado (palha de cana) e retornar à sua posição original. A caixa de ensaios

apresentava um fundo falso, por onde a lâmina transpassava para efetuar o corte da amostra, tendo uma contra-faca como apoio do material ensaiado.

Com relação ao ângulo oblíquo, ao utilizar 3 facas com ângulos oblíquos distintos (0° , 5° e 10°), o autor pôde verificar que a lâmina sem esse ângulo apresentou demanda média de força específica igual a 8,86 MPa (Força por unidade de Área, N mm^{-2}), enquanto as lâminas de 5° e 10° apresentaram 8 e 7,28 MPa respectivamente. De acordo com o autor, é benéfica a existência deste ângulo oblíquo em ferramentas para corte de palha de cana-de-açúcar, do ponto de vista da força requerida para o corte e, conseqüentemente, da potência instantânea exigida. A força específica máxima encontrada pela lâmina com 10° de ângulo oblíquo foi 18% inferior à requerida pela lâmina sem ângulo.

Deste modo, o autor explica que, este ângulo, formado pela borda cortante da lâmina e a linha paralela à superfície do material a ser cortado, reduz a força específica máxima de corte porque provoca um corte progressivo e contínuo, ao contrário da lâmina reta, que produz um corte abrupto do material. A lâmina sem ângulo oblíquo solicita uma força grande, por um curto período de tempo que coincide com o momento em que ocorre o início do corte, já que ele acontece simultaneamente em toda a extensão da lâmina. Quando a lâmina apresenta ângulo oblíquo, a parte mais avançada inicia o corte antes da parte mais retraída, de forma que o pico da solicitação de força fica atenuado. Esta atenuação será, dentro de certos limites, tão maior quanto maior for o ângulo oblíquo da lâmina.

Bianchini (2002) cita, ainda, que, nos processos de corte que envolvem lâminas com este ângulo oblíquo aparece uma força lateral que tende a deslocar o material para fora da linha de atuação da faca. Esta força é equilibrada pelas forças de atrito entre o material a ser cortado e o metal da lâmina, que segura o material para que este não escorregue lateralmente. Com o aumento do ângulo oblíquo, a componente lateral assume valores elevados e as forças de atrito passam a não serem mais eficientes para segurar o material na posição de corte, causando deslocamento lateral do produto durante a execução do corte e, por conseqüência, acúmulo do material na parte mais retraída da lâmina, causando uma concentração de força no final desta. Para evitar este problema, o autor optou por utilizar um ângulo oblíquo máximo de 10° .

Em conformidade com Rodríguez et al. (2004a), a força de corte instantânea (F_{cor}) apresenta um caráter variável, ou seja, ao introduzir-se a faca na massa

vegetal, começa a incrementar-se a área de corte até chegar a uma zona de área máxima, para depois diminuir-se novamente. Em um primeiro instante, o material é comprimido, resultando em um aumento gradual da força. Após um certo grau de compressão, o material passa a não mais resistir à ação cisalhante da faca e o processo de corte efetivamente tem início. Após o término do corte a força tende a zero.

A Figura 2 exemplifica este processo, onde $\Delta\theta$ representa o setor de ângulo de giro do disco no qual as facas estão em contato com a massa vegetal e $\Delta\theta_0$ representa o setor do disco em que as facas estão sem contato com a massa vegetal.

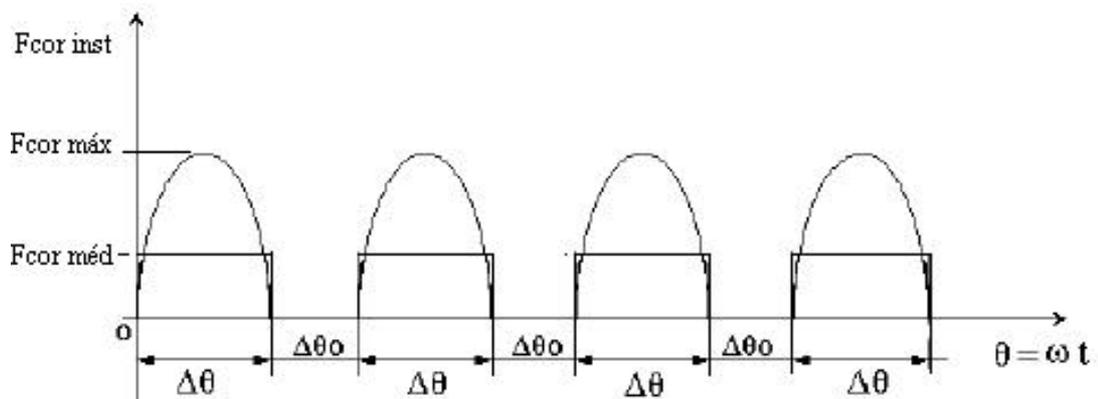


Figura 2. Características da força instantânea de corte sobre o material vegetal.

De acordo com o mesmo autor, no caso de órgãos de corte cilíndricos, este valor de $\Delta\theta_0$ pode ser variável conforme o número de facas fixas no disco e/ou o ângulo de inclinação destas.

Rodríguez et al. (2004a) esquematizaram, de acordo com a Figura 3, a interação do órgão de corte com a massa vegetal no plano perpendicular ao plano de corte em picadoras de forragem.

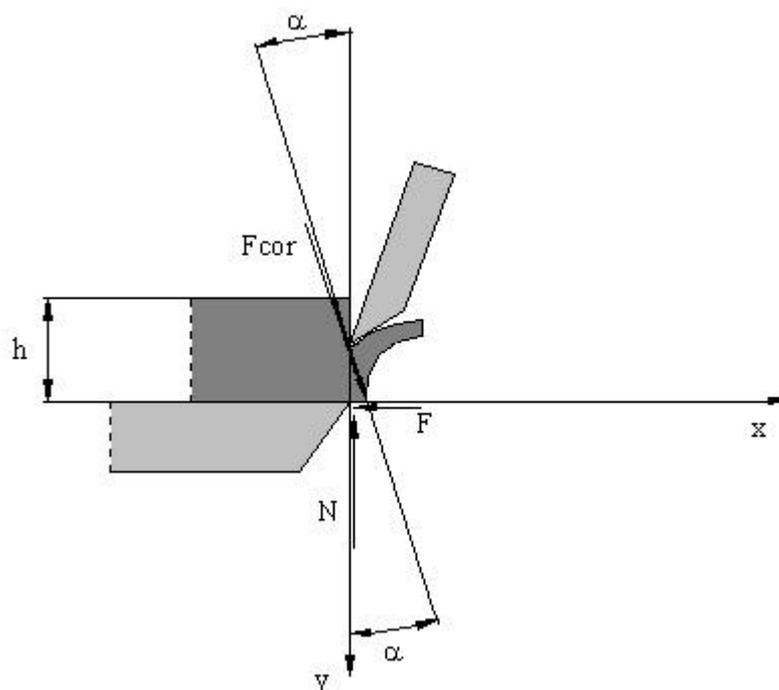


Figura 3. Esquema da interação da faca de corte com a massa vegetal em picadoras de forragem.

Segundo o autor, a força de corte pode decompor-se em uma componente vertical ($F_{cor} \cos\alpha$) responsável pelo processo de corte propriamente dito e uma componente horizontal ($F_{cor} \sin\alpha$) responsável pelo arraste da massa vegetal. Também atuam sobre o corpo livre da massa alimentada, a componente normal (N) e a componente horizontal (força de fricção F) de reação da contra-faca.

Para que exista possibilidade de sucção da massa vegetal, pelo órgão de corte, é necessário que esta força horizontal seja maior que a força de fricção estática máxima que surge entre a contra-faca e a massa vegetal ($F_{cor} \sin\alpha > F_{max}$). Isto quer dizer que é indispensável que o ângulo (α), formado entre a direção da força de corte (F_{cor}) e a perpendicular ao plano da contra-faca, seja maior que o ângulo de fricção estático entre a massa vegetal e o material da contra-faca. Esta força de fricção máxima deve ser vencida para que o material seja succionado para dentro da máquina.

Visvanathan et al. (1996) avaliaram o efeito dos ângulos de corte e do gume da faca e a velocidade desta sobre a energia específica de corte (kJ m^{-2}) de tubérculos de “cassava” (mandioca), por intermédio de um pêndulo, por impacto direto. Os

autores utilizaram 4 diferentes ângulos do gume das facas (15°, 30°, 45° e 60°) e obtiveram uma curva de energia específica de corte que decrescia até o intervalo entre 30° a 45°, voltando a aumentar a partir deste, sendo o valor ótimo encontrado no ângulo de 37°.

Bianchini (2002) cita, ainda, que, o corte inercial não depende de contra-faca, uma vez que a inércia do próprio material a ser cortado é que resiste à ação de deslocamento provocada pela lâmina de corte, sendo, portanto, altamente dependente da velocidade de corte. O corte com contra-faca não depende da velocidade de corte.

Outra importante variável na avaliação de máquinas agrícolas é a rotação de trabalho destas máquinas. Alguns autores, que trabalharam com desempenho de equipamentos rurais, concluíram que a rotação que fornecia melhores resultados nem sempre era aquela recomendada pelo fabricante. Por essa razão, Pereira et al. (2000b) avaliaram o desempenho e produção específica de picadoras e ensiladoras de forragem e concluíram que em todos os ensaios a produção específica máxima se deu com valores de rotação diferentes das indicadas pelo fabricante, comprovando a inexistência de critérios na avaliação do desempenho operacional destas máquinas.

Rodrigues (2000) avaliou o desempenho de Desintegradores/Picadores/Moedores (DPM), de cinco marcas, na moagem do milho em função do diâmetro das peneiras e velocidades periféricas e observou que é possível obter, também, melhor desempenho energético apenas com a modificação da velocidade periférica.

A melhoria da capacidade de produção e da demanda energética das várias máquinas agrícolas envolvidas no corte de material vegetal torna-se necessária, do ponto de vista tecnológico. Assim, o presente estudo propicia o conhecimento do comportamento do corte de material vegetal em picadoras de forragem (tipo DPM) e sua influência na demanda energética dessas máquinas.

A Universidade Federal de Viçosa vem trabalhando junto à COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG), no sentido de criar condições e realizar avaliações de desempenho de equipamentos para processamento de produtos de origem vegetal ou animal. Os resultados deste trabalho são encaminhados aos usuários finais (agricultores) e aos órgãos de assistência técnica do meio rural, bem como aos fabricantes.

Este trabalho teve, portanto, o objetivo de iniciar uma linha de pesquisa com os equipamentos relacionados na Lei 10295, começando com os DPMs, picando

capim-elefante. Outrossim procurou-se avaliar a capacidade de produção, a demanda de potência, a eficiência de trabalho útil, o consumo específico de energia e a avaliação econômica de 3 picadoras (DPM-1, DPM-2 e DPM-4) no processamento do referido capim.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios de Equipamentos Eletorrurais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, instituição conveniada com a COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS (CEMIG), parceira no empreendimento, e nas dependências do CENTRO TECNOLÓGICO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE VIÇOSA (CENTEV).

O produto utilizado foi o capim-elefante com estágio avançado de desenvolvimento. Sua umidade foi determinada imediatamente após o processamento e homogeneização das amostras. De cada amostra foi retirada uma subamostra padronizada de 300 gramas. Esta foi inicialmente embalada em filme plástico para evitar perda de umidade e, posteriormente, no laboratório, foi acondicionada em papel permeável e colocada para secagem em estufa com ar quente circulante com temperatura entre 65 a 70 °C, por um período aproximado de 72 horas.

Para condução dos testes, três máquinas novas, denominadas Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) foram adquiridas no mercado (Figura 4).



Figura 4. Máquinas utilizadas no experimento.

As máquinas foram caracterizadas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Características técnicas das máquinas, segundo prospecto do fabricante

| Picadoras | Potência | | Nº de facas | Rotação rpm | Produção * t h ⁻¹ |
|-----------|-------------|-----------|-------------|----------------|---------------------------------|
| | cv | kW | | | |
| DPM-1 | 5,0 a 7,5 | 3,7 a 5,5 | 2 | 4100 | 1000/2000 |
| DPM-2 | 7,5 a 10,0 | 5,5 a 7,4 | 2 | 3700 | 2000/3000 |
| DPM-4 | 10,0 a 12,5 | 7,4 a 9,2 | 2 | 3300 | 3000/4000 |

* Raízes, tubérculos, capim e cana de açúcar.

Os valores acima podem variar de acordo com o grau de umidade do produto, peso específico e condições de trabalho.

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de três DPMs, cada um operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas.

As rotações foram avaliadas de acordo com a faixa estipulada pelo fabricante, tomando-se duas rotações acima e duas abaixo da recomendada (5330, 4715, 4100, 3565 e 3154 rpm para o DPM-1; 4810, 4255, 3700, 3217 e 2846 rpm para o DPM-2 e 4290, 3795, 3300, 2870 e 2538 rpm para o DPM-4), referentes às velocidades periféricas de 78,0; 69,0; 60,0; 52,0 e 46,0 m s⁻¹; 78,0; 69,0; 60,0; 52,0 e 46,0 m s⁻¹ e 90,0; 79,0; 69,0; 60,0 e 53,0 m s⁻¹ para os DPMs 1, 2 e 4 respectivamente.

As rotações foram controladas por intermédio de um inversor de frequência, VECTRUE INVERTER, modelo CFW 09/WEG (Figura 5), que alimentava o motor elétrico que acionava os DPMs.



Figura 5. Inversor de frequência VECTRUE INVERTER.

Foram feitas modificações nas características das máquinas para avaliar a influência do ângulo oblíquo e do ângulo do gume das facas. Utilizaram-se três ângulos oblíquos (-10° , 0° e 10°), orientados segundo a linha vertical que corta o eixo da máquina e dois ângulos do gume das facas de 30° e 38° . As facas foram usinadas e trabalhadas para que os valores fossem adquiridos conforme apresentado na Figura 6.

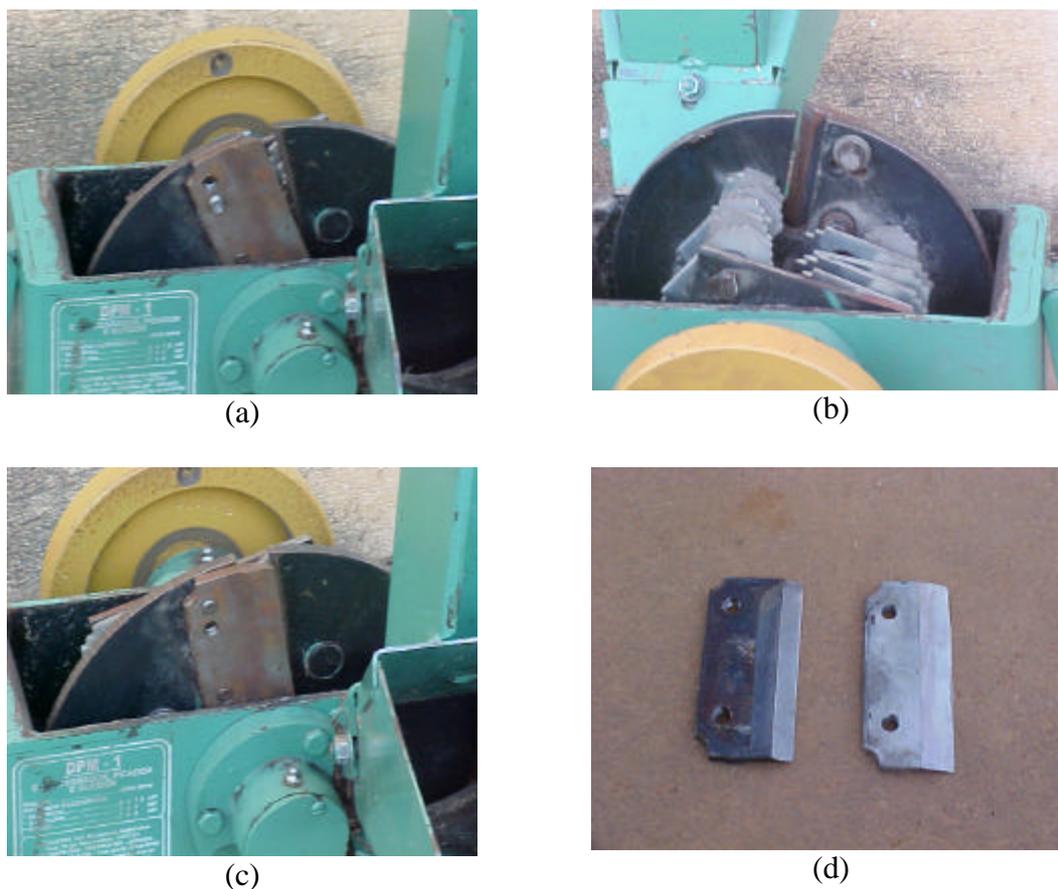


Figura 6. Ângulo oblíquo das facas: (a) -10° , (b) 0° e (c) 10° ;

Ângulo do gume das facas: (d₁) 38° e (d₂) 30° .

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância da regressão, onde para cada máquina, o modelo estatístico completo foi:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 n_i + \beta_2 F_i + \beta_3 G_i + \beta_4 n_i^2 + \beta_5 F_i^2 + \beta_6 n_i F_i + \beta_7 n_i G_i + \beta_8 F_i G_i + e_i \quad (1)$$

em que

Y_i – variáveis de resposta, capacidade de produção ($t h^{-1}$), potência demandada (kW) e consumo específico de energia ($kWh t^{-1}$);

n – rotação, rpm;

F – ângulo oblíquo das facas, °;

G – ângulo do gume das facas, °;

β_j – parâmetros a serem estimados, com $j = 0, 1, 2, \dots, 8$;

e_i – erro aleatório suposto normal e independentemente distribuído com média zero e variância σ^2 .

A partir do modelo completo (Equação 1), escolheu-se aquele que melhor se ajustou com base nos seguintes critérios estatísticos:

1. Falta de ajustamento não significativo;
2. Regressão significativa;
3. Significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t ;
4. Coeficiente de determinação ajustado;
5. Análise de resíduos.

Nos testes estatísticos adotou-se um nível de significância de até 15% de probabilidade. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados sobre capacidade de produção, potência demandada e consumo específico de energia em função da rotação, ângulo oblíquo das facas e ângulo do gume das facas a partir das equações de regressão, foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas.

Parâmetros avaliados

Capacidade de produção

Para avaliar a capacidade de produção, foram colocadas, próximo à saída de cada máquina, duas lonas esticadas ao chão, uma sobre a outra para que a coleta de dados pudesse ser executada em regime nominal. A lona que primeiro recebeu o produto foi dobrada para trás, no momento em que se acionou o cronômetro,

deixando a lona que estava por baixo exposta, afim de que esta recebesse o produto picado após a máquina entrar em regime nominal. Após 5 minutos de processamento do capim, a lona superior voltou à posição original, impedindo o material cortado de cair sobre a lona inferior. Após o desligamento da máquina, o capim picado, sobre a lona de baixo, foi coletado em balaios e pesado para avaliação da capacidade de produção da máquina.

Utilizou-se uma balança da marca FILIZOLA, modelo 160, com capacidade de até 500 kg e resolução de 0,1 kg, para pesagem do produto processado.

Para manter a taxa de alimentação constante, foram colocadas mais duas pessoas próximas à boca da moega preparando os feixes de capim com o objetivo de tentar garantir alimentação contínua durante todo o tempo (Figura 7).



Figura 7. Esquema de preparação dos feixes de capim.

A capacidade de produção foi avaliada, em $t h^{-1}$, de acordo com a Equação 2.

$$C_p = \frac{M}{t} \quad (2)$$

em que

C_p – capacidade de produção, $t h^{-1}$;

M – massa do capim picado, t;

t – tempo de processamento, h.

Demanda de potência

Para avaliar a demanda de potência, foram mensurados o torque e a rotação (velocidade angular) de operação das máquinas. O torque foi medido com o auxílio de um torquímetro da marca ÔMEGA ENGINEERING, INC, modelo TQ 501-2k, giro máximo de 6000 rpm, com capacidade de até 226 mN com um erro de $\pm 0,18\%$ de fundo de escala e taxa de saída de 2mV V^{-1} nominal de alimentação (Figura 8a). O torquímetro permite uma carga até 150% superior à capacidade nominal sem danificar o aparelho. A rotação foi medida com o auxílio de um sensor magnético, construído no LABORATÓRIO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS/DEA/UFV, com resolução de uma revolução, posicionado no eixo do torquímetro.

Utilizou-se um sistema de aquisição de dados da HBM (Figura 8b) modelo "Spider 8". Este utiliza o programa "Catman v. 1.2", para seu controle, o qual possibilita a visualização gráfica instantânea dos dados e o armazenamento deste em mídia eletrônica. O sistema de aquisição envia os dados a um microcomputador para a visualização gráfica instantânea dos dados.



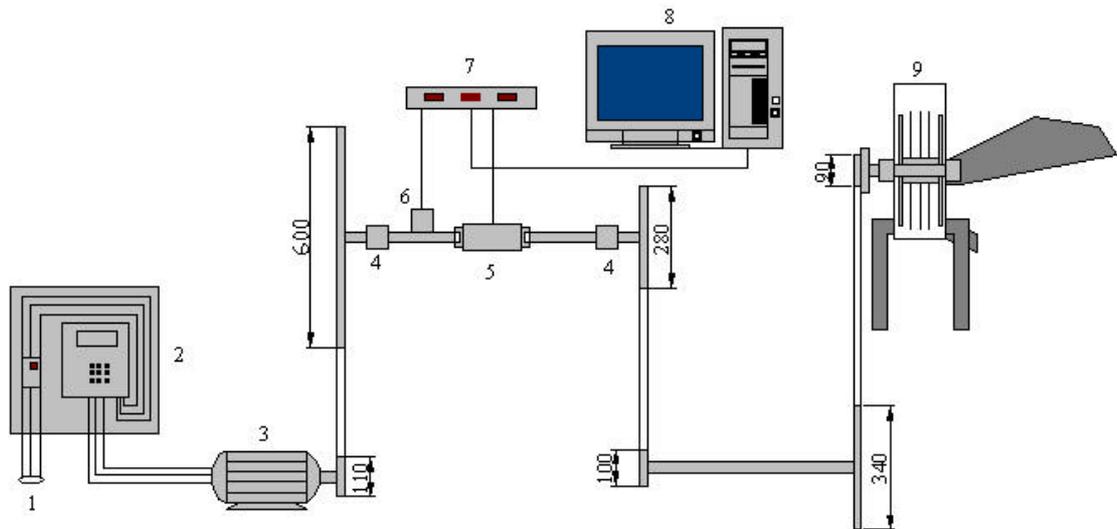
(a)



(b)

Figura 8. (a) Torquímetro da ÔMEGA ENGINEERING, INC, modelo TQ 501-2k;
(b) Sistema de aquisição de dados da HBM, modelo "Spider 8" e programa "Catman v. 1.2".

A bancada de ensaios para medição do torque no DPM-1 e DPM-2 foi montada de acordo com Dias et al. (1998), como se observa na Figura 9.

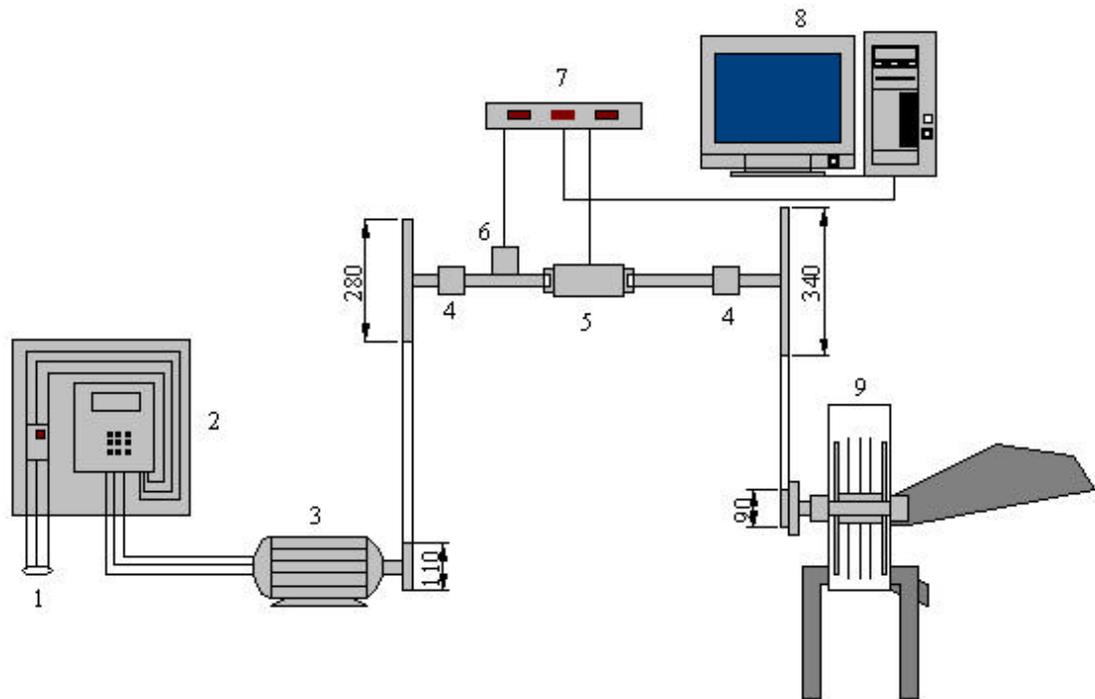


1. Rede elétrica
 2. Inversor de frequência
 3. Motor
 4. Mancais
 5. Torquímetro
 6. Sensor de rotação
 7. Aquisição de dados
 8. Computador
 9. DPM
- * Diâmetro das polias em milímetros.

Figura 9. Esquema da bancada de ensaios para os DPMs 1 e 2.

Desta forma, procedeu-se à relação de transmissão anterior a fim de se reduzir a rotação na árvore intermediária, onde estava acoplado o torquímetro, com o intuito de que o torque medido se encontrasse num valor tal que permitisse, no máximo, um erro de 1% nas medidas efetuadas pelo torquímetro.

Para o DPM-4, porém, como a rotação nominal deste é inferior aos outros dois modelos, o eixo intermediário entre a árvore do torquímetro e a máquina, como mostrado anteriormente, foi eliminado (Figura 10).



1. Rede elétrica
 2. Inversor de frequência
 3. Motor
 4. Mancais
 5. Torquímetro
 6. Sensor de rotação
 7. Aquisição de dados
 8. Computador
 9. DPM
- * Diâmetro das polias em milímetros.

Figura 10. Esquema da bancada de ensaios para o DPM-4.

Devido à grande variabilidade de carga que alimenta a máquina, à desuniformidade da densidade do material e ao estado das facas de corte, os valores referentes ao torque solicitado pelo motor elétrico variam bastante. Esse fenômeno de carga variável dificulta a análise da energia consumida pela máquina.

Todavia, conforme observado na Figura 11, por mais que se tenha tentado manter a taxa de alimentação da máquina constante, não foi possível manter os valores de torque constantes devido à grande dificuldade de formação dos feixes de capim e alimentação da máquina.

Considerando-se que o torque represente os momentos de alimentação e não alimentação da máquina, foi possível fazer uma "estimativa" da provável capacidade de produção, assumindo-se um ponto de corte equivalente a 50% do torque máximo encontrado no momento em que havia alimentação constante, isto é:

- Selecionou-se o torque máximo;
- Procedeu-se ao corte dos valores de torque inferiores a 50% do torque máximo;
- Calculou-se o tempo residual, ou seja, o tempo em que havia abastecimento efetivo da máquina; e
- Estimou-se o potencial de capacidade de produção com base no produto processado no tempo residual, o qual representava os momentos em que realmente houve alimentação da máquina.

A Figura 11 exemplifica um caso em que o torque máximo apresentou valor de 170 mN. Os valores abaixo de 85 mN foram desconsiderados.

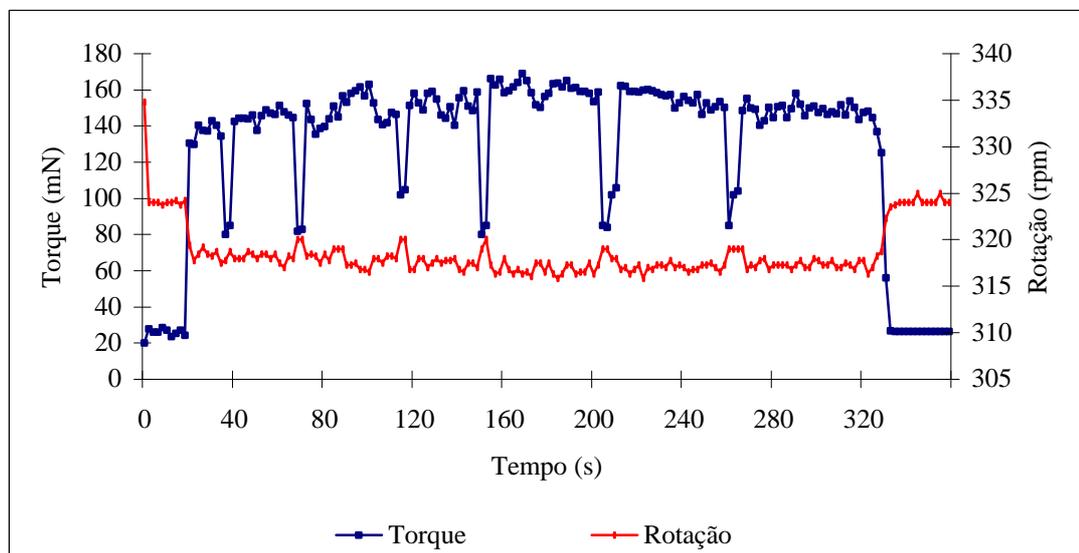


Figura 11. Histograma de medição do torque e rotação.

A potência demandada foi então determinada por intermédio da Equação 3.

$$P = T \times n \times k \quad (3)$$

em que

P – potência demandada, kW;

T – torque, mN;

n – rotação, rpm;

k – $1,0472 \times 10^{-4}$.

Eficiência de trabalho útil

Segundo Rodríguez et al. (2004b), como acontece nos trabalhos envolvendo máquinas agrícolas ou outras máquinas em geral, o consumo de potência dos órgãos de trabalho de uma picadora de forragem pode expressar-se como:

$$P = P_u + P_{sc} \quad (4)$$

em que

P_u – potência útil demandada, kW;

P_{sc} – potência demandada sem carga, isto é, com a máquina sendo operada sem fluxo de material, kW.

Considerando, de acordo com a Figura 12, o máximo valor médio da curva de potência como Potência Total e o mínimo valor como a Potência sem fluxo de material (sem carga), a Potência Útil foi determinada de acordo com a Equação (5).

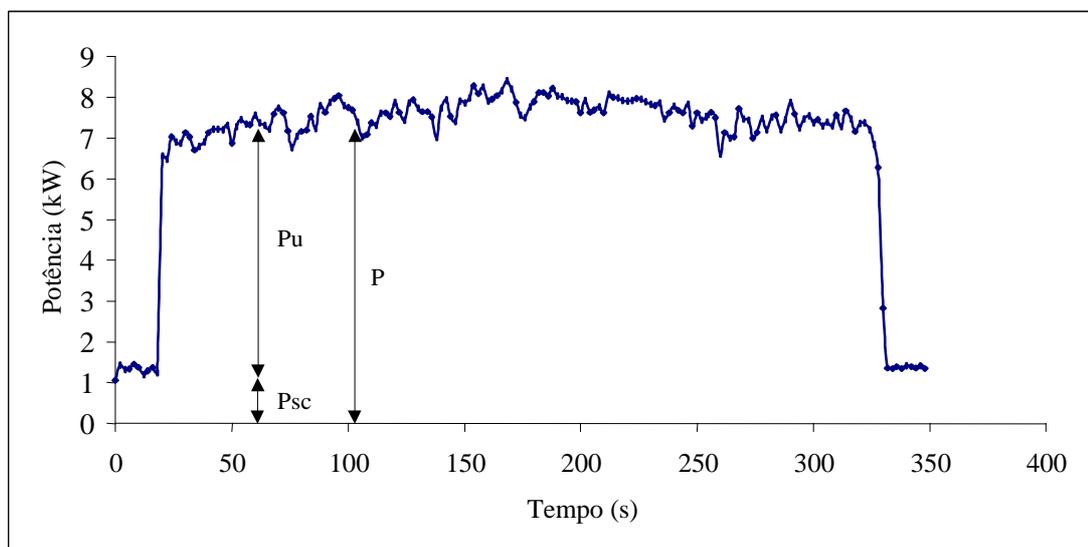


Figura 12. Histograma de medição da potência total (P), potência útil (Pu) e potência sem carga (Psc).

$$P_u = P - P_{sc} \quad (5)$$

Desse modo, a eficiência de trabalho útil das máquinas para picar forragem foi determinada por intermédio da Equação (6). Esta eficiência engloba o processo de sucção do material, corte e impulsão das partículas cortadas.

$$E_f = \frac{P_u}{P} = \frac{P - P_{sc}}{P} = \left(1 - \frac{P_{sc}}{P}\right) \quad (6)$$

Consumo específico de energia

O consumo específico de energia (kWh t^{-1}) foi avaliado relacionando-se a potência demandada (kW) com a capacidade de produção (t h^{-1}) (Equação 7).

$$C_e = \frac{P}{C_p} \quad (7)$$

em que

C_e – consumo específico, kWh t^{-1} ;

P – potência demandada, kW ;

C_p – capacidade de produção da máquina, t h^{-1} .

Análise econômica

A avaliação econômica foi executada considerando-se um número médio por produtor de 20 animais no estado de Minas Gerais onde a seca se prolonga por um período de 150 dias e o cuidado com o gado seja redobrado, no qual a economia de energia é mais importante. Para análise, foram considerados os dados: Consumo médio de 35 kg de forragem por animal; custo de mão-de-obra baseado no valor do salário mínimo mais os encargos sociais; valor do kWh de R\$0,24 (relativo a um "produtor rural normal") com tarifa convencional sem taxa de ICMS e cotação do dólar vigente de R\$2,23.

Finalmente, foram feitas análises de economia gerada considerando-se que 80% das propriedades do estado de Minas Gerais usam uma picadora de forragens, DPM-1, com potência de 5 cv, também no período da seca.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise energética dos DPMs (Desintegradores/Picadores/Moedores) no processamento de capim-elefante foi avaliada, sendo os tratamentos constituídos pela combinação de três picadoras, cada uma operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. O capim apresentou umidade média de aproximadamente 60% nos talos e nas folhas.

Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados sobre capacidade de produção, potência demandada, e consumo específico de energia em função da rotação, ângulo oblíquo das facas e ângulo do gume das facas a partir das equações de regressão, foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas.

É importante ressaltar que, do ponto de vista estatístico, quando se inclui um termo quadrático no modelo de regressão, e este é significativo, em geral, o termo linear deve permanecer no modelo mesmo sendo não significativo. Entretanto, em algumas equações ajustadas neste estudo, este procedimento não foi seguido, porque provocava sérios problemas de multicolinearidade, tornando os coeficientes de regressão não significativos.

Capacidade de produção

DPM-1

A Tabela 2 apresenta as médias da capacidade de produção do DPM-1.

Tabela 2. Médias dos valores de capacidade de produção ($t h^{-1}$) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 1,82 | 3,32 | 1,28 | 2,06 | 2,39 | 2,42 |
| 4715 | 1,93 | 1,48 | 1,12 | 1,85 | 2,66 | 2,78 |
| 4100 | 1,85 | 1,41 | 1,28 | 1,66 | 2,33 | 2,66 |
| 3565 | 1,95 | 1,71 | 1,09 | 1,34 | 2,21 | 2,72 |
| 3154 | 1,60 | 1,84 | 1,24 | 1,19 | 1,65 | 2,82 |

Pode-se observar, por intermédio da Tabela 2, uma discrepância no valor de capacidade de produção de $3,32 \text{ t h}^{-1}$ ocorrida na rotação de 5330 rpm com ângulo oblíquo de -10° e ângulo do gume de 38° . Este alto valor pode ser explicado devido ao fato deste lote ter sido coletado com umidade superior às demais, o que pode ter ocasionado maior massa do produto picado.

Considerando-se que os valores de capacidade de produção podem variar de acordo com o tipo, umidade, peso específico do produto e com as condições de trabalho, o fabricante estima uma produção de 1 a 2 t h^{-1} para o DPM-1 com a máquina sendo operada a uma rotação nominal de 4100 rpm. De acordo com as condições em que foram realizados os testes obtiveram-se, segundo a Tabela 2, valores de capacidade de produção coerentes com o especificado em todas as condições, ocorrendo, inclusive, valores maiores do que este ao utilizar a faca de 10° de ângulo oblíquo.

Percebe-se, por intermédio da Figura 13, um aumento da capacidade de produção com o incremento da rotação em todas as condições, haja vista a sucção do material e o maior número de vezes com que as facas irão passar pela contra-faca num intervalo de tempo determinado, aumentando, desta forma, a quantidade de produto picado.

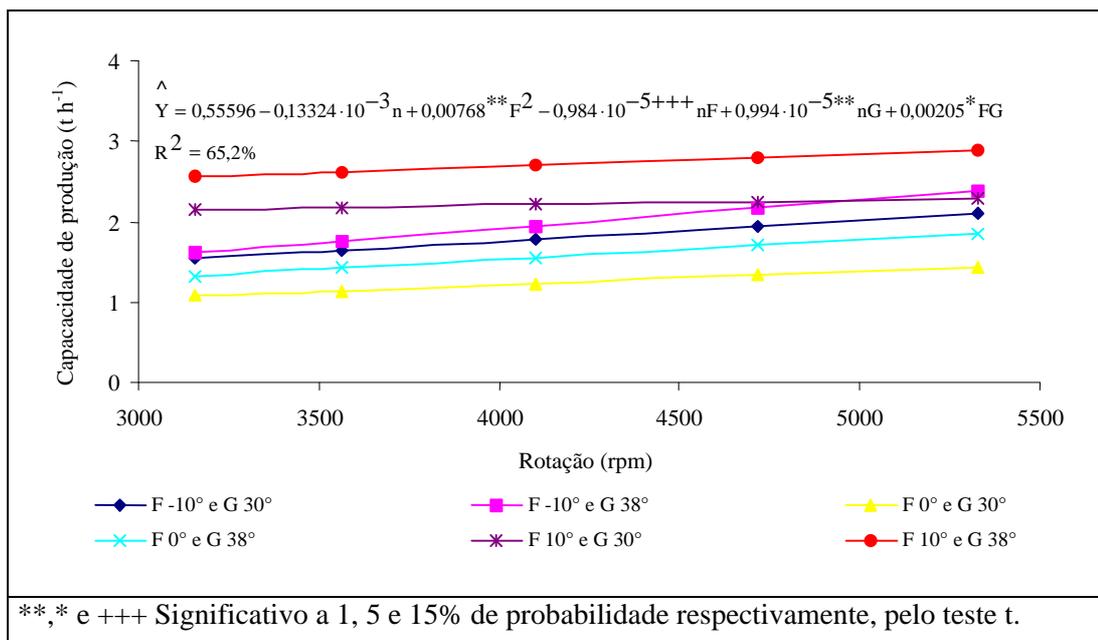


Figura 13. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Os maiores valores de capacidade de produção foram encontrados ao utilizar as facas com ângulo oblíquo de 10°, seguidos pelas de -10° e 0°. A presença deste ângulo oblíquo proporcionou às facas exercer maior tração sobre a massa de capim a ser picado, o que fez com que o capim sofresse uma sucção para dentro da máquina e maior quantidade do produto fosse picada por unidade de tempo.

Com relação ao ângulo do gume da faca, o ângulo de 38° conferiu à máquina maior capacidade de produção. Rodríguez et al. (2004a) salientam que para que exista possibilidade de sucção da massa vegetal, pelo órgão de corte, é necessário que a componente horizontal da força de corte seja maior que a força de fricção estática máxima que surge entre a contra-faca e a massa vegetal. Esta força de fricção máxima deve ser vencida para que o material seja succionado e depende do ângulo oblíquo da faca e/ou do ângulo do gume.

DPM-2

A Tabela 3 apresenta as médias da capacidade de produção do DPM-2. Considerando-se os valores do fabricante de 2 a 3 t h⁻¹ trabalhando a 3700 rpm,

podem-se verificar valores de capacidade de produção coerentes com o fabricante, com exceção das condições de -10° e 38° e 0° e 38° de ângulos oblíquos e ângulos do gume das facas, respectivamente.

Tabela 3. Médias dos valores de capacidade de produção ($t h^{-1}$) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|---------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 1,99 | 2,00 | 2,15 | 1,96 | 3,61 | 3,35 |
| 4255 | 2,23 | 1,82 | 2,38 | 2,03 | 2,81 | 3,25 |
| 3700 | 2,10 | 1,61 | 2,38 | 1,55 | 2,87 | 3,14 |
| 3217 | 1,88 | 1,59 | 2,34 | 1,38 | 1,74 | 2,84 |
| 2846 | 2,56 | 1,34 | 2,00 | 1,86 | 2,74 | 2,90 |

Analisando a Figura 14, pode-se concluir que a capacidade de produção, assim como aconteceu no DPM-1, também aumentou com o incremento da rotação devido à maior sucção do material e ao número de vezes com que as facas passam pela contra-faca conforme explicado anteriormente.

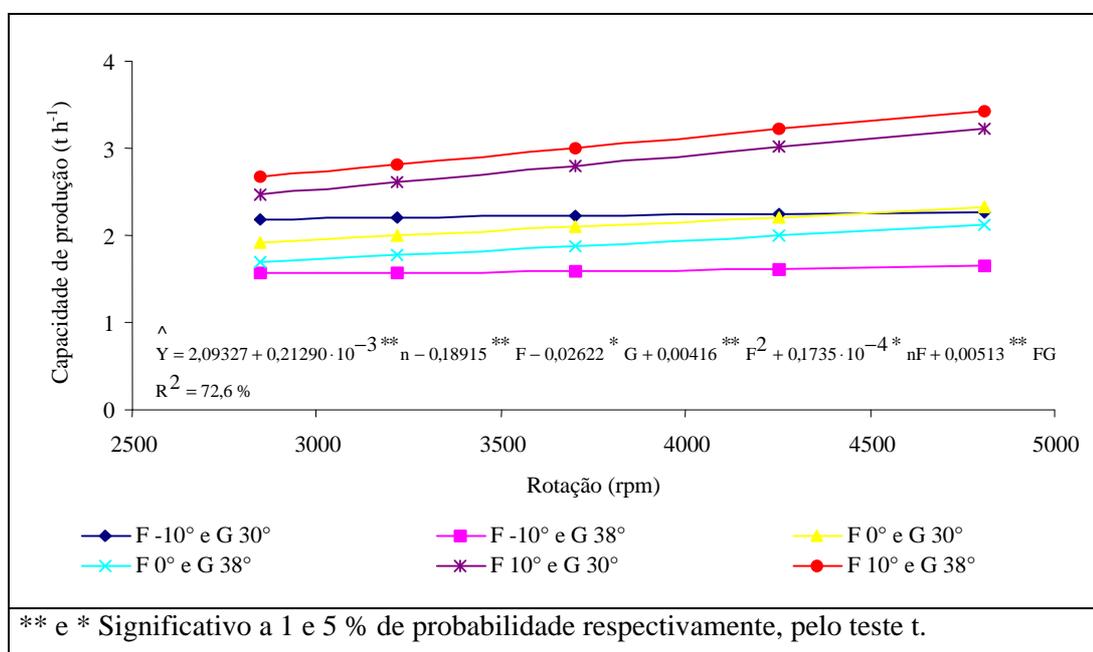


Figura 14. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

No DPM-2 também foi observada maior capacidade de produção ao utilizar as facas com ângulo oblíquo de 10°, independentemente do ângulo do gume utilizado. Houve uma indefinição quanto às facas de -10° e 0°, já que a primeira obteve melhor capacidade de produção com ângulo do gume de 30° e a segunda com ângulo de 38°.

Quanto aos ângulos do gume das facas, os resultados diferem daqueles encontrados para o DPM-1, pois para o DPM-2, ao utilizar as facas de 0° e -10°, o ângulo de 30° proporcionou maior capacidade de produção. A utilização da faca com 10° de ângulo oblíquo e ângulo do gume de 38° apresentou maior capacidade de produção no DPM-2.

Foi possível obter valores maiores que aqueles especificados pelo fabricante ao utilizar facas com 10° de ângulo oblíquo.

DPM-4

A Tabela 4 apresenta as médias de capacidade de produção do DPM-4.

Levando em consideração, os valores do fabricante de 3 a 4 t h⁻¹ a 3300 rpm, pode-se observar, na Tabela 4, valores de capacidade de produção coerentes com o fabricante somente ao utilizar as facas com 10° de ângulo oblíquo. Nesta condição, curiosamente, a capacidade de produção tende a diminuir com o incremento da rotação (Figura 15). Este fato pode ser explicado devido à dificuldade de alimentação desta máquina.

Tabela 4. Médias dos valores de capacidade de produção (t h⁻¹) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 2,57 | 3,41 | 2,64 | 2,65 | 2,37 | 3,56 |
| 3795 | 2,27 | 2,77 | 2,71 | 2,68 | 4,84 | 2,93 |
| 3300 | 1,65 | 3,02 | 2,75 | 2,60 | 3,77 | 3,27 |
| 2870 | 1,63 | 2,43 | 2,35 | 2,37 | 3,51 | 3,43 |
| 2538 | 1,51 | 2,54 | 2,20 | 2,57 | 3,87 | 3,52 |

Verificando a Figura 15, observam-se maiores valores de capacidade de produção ao utilizar facas com ângulo oblíquo de 10°, seguidas pelas de 0° e -10° ao utilizar o gume de 30° e pelas de -10° e 0° para ângulo do gume de 38°.

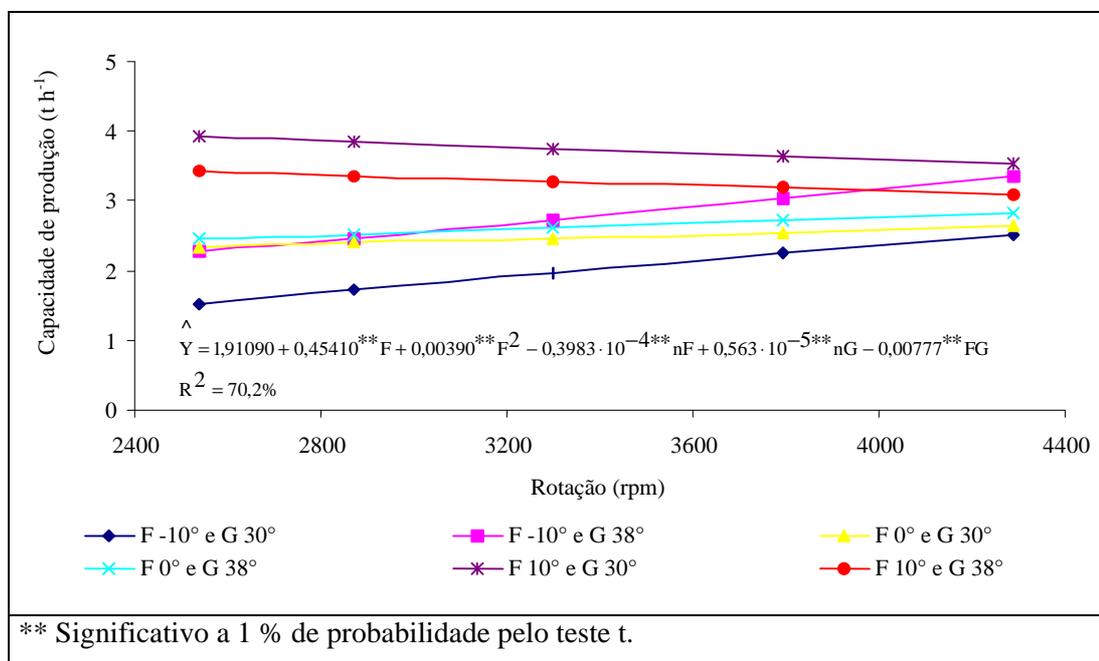


Figura 15. Equação de regressão ajustada para capacidade de produção do DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Com relação ao ângulo do gume das facas, o ângulo de 38° conferiu maior capacidade de produção ao utilizar ângulo oblíquo de -10° e 0°, contudo, neste último, os valores de 30 e 38° estiveram muito próximos. Já a faca com ângulo do gume de 30° conferiu maior capacidade de produção ao utilizar faca de 10° de ângulo oblíquo.

A combinação que proporcionou maior capacidade de produção foi o ângulo oblíquo de 10° (como aconteceu com os DPMs anteriores) e de 30° de ângulo do gume (diferenciando-se das máquinas anteriores).

Potência Demandada

DPM-1

A Tabela 5 apresenta as médias de potência demandada pelo DPM-1.

Tabela 5. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 11,89 | 12,66 | 7,74 | 7,00 | 12,28 | 11,89 |
| 4715 | 10,90 | 7,40 | 6,72 | 6,76 | 10,17 | 10,63 |
| 4100 | 9,54 | 6,58 | 5,68 | 6,27 | 8,37 | 8,43 |
| 3565 | 8,31 | 5,86 | 4,93 | 4,50 | 7,44 | 8,30 |
| 3154 | 7,10 | 5,61 | 4,15 | 4,08 | 9,40 | 7,08 |

Por meio da Figura 16, pode-se observar que a potência demandada pelo DPM-1 aumenta com o incremento da rotação. Rodríguez et al. (2004b) constataram que a potência demandada no processo de corte e sucção, nestas máquinas, varia diretamente com a rotação utilizada no processo, e a potência de impulsão das partículas varia diretamente com a capacidade de produção e com o quadrado da rotação (velocidade angular). Assim, quanto maior a rotação, maior será a demanda de potência envolvida nos processos que envolvem o corte, sucção e impulsão das partículas, conseqüentemente maior a potência total do sistema.

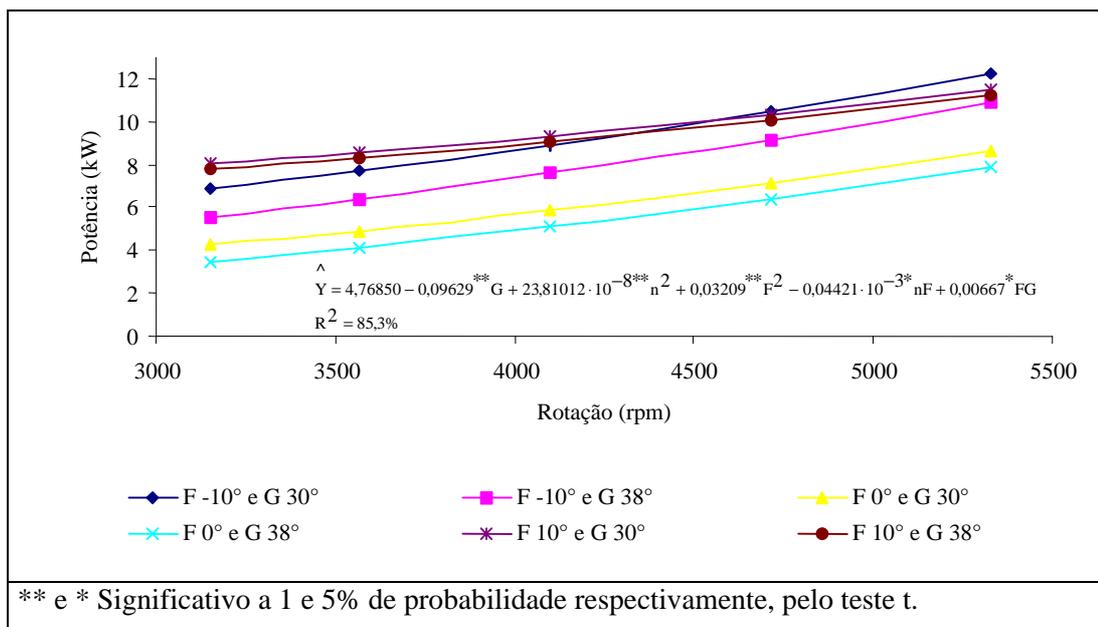


Figura 16. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Quanto aos ângulos oblíquos das facas, demonstra-se menor demanda de potência ao utilizar o ângulo de 0° seguido pelos de -10 e 10°. Com relação ao ângulo do gume das facas, pode-se verificar menor demanda de potência ao se trabalhar com ângulos de 38°.

DPM-2

A Tabela 6 apresenta as médias de potência demandada pelo DPM-2.

Tabela 6. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|---------------|------|------|------|------|-------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 9,95 | 9,72 | 9,76 | 8,66 | 11,37 | 9,59 |
| 4255 | 8,99 | 8,75 | 8,98 | 7,59 | 9,14 | 8,96 |
| 3700 | 6,82 | 7,37 | 7,42 | 6,28 | 8,11 | 8,09 |
| 3217 | 5,30 | 6,26 | 6,12 | 5,51 | 4,97 | 6,47 |
| 2846 | 4,56 | 5,08 | 4,62 | 4,39 | 5,52 | 5,53 |

Observa-se na Figura 17, uma certa indefinição nos valores de potência do DPM-2. A rotação, pelos mesmos motivos explicados anteriormente, também propiciou aumento na demanda de potência.

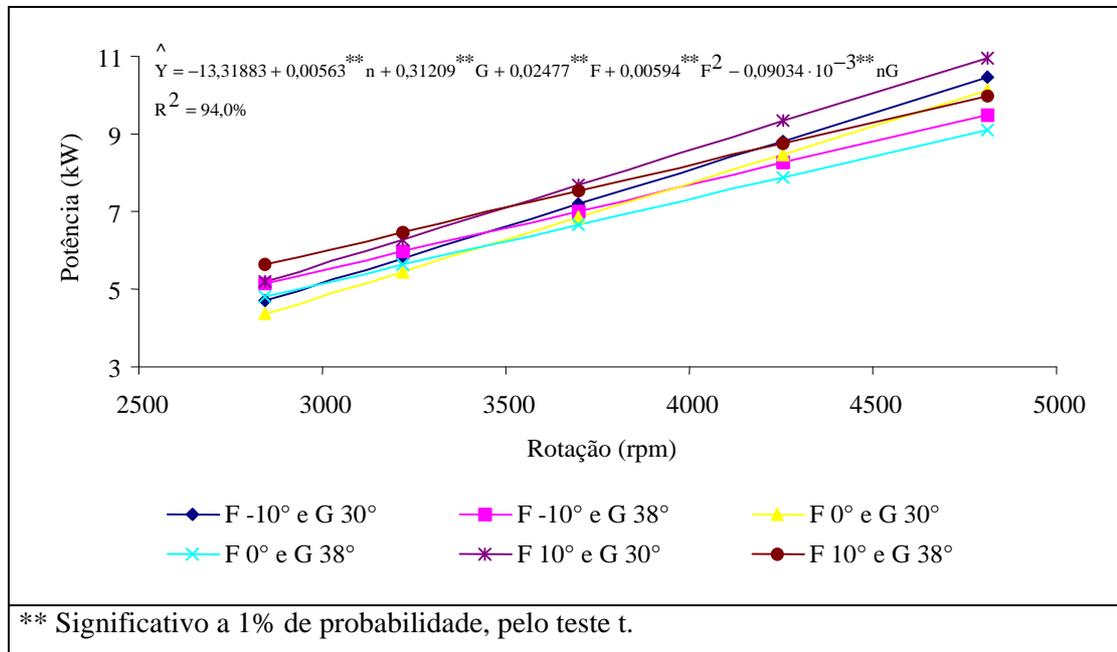


Figura 17. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Com relação ao ângulo oblíquo, obteve-se menor demanda de potência ao utilizar a faca de 0° seguida pelas de -10° e 10°. Já o ângulo do gume apresentou indefinição nos resultados de potência pois, no início da curva o ângulo de 38° apresentou maior demanda sendo ultrapassado pelo ângulo de 30° a partir de determinada rotação, independente do ângulo oblíquo da faca.

DPM-4

A Tabela 7 apresenta as médias de potência do DPM-4.

Tabela 7. Médias dos valores de potência (kW) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|---------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 11,92 | 14,32 | 9,36 | 11,93 | 10,60 | 12,20 |
| 3795 | 9,40 | 11,53 | 9,04 | 8,37 | 12,87 | 10,31 |
| 3300 | 7,93 | 9,93 | 7,27 | 6,90 | 8,72 | 9,18 |
| 2870 | 7,03 | 7,99 | 6,35 | 6,09 | 7,80 | 7,860 |
| 2538 | 5,68 | 6,93 | 5,56 | 5,56 | 7,76 | 6,86 |

Como demonstrado na Figura 18, há um aumento da potência demandada com o incremento da rotação.

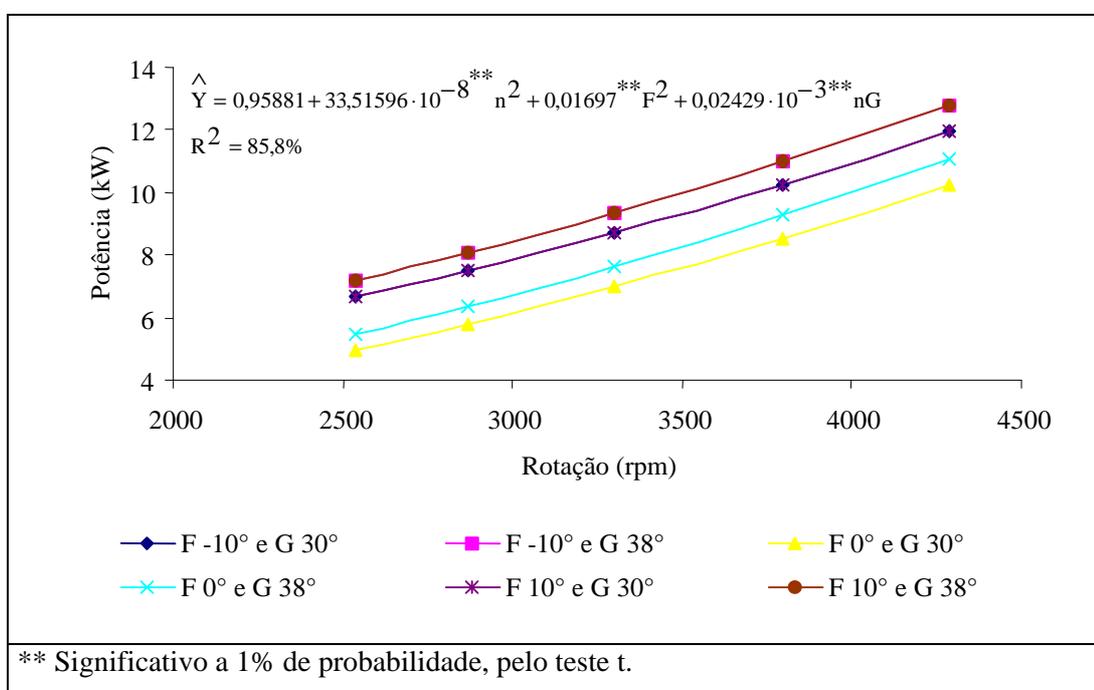


Figura 18. Equação de regressão ajustada para potência do DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Observa-se menor demanda de potência ao utilizar o ângulo oblíquo de 0°. Quanto às facas de -10 e 10°, obtiveram-se curvas sobrepostas, não sendo observada variação quanto à demanda de potência.

Pode-se observar, nos três DPMs, que a faca de 0° demandou menor potência que as demais, seguidas pelas de -10° e 10°. Observa-se assim, que aqueles ângulos

oblíquos que proporcionaram maior capacidade de produção, também geraram maior demanda de potência. Rodrigues et al (2004b) constataram que a potência de impulsão das partículas varia diretamente com a capacidade de produção, o que pode ter influenciado o aumento da potência total.

Com referência ao ângulo do gume das facas, aquele de 38° demandou maior potência em todas as condições.

Eficiência de trabalho útil

DPM-1

Os valores de potência demandada para manter o DPM-1 em funcionamento sem taxa de alimentação ou sem executar trabalho útil, são apresentados na Tabela 8.

Nota-se que parte da potência demandada pela máquina é gasta apenas para vencer o atrito do sistema de ar e rolamentos. Os valores de potência da máquina sendo operada sem fluxo de capim também aumentam à medida que se aumenta a rotação.

Tabela 8. Médias dos valores de potência do DPM-1 sendo manuseado sem taxa de alimentação em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 1,83 | 1,81 | 1,65 | 1,54 | 1,84 | 1,75 |
| 4715 | 1,55 | 1,35 | 1,22 | 1,25 | 1,36 | 1,43 |
| 4100 | 1,22 | 1,11 | 0,87 | 0,95 | 1,12 | 0,93 |
| 3565 | 1,05 | 0,88 | 0,75 | 0,71 | 0,83 | 0,82 |
| 3154 | 0,95 | 0,76 | 0,65 | 0,61 | 0,28 | 0,70 |

Por intermédio da Tabela 9, verifica-se que a eficiência da máquina para executar trabalho útil, variou de 78 a 90%, o que significa que 10 a 22% da potência total demandada pela máquina foi gasta para acionar o equipamento sem realizar trabalho útil.

Tabela 9. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 0,85 | 0,86 | 0,79 | 0,78 | 0,85 | 0,85 |
| 4715 | 0,86 | 0,82 | 0,82 | 0,81 | 0,86 | 0,86 |
| 4100 | 0,87 | 0,83 | 0,84 | 0,85 | 0,86 | 0,89 |
| 3565 | 0,87 | 0,85 | 0,85 | 0,84 | 0,89 | 0,90 |
| 3154 | 0,87 | 0,86 | 0,84 | 0,85 | 0,86 | 0,90 |

DPM-2

Constam na Tabela 10 os valores de potência necessária para acionar o equipamento sem executar trabalho útil.

Como mencionado anteriormente, pode-se observar que os valores de potência da máquina sendo operada sem fluxo de material também aumentam à medida que se aumentou a rotação.

Tabela 10. Médias dos valores de potência do DPM-2 sendo manuseado sem taxa de alimentação, em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 1,54 | 1,65 | 1,51 | 1,32 | 1,44 | 1,51 |
| 4255 | 1,32 | 1,32 | 1,21 | 0,96 | 1,16 | 1,20 |
| 3700 | 0,95 | 0,99 | 0,98 | 0,73 | 0,85 | 0,98 |
| 3217 | 0,67 | 0,71 | 0,70 | 0,47 | 0,63 | 0,74 |
| 2846 | 0,53 | 0,65 | 0,35 | 0,40 | 0,63 | 0,72 |

A Tabela 11 apresenta a eficiência para executar trabalho útil para o DPM-2, o qual apresentou eficiência de corte que varia de 0,83 a 0,92, o que indica que 8 a 17% da potência total da máquina foi gasta para acionar o equipamento sem realizar trabalho útil, ou seja, sem fluxo de capim.

Tabela 11. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 0,84 | 0,83 | 0,84 | 0,85 | 0,87 | 0,84 |
| 4255 | 0,85 | 0,85 | 0,86 | 0,87 | 0,87 | 0,87 |
| 3700 | 0,86 | 0,86 | 0,87 | 0,88 | 0,89 | 0,88 |
| 3217 | 0,87 | 0,88 | 0,88 | 0,91 | 0,87 | 0,88 |
| 2846 | 0,88 | 0,87 | 0,92 | 0,91 | 0,88 | 0,87 |

DPM-4

Para o DPM-4, conforme observado na Tabela 12, a potência demandada para acionar a máquina sem realizar trabalho útil aumentou à medida em que se aumentou a rotação.

Tabela 12. Médias dos valores de potência do DPM-4 sendo manuseado sem taxa de alimentação em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 1,76 | 1,54 | 1,86 | 1,84 | 1,59 | 1,59 |
| 3795 | 1,01 | 0,98 | 1,36 | 1,55 | 0,99 | 1,22 |
| 3300 | 0,70 | 0,61 | 0,74 | 0,70 | 0,59 | 0,76 |
| 2870 | 0,58 | 0,35 | 0,39 | 0,40 | 0,32 | 0,41 |
| 2538 | 0,37 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,16 | 0,31 |

Nota-se, por intermédio da Tabela 13, que o DPM-4 apresentou eficiência de corte que varia de 0,80 a 0,98. Isto significa que 2 a 20% da potência total da máquina foi gasta para acionar o equipamento sem realizar trabalho útil, isto é, sem fluxo de capim.

Tabela 13. Médias dos valores de eficiência para realizar trabalho útil no DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 0,85 | 0,89 | 0,80 | 0,84 | 0,85 | 0,87 |
| 3795 | 0,89 | 0,91 | 0,85 | 0,81 | 0,92 | 0,88 |
| 3300 | 0,91 | 0,94 | 0,90 | 0,90 | 0,93 | 0,92 |
| 2870 | 0,92 | 0,96 | 0,94 | 0,93 | 0,96 | 0,95 |
| 2538 | 0,93 | 0,97 | 0,96 | 0,96 | 0,98 | 0,95 |

Analisando respectivos intervalos de eficiência, conclui-se que o DPM-4, apresentou valores superiores aos DPMs 2 e 1, haja vista que aquele realiza trabalho útil em uma faixa de rotação inferior a destes dois.

Consumo específico

DPM-1

A Tabela 14 apresenta as médias dos valores de consumo específico encontradas no DPM-1. Pode-se observar que, para a rotação de 3154 rpm, utilizando-se a faca com ângulo oblíquo de 10° e ângulo do gume de 30°, obteve-se um valor de discrepante (5,60 kWh t⁻¹). Este resultado pode ser explicado devido ao fato do capim, utilizado neste momento, ter apresentado umidade bem inferior aos demais, o que pode ter servido para diminuir a capacidade de produção e aumentar a demanda de potência.

Tabela 14. Médias dos valores de consumo específico (kWh t⁻¹) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 6,81 | 3,82 | 6,10 | 3,51 | 5,14 | 4,06 |
| 4715 | 5,64 | 5,00 | 6,00 | 3,65 | 3,92 | 3,85 |
| 4100 | 5,17 | 4,67 | 4,46 | 4,01 | 3,59 | 3,19 |
| 3565 | 4,27 | 3,44 | 4,55 | 3,37 | 3,37 | 3,05 |
| 3154 | 4,43 | 3,06 | 3,46 | 3,46 | 5,60 | 2,52 |

De acordo com a Figura 19, verificou-se aumento do consumo específico com o incremento da rotação, corroborando os estudos feitos por Pereira et al. (2000b) e Rodrigues (2000), que conseguiram resultados de melhor desempenho energético apenas modificando a rotação. Em todas as condições, foi possível diminuir o consumo específico reduzindo a rotação a valores inferiores àqueles recomendados pelo fabricante, embora a capacidade de produção tenha diminuído.

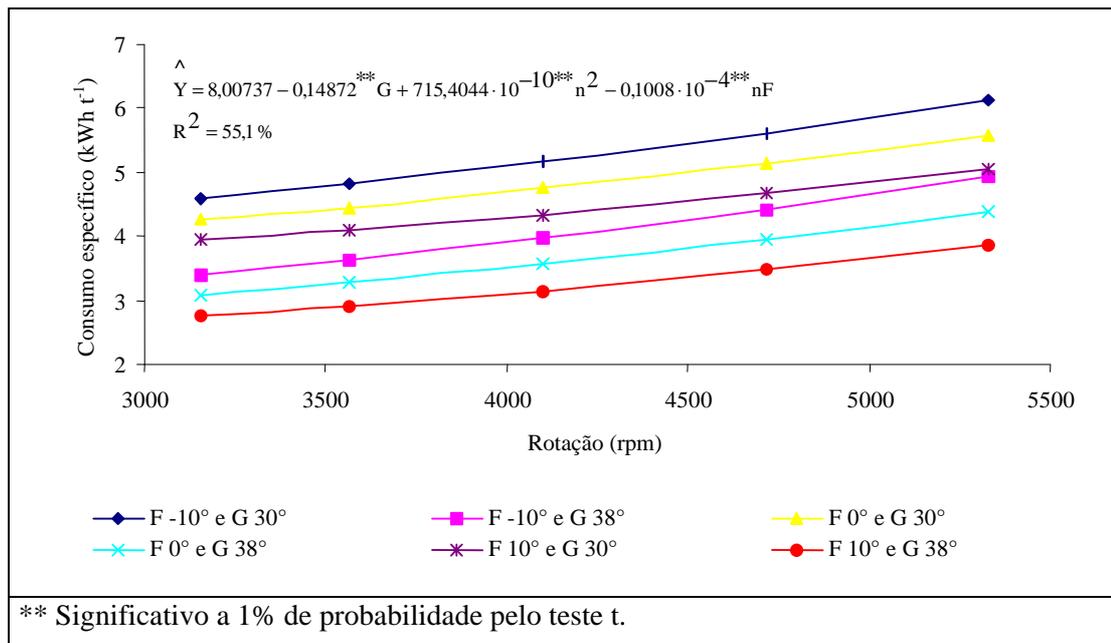


Figura 19. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-1 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

O ângulo oblíquo de 10° proporcionou menor consumo específico, seguido pelo ângulo de 0° e o de -10°. De acordo com Bianchini (2002), este ângulo, formado pela borda cortante da lâmina e a linha paralela à superfície do material a ser cortado, reduz a força específica máxima de corte porque provoca um corte progressivo e contínuo, ao contrário da lâmina reta, que produz um corte abrupto do material. A lâmina sem ângulo oblíquo requer uma força grande, por um curto período de tempo que coincide com o momento em que ocorre o início do corte, já que ele acontece simultaneamente em toda a extensão da lâmina. Quando a lâmina apresenta ângulo oblíquo, a parte mais avançada inicia o corte antes da parte mais retraída, de forma que o pico da solicitação de força fica atenuado.

Embora a presença do ângulo oblíquo propicie esta atenuação da força de corte, observa-se que o ângulo de -10° proporciona maior demanda energética até mesmo que o ângulo de 0° . Isto pode ser explicado devido ao fato do ângulo oblíquo de -10° apresentar capacidade de produção inferior ao de 10° , demandando menor potência para expelir o produto.

Com relação ao ângulo do gume da faca, obteve-se menor demanda energética ao se trabalhar com 38° . Segundo Rodríguez et al. (2004a), para que exista possibilidade de sucção da massa vegetal, pelo órgão de corte, é necessário que a componente horizontal da força de corte seja maior que a força de fricção estática máxima que surge entre a contra-faca e a massa vegetal. Esta força de fricção máxima deve ser vencida para que o material seja succionado para dentro da máquina e que, neste caso, depende do ângulo oblíquo da faca e/ou do ângulo do gume.

Assim, a menor demanda energética foi obtida ao utilizar ângulo oblíquo de 10° e ângulo do gume de 38° que apresentaram também maior capacidade de produção. De acordo com a tabela 14, nota-se que foi possível baixar o consumo específico até $2,52 \text{ kWh t}^{-1}$.

DPM-2

A Tabela 15 apresenta as médias dos valores de consumo específico encontradas no DPM-2.

Tabela 15. Médias dos valores de consumo específico (kWh t^{-1}) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 5,00 | 4,94 | 4,54 | 4,43 | 3,16 | 2,86 |
| 4255 | 4,05 | 4,82 | 3,77 | 3,75 | 3,28 | 2,77 |
| 3700 | 3,26 | 4,62 | 3,12 | 4,04 | 2,83 | 2,58 |
| 3217 | 2,87 | 3,93 | 2,62 | 3,99 | 2,88 | 2,31 |
| 2846 | 1,90 | 3,79 | 2,35 | 2,38 | 2,02 | 1,91 |

De acordo com os resultados apresentados, verificou-se aumento do consumo específico com o incremento da rotação (Figura 20).

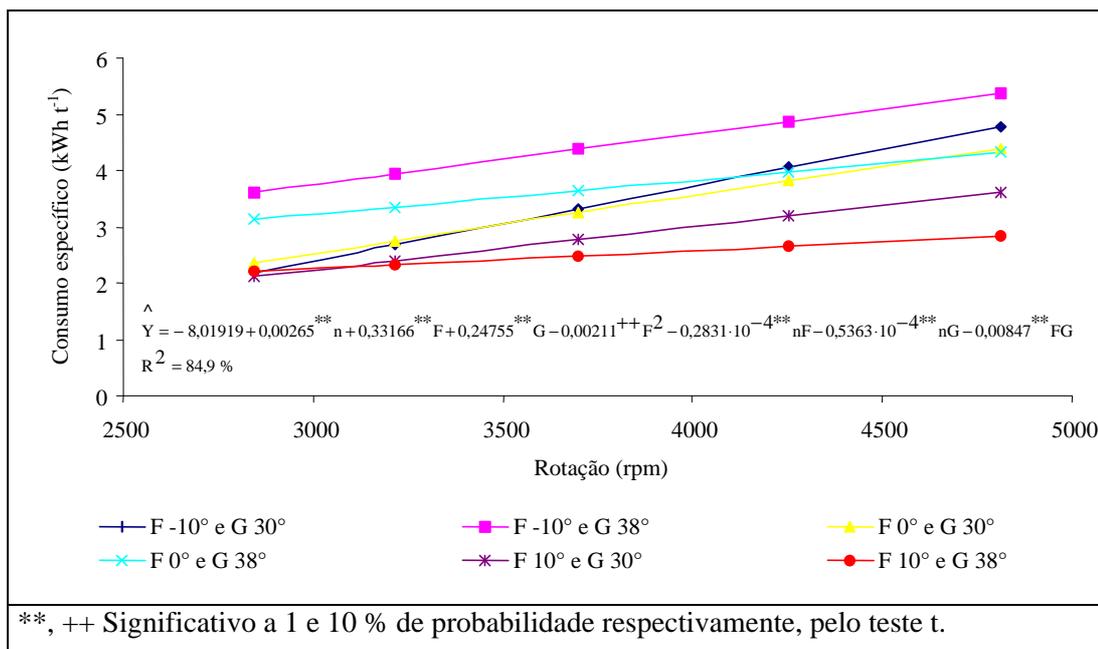


Figura 20. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Assim como no DPM-1, no DPM-2 o menor consumo específico de energia foi encontrado ao trabalhar utilizando-se facas com ângulo oblíquo de 10° seguidas pelas de 0° e -10°.

Quanto aos ângulos do gume das facas, o ângulo de 30° foi o que demandou menor energia ao utilizar as facas com ângulos oblíquos de 0° e -10°, sendo que quando se utilizou a faca de 10°, o ângulo de 38° apresentou menor demanda. Os valores estão coerentes com a capacidade de produção obtida, pois os ângulos do gume que proporcionaram maior capacidade de produção no DPM-2 foram os que obtiveram menor demanda energética.

Considerando as condições apresentadas na Figura 20, obteve-se menor consumo específico ao utilizar a faca de 10° de ângulo oblíquo e 38° de ângulo do gume que, também, apresentou maior capacidade de produção.

DPM-4

A Tabela 16 apresenta as médias dos valores de consumo específico encontradas no DPM-4.

Tabela 16. Médias dos valores de consumo específico (kWh t^{-1}) do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10° , 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|---------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 4,64 | 4,22 | 3,56 | 4,50 | 4,34 | 3,42 |
| 3795 | 4,15 | 4,16 | 3,36 | 3,12 | 2,68 | 3,51 |
| 3300 | 4,83 | 3,28 | 2,69 | 2,68 | 2,43 | 2,81 |
| 2870 | 4,35 | 3,18 | 2,70 | 2,57 | 2,21 | 2,29 |
| 2538 | 3,77 | 2,76 | 2,51 | 2,16 | 2,00 | 2,01 |

Conforme os resultados apresentados (Figura 21), verificou-se aumento do consumo específico com o incremento da rotação.

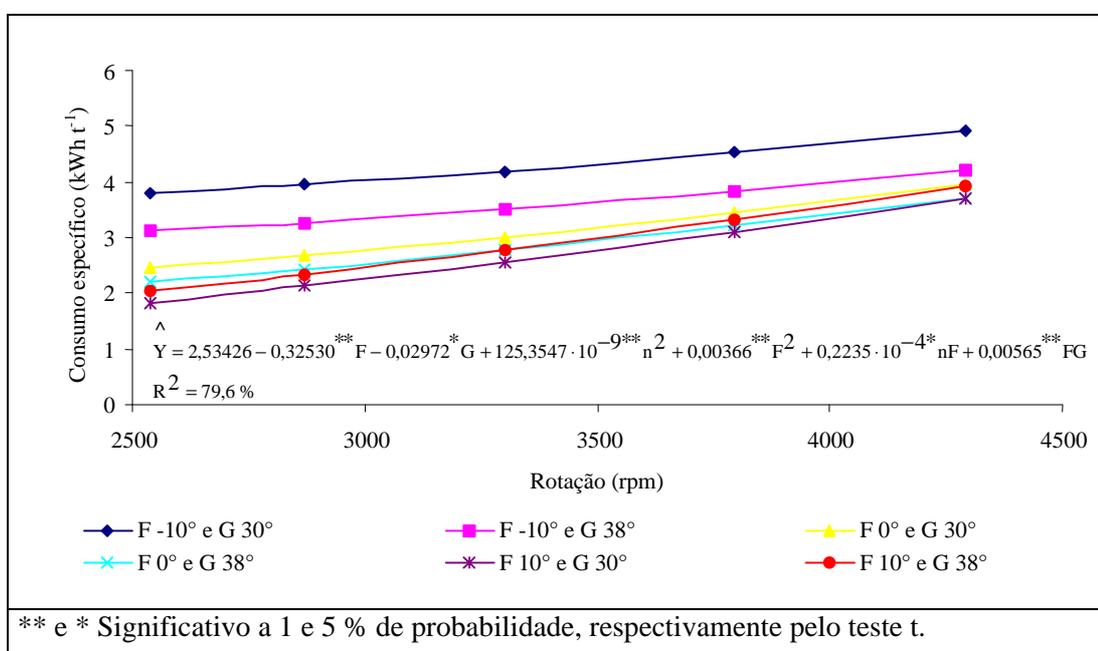


Figura 21. Equação de regressão ajustada para consumo específico demandado pelo DPM-4 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Como nos casos anteriores, o menor consumo específico foi encontrado ao se utilizar facas de 10° , sendo que no caso de ângulo do gume de 38° os valores de 10° e 0° estão muito próximos.

Quanto aos ângulos do gume das facas, o ângulo de 38° foi o que demandou menor energia ao utilizar as facas de 0° e -10° , mas quando utilizou-se a faca de 10° , o ângulo de 30° apresentou menor demanda. Mais uma vez os valores coincidiram

com aqueles apresentados na capacidade de produção, ou seja, o ângulo de 38° foi o que propiciou maior capacidade de produção ao DPM-4 com as facas de 0° e -10° de ângulos oblíquos, sendo que, ao utilizar a faca de 10°, o ângulo de 30° apresentou menor demanda energética.

Com as modificações feitas nas facas, de acordo com a Figura 21, obteve-se menor consumo específico, ao utilizar faca de 10° de ângulo oblíquo e 30° de ângulo do gume.

Discussão geral

O ângulo oblíquo de 10° propiciou aos 3 DPMs maior eficiência, ou seja, mesmo demandando maior potência do que o ângulo de 0°, proporcionou maior capacidade de produção e menor demanda energética independentemente do ângulo do gume utilizado, corroborando as afirmações feitas por Bianchini (2002). Contudo, a faca de -10° apresentou demanda energética superior à faca de 0°, mesmo apresentando maior capacidade de produção que esta. O que pode ter acontecido é que a configuração da faca de -10° permitiu que houvesse maior concentração (devido ao deslizamento) do produto vegetal na extremidade final da faca, aumentando, desta forma, a força para cortar o material. Então, este ângulo de sinal contrário não contribuiu para a diminuição da demanda energética das máquinas.

Quanto ao ângulo do gume, os resultados variaram de máquina para máquina e de ângulo oblíquo para ângulo oblíquo. Os DPMs apresentaram melhores demandas energéticas ao serem manuseados com as facas com ângulos do gume de 38° para os modelos 1 e 2 e 30° para o modelo 4. Acredita-se, porém, que quanto menor o ângulo do gume, menor deverá ser a força de corte, devido à menor resistência causada à penetração da faca no material vegetal, diminuindo, também, o consumo de energia.

Visvanathan et al. (1996) avaliaram o efeito do gume da faca sobre a energia específica de corte (kJ m^{-2}) por impacto em tubérculos de mandioca utilizando-se 4 ângulos de gume das facas (15°, 30°, 45° e 60°) e obtiveram uma curva que decrescia até os valores de 30° a 45°, voltando a aumentar a partir de 45°, sendo o valor ótimo de 37°. Observa-se, desta maneira, a existência de um valor mínimo de energia específica que diminui e volta a aumentar de acordo com o incremento do ângulo do gume das facas.

Os ângulos do gume utilizados, nesse experimento, serviram para confirmar que esta variável influencia diretamente na demanda energética das máquinas e nos processos que envolvem corte de material vegetal como afirma Persson (1987a). Necessita-se, porém, de uma variação maior deste ângulo para se concluir até que valor ele poderá ser utilizado como referência pois, de acordo com os autores anteriores, este pode variar de comportamento à medida que se aumenta ou diminui esta variável.

Vale ressaltar, também, que os trabalhos apresentados por estes autores se referem ao corte de material vegetal por impacto, ou seja, sem a presença de contra-faca. Neste tipo de corte, a inércia do próprio material a ser cortado é que resiste à ação de deslocamento provocada pela lâmina de corte, sendo, portanto, altamente dependente da velocidade de corte, o que não ocorre com o corte com contra-faca.

Quanto à rotação, pode-se afirmar que também é outro parâmetro de extrema importância na avaliação de máquinas de corte de produtos vegetais. Ao diminuirmos a rotação, foi possível reduzir a potência demandada e, sobretudo, o consumo específico de energia, porém, a capacidade de produção também diminuiu.

Avaliação econômica

Considerando a diminuição da capacidade de produção com a redução da rotação, o que seria melhor para o produtor? Trabalhar a altas rotações produzindo mais rápido e, desta forma, liberar tempo para execução de outras tarefas ou trabalhar em baixas rotações e economizar com a menor demanda de energia? Para tentar visualizar esta questão, foram feitas análises do tempo de processamento do capim e custos de mão-de-obra e consumo de energia demandada.

A avaliação econômica foi executada considerando-se um número médio por produtor de 20 animais no estado de Minas Gerais onde a seca se prolonga por um período de 150 dias e o cuidado com o gado seja redobrado, no qual a economia de energia é mais importante. Para análise, foram considerados os dados: Consumo médio de 35 kg de forragem por animal; custo de mão-de-obra baseado no valor do salário mínimo mais os encargos sociais; valor do kWh de R\$0,24 (relativo a um "produtor rural normal") com tarifa convencional sem taxa de ICMS e cotação do dólar vigente de R\$2,23.

Tabela 17. Avaliação econômica do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Tempo de processamento (h/150 dias) | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 49,69 | 44,25 | 73,15 | 56,47 | 45,77 | 36,43 |
| 4715 | 53,81 | 48,56 | 78,72 | 61,44 | 46,60 | 37,61 |
| 4100 | 58,69 | 53,81 | 85,19 | 67,37 | 47,46 | 38,86 |
| 3565 | 63,71 | 59,40 | 91,77 | 73,54 | 48,24 | 40,01 |
| 3154 | 68,19 | 64,55 | 97,55 | 79,11 | 48,86 | 40,95 |
| Salário + encargos sociais (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 86,26 | 76,82 | 127,00 | 98,04 | 79,46 | 63,25 |
| 4715 | 93,43 | 84,31 | 136,66 | 106,67 | 80,91 | 65,29 |
| 4100 | 101,89 | 93,43 | 147,90 | 116,97 | 82,40 | 67,46 |
| 3565 | 110,60 | 103,12 | 159,32 | 127,68 | 83,75 | 69,47 |
| 3154 | 118,38 | 112,06 | 169,35 | 137,35 | 84,82 | 71,09 |
| Custo de consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 154,11 | 124,13 | 140,57 | 110,59 | 127,04 | 97,06 |
| 4715 | 141,41 | 111,43 | 129,43 | 99,45 | 117,46 | 87,48 |
| 4100 | 130,07 | 100,09 | 119,66 | 89,68 | 109,25 | 79,27 |
| 3565 | 121,32 | 91,34 | 112,27 | 82,29 | 103,21 | 73,23 |
| 3154 | 115,30 | 85,32 | 107,29 | 77,31 | 99,28 | 69,30 |
| Soma dos custos de salário e consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 240,37 | 200,95 | 267,57 | 208,63 | 206,50 | 160,31 |
| 4715 | 234,84 | 195,74 | 226,09 | 206,12 | 198,37 | 152,77 |
| 4100 | 231,96 | 193,52 | 267,56 | 206,65 | 191,65 | 146,73 |
| 3565 | 231,92 | 194,46 | 271,59 | 209,97 | 186,96 | 142,70 |
| 3154 | 233,68 | 197,38 | 276,64 | 214,66 | 184,10 | 140,39 |

Pode-se observar na Tabela 17, para o DPM-1, que à medida que a rotação é aumentada, diminui-se o tempo de execução da tarefa para os 150 dias de trabalho, disponibilizando-se, desta forma, mão-de-obra para realização de outras atividades na propriedade, diminuindo-se também, o custo de mão-de-obra para realizá-la. O custo com consumo de energia, porém, aumenta à medida que a rotação é elevada.

Quanto ao custo total, apenas ao utilizarmos a faca de 10°, pode-se verificar diminuição do valor ao reduzirmos a rotação.

Nota-se que o ângulo oblíquo de 10°, juntamente com o ângulo de 38° do gume da faca, propiciaram sempre melhores condições, seja com o tempo de processamento do capim, custos de mão-de-obra, consumo de energia ou custo total.

Tabela 18. Avaliação econômica do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Tempo de processamento (h/150 dias) | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 46,38 | 63,88 | 45,05 | 49,51 | 32,51 | 30,60 |
| 4255 | 46,83 | 64,75 | 47,46 | 52,43 | 34,82 | 32,64 |
| 3700 | 47,29 | 65,63 | 50,13 | 55,71 | 37,49 | 34,98 |
| 3217 | 47,70 | 66,42 | 52,72 | 58,93 | 40,16 | 37,29 |
| 2846 | 48,02 | 67,04 | 54,90 | 61,66 | 42,49 | 39,29 |
| Salário + encargos sociais (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 80,69 | 111,16 | 78,39 | 86,14 | 56,56 | 53,25 |
| 4255 | 81,48 | 112,66 | 82,58 | 91,22 | 60,58 | 56,80 |
| 3700 | 82,29 | 114,20 | 87,23 | 96,94 | 65,22 | 60,86 |
| 3217 | 83,00 | 115,57 | 91,74 | 102,54 | 69,88 | 64,89 |
| 2846 | 83,55 | 116,65 | 95,52 | 107,29 | 73,93 | 68,37 |
| Custo de consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 120,42 | 135,40 | 110,94 | 108,85 | 90,85 | 71,68 |
| 4255 | 101,93 | 122,92 | 96,42 | 100,32 | 80,28 | 67,11 |
| 3700 | 83,45 | 110,44 | 81,89 | 91,80 | 69,72 | 62,55 |
| 3217 | 67,36 | 99,57 | 69,25 | 84,38 | 60,53 | 58,57 |
| 2846 | 55,01 | 91,23 | 59,54 | 78,68 | 53,46 | 55,52 |
| Soma dos custos de salário e consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 201,11 | 246,56 | 189,33 | 194,99 | 147,41 | 124,93 |
| 4255 | 183,41 | 235,58 | 179,00 | 191,55 | 140,86 | 123,91 |
| 3700 | 165,74 | 224,64 | 169,12 | 188,74 | 134,94 | 123,41 |
| 3217 | 150,36 | 215,14 | 160,99 | 186,92 | 130,41 | 123,46 |
| 2846 | 138,56 | 207,88 | 155,06 | 185,97 | 127,39 | 123,89 |

Verifica-se, também na Tabela 18, para o DPM-2, que à medida que a rotação é aumentada, diminui-se o tempo de execução da tarefa para os 150 dias de trabalho, disponibilizando-se, desta forma, mão-de-obra para realização de outras atividades na propriedade e diminuindo-se também o custo de mão-de-obra para realizá-la. No

entanto, o custo com consumo de energia aumenta à medida que a rotação é elevada, aumentando, desta forma, o custo total. Neste caso, foi possível baixar o custo de produção quando se trabalha em menores rotações.

Nota-se que o ângulo oblíquo de 10°, juntamente com o ângulo de 38° do gume da faca, propiciaram sempre menores valores de tempo de processamento do capim, custos com mão-de-obra, consumo de energia e custo total.

Tabela 19. Avaliação econômica do DPM-4 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°).

| Tempo de processamento (h/150 dias) | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 41,61 | 31,46 | 39,84 | 37,11 | 29,75 | 33,86 |
| 3795 | 46,82 | 34,60 | 41,14 | 38,56 | 28,83 | 32,89 |
| 3300 | 53,52 | 38,43 | 42,54 | 40,12 | 27,96 | 31,98 |
| 2870 | 61,11 | 42,53 | 43,83 | 41,58 | 27,24 | 31,23 |
| 2538 | 68,64 | 46,35 | 44,88 | 42,79 | 26,71 | 30,67 |
| Salário + encargos sociais (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 72,40 | 54,73 | 69,31 | 64,58 | 51,77 | 58,92 |
| 3795 | 81,46 | 60,20 | 71,59 | 67,09 | 50,16 | 57,23 |
| 3300 | 93,12 | 66,88 | 74,01 | 69,81 | 48,64 | 55,64 |
| 2870 | 106,34 | 74,01 | 76,26 | 72,35 | 47,40 | 54,33 |
| 2538 | 119,44 | 80,65 | 78,09 | 74,45 | 46,48 | 53,36 |
| Custo de consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 123,86 | 106,48 | 99,53 | 93,54 | 93,66 | 99,06 |
| 3795 | 114,01 | 96,63 | 86,89 | 80,90 | 78,23 | 83,63 |
| 3300 | 105,70 | 88,32 | 75,79 | 69,80 | 64,35 | 69,75 |
| 2870 | 99,74 | 82,36 | 67,42 | 61,42 | 53,55 | 58,95 |
| 2538 | 95,94 | 78,56 | 61,74 | 55,75 | 46,01 | 51,41 |
| Soma dos custos de salário e consumo de energia (R\$/150 dias) | | | | | | |
| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4290 | 196,26 | 161,21 | 168,84 | 158,12 | 145,43 | 157,93 |
| 3795 | 195,47 | 156,83 | 158,48 | 147,99 | 128,39 | 140,86 |
| 3300 | 198,82 | 115,20 | 149,80 | 139,61 | 112,99 | 125,39 |
| 2870 | 206,08 | 156,37 | 143,68 | 133,77 | 100,95 | 113,28 |
| 2538 | 215,38 | 159,21 | 139,83 | 130,20 | 92,49 | 104,77 |

Observa-se na Tabela 19, para o DPM-4, que à medida que a rotação é aumentada, o tempo de execução da tarefa para os 150 dias de trabalho diminui, reduzindo também o custo de mão-de-obra. Apenas ao utilizar a faca de 10°, isto não foi observado devido ao fato da capacidade de produção diminuir com o aumento da rotação, em decorrência da grande dificuldade de alimentação contínua desta máquina, nesta condição. Mesmo assim, o custo total foi menor ao se trabalhar com a rotação inferior devido ao fato destas terem gerado menor demanda energética.

O menor custo total foi obtido ao utilizar também a faca de 10° de ângulo oblíquo, todavia, com a faca de 30° de ângulo do gume, deferenciando-se dos dois DPMs anteriores.

Considerando cada DPM separadamente, conclui-se que a maior capacidade de produção e menor consumo específico foram proporcionados pela faca de 10° de ângulo oblíquo e 38° de ângulo do gume para os DPMs 1 e 2 e de 10° e 30° para o DPM-4. Quanto à rotação, mediante o que foi mostrado anteriormente, pôde-se observar que a menor, embora com maior tempo de execução da tarefa e menor capacidade de produção, pode gerar maior economia devido ao baixo custo do consumo específico, com exceção do DPM-1.

Ao considerar os DPMs na condição em que estes vêm de fábrica, ou seja, rotação nominal, ângulo oblíquo de 0° e ângulo do gume de 30°, obtiveram-se os seguintes valores de custo total de produção:

- DPM-1: R\$267,56;
- DPM-2: R\$169,12;
- DPM-4: R\$149,80

O DPM-4 apresentou menor custo de produção seguido pelos DPMs 2 e 1 devido ao fato de possuir maior capacidade de produção do que as demais máquinas e conseqüentemente menor consumo específico de energia.

Vale ressaltar que o DPM-4 proporciona grande dificuldade de alimentação devido à alta taxa de alimentação que este exige. Para a condução deste experimento, foram colocadas mais duas pessoas próximas à boca da moega para mantermos a taxa de alimentação constante. Para que estes resultados fossem alcançados, pelo produtor rural, seria necessário contratar mais pessoas para realizar a tarefa aumentando o custo com mão-de-obra. Na condição normal de trabalho, uma pessoa

apenas não daria conta de manter o DPM-4 em regime de trabalho contínuo, diminuindo assim a capacidade de produção e aumentando o consumo específico.

Custos de aquisição das máquinas

A Tabela 20 apresenta os custos de aquisição das máquinas.

Tabela 20. Custos de aquisição dos DPMs.

| DPM-1 | | | | |
|------------|-----------------|-----------|----------|------------|
| Máquina | Motor (7,5 cv) | Base | Correia | Total |
| R\$1472,00 | R\$700,00 | R\$250,00 | R\$25,00 | R\$2447,00 |
| DPM-2 | | | | |
| Máquina | Motor (10,0 cv) | Base | Correia | Total |
| R\$1741,00 | R\$900,00 | R\$250,00 | R\$25,00 | R\$2916,00 |
| DPM-4 | | | | |
| Máquina | Motor (12,5 cv) | Base | Correia | Total |
| R\$2000,00 | R\$1000,00 | R\$250,00 | R\$25,00 | R\$3275,00 |

Considerando a diferença dos custos totais de produção, um produtor que possui um DPM-1, ao adquirir um modelo DPM-2, levaria 4,8 anos para repor apenas a diferença de preço de aquisição entre as duas máquinas trabalhando 150 dias por ano. Caso esse produtor adquirisse um DPM-4, este tempo de reposição aumentaria para 7 anos. Já o produtor que possui um DPM-2, ao adquirir um DPM-4, levaria 18 anos para repor a diferença de preço de aquisição, não justificando, desta forma, o uso do DPM-4.

Avaliação econômica do DPM-1 no Estado de Minas Gerais

Considerando que 80% das propriedades de Minas Gerais utilizam uma picadora de capim (DPM-1) com potência de 5 cv, no período de seca (150 dias):

- A produção de leite giraria em torno de 6 bilhões de litros por ano;
- Seriam produzidos em média 16.438.356 L de leite por dia no estado;
- Estimando que cada animal produz média de 5 L de leite por dia, seriam alimentadas 3.287.671 vacas por dia;
- Com o consumo diário de 35 kg de forragem por animal seriam consumidas 115.068 toneladas de forragem por dia;
- Seriam processadas 13.808.219 toneladas de forragem em 150 dias.

Ao considerar a melhor condição na avaliação, ou seja, rotação de 3154 rpm; ângulo oblíquo da faca de 10° e ângulo do gume de 38°, obteve-se 2 kWh t⁻¹ de economia, gerando, desta forma, 27.616.438 kWh em 150 dias.

Considerando, de acordo com a CEMIG, o consumo de 6.160.332 kWh para a cidade de Viçosa-MG no período de Julho/2003, a redução no consumo específico do DPM-1, no período de 150 dias, permitiria a 4,48 cidades do porte de Viçosa serem atendidas no período de 31 dias.

Apenas diminuindo a rotação indicada pelo fabricante para 3154 rpm, sem modificar os ângulos oblíquos e do gume, o produtor conseguiria uma economia de 0,49 kWh t⁻¹, o que acarretaria 6.766.027 kWh em 150 dias, o que representa uma cidade do mesmo porte por 31 dias.

CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados e nas condições em que se desenvolveu este trabalho, concluiu-se que:

- As maiores capacidades de produção e menores consumos específicos foram proporcionados pelas facas de 10° de ângulo oblíquo para todos os DPMs e 38° de ângulo do gume para os DPMs 1 e 2, e 30° para o DPM-4;
- O ângulo oblíquo de 10° propiciou aos 3 DPMs maior eficiência, ou seja, mesmo demandando maior potência, proporcionou maior capacidade de produção e menor demanda energética;
- Os ângulos do gume utilizados serviram para concluir que esta variável influencia diretamente na demanda energética das máquinas que envolvem corte de material vegetal, porém, necessita-se de uma maior variação deste parâmetro para se avaliar até quando este poderá ser utilizado como referência, pois os valores variaram de máquina para máquina;
- Apesar das maiores rotações propiciarem maior capacidade de produção e menor tempo de processamento, é possível baixar o custo de produção quando se trabalha em menores rotações, devido ao valor do consumo específico ser reduzido;

- Embora o DPM-4 tenha apresentado maior capacidade de produção, menor consumo específico e conseqüentemente menor custo de produção, vale ressaltar que esta máquina apresenta maior preço de aquisição do que os outros dois modelos e maior dificuldade de alimentação, obrigando o produtor a contratar mais uma pessoa para executar este processo com o intuito de que a máquina possa trabalhar com fluxo constante e desta forma não haver queda da demanda energética;
- Quanto aos custos totais de produção, um produtor que possui em sua propriedade um DPM-1, ao adquirir um DPM-2, levaria 4,8 anos para repor apenas a diferença de preço de aquisição entre as duas máquinas trabalhando 150 dias por ano. Caso este produtor adquirisse um DPM-4, este tempo de reposição aumentaria para 7 anos. Já o produtor que possui um DPM-2, ao adquirir um DPM-4, levaria 18 anos para repor a diferença de preço de aquisição, não justificando, desta forma, o uso do DPM-4;
- A redução do consumo específico do DPM-1, no período de 150 dias, com as modificações nas facas e rotação, permitiria a 4,48 cidades do porte de Viçosa serem atendidas no período de 31 dias, e/ou uma cidade do mesmo porte por 31 dias, apenas diminuindo-se a rotação indicada pelo fabricante para 3154 rpm, sem alterar as características da máquina.

LITERATURA CITADA

ALVAREZ, A. L. M. **Uso racional e eficiente de energia elétrica: Metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares.** 1998. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 1998.

BIANCHINI, A. **Desenvolvimento teórico experimental de disco de corte dentado passivo para corte de palhão em cana-de-açúcar.** 2002. 218f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2002.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Metodologia para o ensaio de máquinas rurais.** Rio de Janeiro, RJ: 2000. 31p.

COSTA, H. S., COSTA, R.A.L.; ECK, M. Análise econômica comparativa da eletrificação rural comercial e fotovoltaica In: XVII CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE ELETRIFICAÇÃO RURAL, 1999, Recife. **Anais...** Recife: 1999. Disponível em: <http://www.ufpe.br/naper/download/economica.doc>. Acesso em: 20 de jul. 2005.

CÓSER, A. C.; MARTINS, C. E.; DERESZ, F. Capim-elefante: formas de uso na alimentação animal. Juiz de Fora, MG: **Embrapa Gado de Leite**, 2000. 27p. (Embrapa Gado de leite. Circular Técnica, 57).

CÓSER, A. C. Como manejar corretamente uma capineira. Instrução técnica para o produtor de leite. Juiz de Fora, MG: **Embrapa Gado de Leite**, 2001. 2p. (Embrapa Gado de Leite. ISSN Nº 1518-3254).

DIAS, G. P.; VITÓRIA, E. L.; REIS, E. F.; KHOURY JÚNIOR, J. K. Bancada de testes de equipamentos eletorrurais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 3, 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Editora, 1998. p. 669-672.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Capim-elefante**. Curso de Pecuária Leiteira. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1993. Documentos, n.43, 2ªed. 34p.

HILLESHEIM, A. Manejo do capim-elefante: corte. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1992. p. 117-141.

MARTINS, M. P. S. **Inovação tecnológica e eficiência energética**. 1999. 43f. Monografia (MBA em Energia Elétrica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1999.

MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; FILHO, A. B. C. Manejo de uma capineira de capim-elefante. **Sociedade Nacional de Agricultura**, n. 629, junho. 1999. Disponível em: <http://biblioteca.sna.agr.br/artigos/artitec-capineira.htm>. Acesso em: 15 de jul. 2005.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Implementação da lei de eficiência energética – Comitê gestor de indicadores e níveis de eficiência energética – CGIEE**. Brasília, DF: 2002. 87p.

PEREIRA, A. V.; FERREIRA, R. P.; PASSOS, L. P.; FREITAS, V. P.; VERNEQUE, R. S.; BARRA, R. B.; SILVA, C. H. P. Variação da qualidade de folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-elefante x milheto (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta. **Ciênc. Agrotec.**, Lavras, MG, v. 24, n. 2, p. 490-499, abr./jun. 2000a.

PEREIRA, S.; DIAS, G.P.; OLIVEIRA FILHO, D.; SOUZA, L.C.V. Metodologia para avaliação de desempenho e produção específica de picadoras e ensiladoras de forragem. In: PRIMEIRO SEMINÁRIO ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 2000b, Uberaba. **Anais...** Uberaba: Editora, 2000b. p 3.41-47.

PERSSON, S. Factors, influencing forces, energy and power. In: ASAE. **Mechanics of cutting plant material**. St. Joseph, 1987(a). p.161-217.

PERSSON, S. **Mechanics of cutting plant material**. (ASAE monograph Number 7). St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1987(b).

RODRIGUES, D. E. **Avaliação do desempenho de cinco marcas de Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) na moagem do milho**. 2000. 51f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

RODRÍGUEZ, A. M.; HERNÁNDEZ, P. V. SUÁREZ, J. D., PADIN, Y. M. RISCART, D. V. Determinación de las condiciones de succión de la masa vegetal en los molinos desmenuzadores de tallos. **AgrIng**, 2004a.

RODRÍGUEZ, A. M.; HERNÁNDEZ, P. V. SUÁREZ, J. D., PADIN, Y. M. RISCART, D. V. Modelo matemático racional para el cálculo de la potencia consumida en molinos forrajeros de tambor. **AgrIng**, 2004b.

SILVA, S. C.; FARIA, V. P.; CORSI, M. Sistema intensivo de produção de leite em pastagens de capim-elefante do Departamento de Zootecnia da ESALQ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GADO LEITEIRO, número., 1996, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1996. p 97-122.

SILVA, D. F.; SOUZA, C. M.; OLIVEIRA, A. D. **Máquinas para corte de forragem**. Viçosa. 2003. Disponível em: <http://www.ufv.br/poscolheita/colheita/forragens>. Acesso em: 15 dez. 2003.

VISVANATHAN, R.; SREENARAYANAN, V. V.; SWAMINATHAN, K. R. Effect of knife angle and velocity on the energy required to cut cassava tubers. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.64, número, p. 99-102, 1996.

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO EM PICADORAS DE FORRAGEM TIPO DESINTEGRADOR/PICADOR/MOEDOR (DPM)

RESUMO

Os níveis de ruído em picadoras de forragem tipo DPM (Desintegrador/Picador/Moedor) no processamento de capim-elefante foram avaliados. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas picadoras (DPM-1 e DPM-2), cada uma operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições e os resultados avaliados por meio da análise de regressão. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas. O DPM-1 apresentou média de 114 dB(A), o que representa 7 minutos de exposição diária máxima do operador sem o uso de protetores auriculares de acordo com a NR-15. Os níveis de ruído gerados pelo DPM-2 aumentaram com o incremento da rotação, apresentando valores críticos de 7 e 8 minutos de exposição diária máxima. Mesmo sendo operadas sem taxa de alimentação, as máquinas produziram elevados níveis de ruído, sendo estes bem acima de 85 dB(A) para uma exposição diária máxima de 8 horas de acordo com a NR-15. O uso de protetores auriculares se torna indispensável no processamento de forragem.

Palavras-chave: máquinas agrícolas, ergonomia, nível de ruído

NOISE LEVELS IN FORAGE CUTTERS TYPE DISINTEGRATOR/CHOPPER/GRINDER (DPM)

ABSTRACT

The noise levels of forage cutters type DPM (Disintegrator/Chopper/Grinder) in the processing of elephant grass were evaluated. The treatments were constituted

by the combination of two cutters (DPM-1 and DPM-2), every one operating in five different rotations, three oblique angles of the knives and two angles of the knives' edge. The experimental design was entirely at random with two repetitions and the results were evaluated by means of the regression analysis. Cuts in the surfaces of adjusted response were accomplished to facilitate the discussion and interpretation of the results. The DPM-1 presented average of 114 dB(A), what represents 7 minutes of maximum daily exposition of the operator without the use of auricular protectors in accordance with the NR-15. The levels of noise of the DPM-2 had increased with the increment of the rotation; showing critical values of 7 and 8 minutes of maximum daily exposition. Despite being operated without feeding tax, the machines produced high level of noise, being this above 85 dB(A) for a maximum daily exposition of 8 hours in accordance with the NR-15. The use of auricular protectors becomes indispensable in the forage processing.

Keywords: agricultural machines, ergonomics, noise level

INTRODUÇÃO

A forragem

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) é uma das espécies forrageiras tropicais mais importante na alimentação do rebanho bovino no período da seca em função do seu elevado potencial de produção de matéria seca (MS), aceitabilidade e qualidade (PEREIRA et al., 2000). É versátil tanto na forma natural (picado ou pastejo), como conservado (SILVA et al., 1996).

Há acentuada estacionalidade de produção dessa espécie forrageira durante o ano, sendo descrito na literatura que de 23 a 44% da produção anual ocorrem durante o período da seca (HILLESHEIM, 1992). Nesta época, devido à precariedade dos pastos, as capineiras são a principal reserva de forragem, sendo o capim-elefante a forrageira mais utilizada, devido ao seu elevado potencial para produção de forragem de boa qualidade (EMBRAPA, 1993).

Uma vez cortada e picada, a forragem deve ser colocada no cocho em quantidade suficiente para que o consumo animal não seja restringido, podendo ser administrada em uma ou duas porções diárias (MARTINS et al., 1999).

Como o clima não permite a produção contínua de alimentos para os animais durante toda a época do ano, torna-se necessário providenciá-los no período de menor oferta. Nesse caso, máquinas específicas são usadas para cortar e picar o material, objetivando facilitar a ingestão do alimento; aumentar a superfície de ação dos agentes digestivos; compactar o material para facilitar seu transporte e armazenamento e reduzir a presença de ar no interior dos silos, na fase de fermentação, quando este for ensilado (SILVA et al., 2003).

Dentre as principais máquinas utilizadas para picar o capim, pode-se citar o Desintegrador/Picador/Moedor (DPM), que pode ser acionado por motores estacionários (elétricos, diesel, gasolina), por intermédio de correias, polias ou ainda por tratores via tomada de potência (TDP). Para cada modelo de DPM, a capacidade de processamento é função da potência do motor e do tipo de forragem a ser processada.

Os DPMs possuem um conjunto de martelos, peneiras e facas fixas a um rotor giratório que processa, além de produtos como milho debulhado, ou com palha e sabugo, diversos tipos de forrageiras como cana e capim. As facas que compõem o sistema de corte destas 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.

Nível de ruído

Estas máquinas, porém, geram altos níveis de ruído que podem causar conseqüências graves à saúde do operador. Dentre muitos fatores ambientais que prejudicam o trabalhador, o ruído é considerado um dos principais, pois pode causar danos auditivos, assim como outras conseqüências.

O setor agrícola observou esse problema tardiamente, tanto que, na área rural, pouco, ou quase nada, existe a respeito do ruído em máquinas agrícolas e, conseqüentemente, não se pode tirar nenhuma conclusão sobre os problemas ocupacionais em trabalhadores deste campo (VITÓRIA, 2000).

O ruído, além de causar a perda auditiva, pode contribuir para a ocorrência de acidentes, pois o trabalhador pode ter como conseqüência do ruído, cansaço, irritação, dores de cabeça, entre outros sintomas. Além da perda de produtividade

gerada por estes sintomas, existe a diminuição dos reflexos e da atenção, aumentando os riscos de acidentes devido a estresse físico e mental (GOLDMAN, 2002).

Pesquisas revelam sérios efeitos do ruído no homem, tal como: aceleração da pulsação, aumento da pressão sangüínea e estreitamento dos vasos sangüíneos. Longo tempo de exposição ao ruído alto pode causar sobrecarga do coração, tensões musculares e secreções anormais de hormônios, causando uma modificação do comportamento psicofisiológico do indivíduo tal como nervosismo, fadiga mental, prejuízo no desempenho no trabalho, dificuldades mentais e emocionais, irritabilidade e até impotência sexual. Também pode haver uma dilatação da pupila, aumento da produção de hormônios da tireóide, aumento da produção de adrenalina e corticotrofina, contração do estômago e abdômen, reações musculares diversas e contração dos vasos sangüíneos, entre outros (ABEL – ACÚSTICA BRASILEIRA ENGENHARIA LTDA, 2004).

Segundo Goldman (2002), ao atuar-se corretivamente em relação a uma tarefa que oferece risco ao trabalhador, deve-se promover a correção na seguinte ordem:

- Fonte: substituição da máquina ou do processo de trabalho por outro com menor nível de ruído;
- Trajetória: enclausuramento da máquina para diminuir a emissão de ruído; e
- Indivíduo: utilização de protetor auricular para minimizar o ruído.

Sendo o engenheiro o profissional qualificado para controlar o ruído diretamente na fonte, tratando o ambiente acusticamente, Gerges (1996) salienta que, quando as medidas de controle na fonte não são suficientes, faz-se necessário o uso de equipamento de proteção auditiva, sendo um método considerado temporário e o último recurso para a proteção auditiva.

As normas internacionais, segundo Vitória (2000), (ISO: International Organization for Standardization) possuem inúmeras normas sobre ruído em máquinas, sendo as principais para a área de máquinas agrícolas: ISO – 3745 – "Determinação dos Níveis de Pressão Acústica de Fontes de Ruído"; ISO 5131 (International ... – ISO, 1982) – "Tratores e Máquinas Agrícolas e Florestais – Medição do Ruído no Posto do Operador"; ISO – TR 5007 – "Tratores e Máquinas para a Agricultura – Ponto de Referência do Assento"; e ISO 5008 – "Tratores Agrícolas de Rodas e Máquinas para o Campo – Medição das Medições Globais no Assento do Operador".

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui inúmeras normas a respeito de medições de ruído em máquinas, sendo as principais para máquinas agrícolas: NBR – 9999 (Associação... – NBR, 1987) – "Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas" e NBR – 10400 (Associação... – NBR, 1988) – "Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho".

Existem também as leis e normas que visam à proteção do trabalhador. A Norma Regulamentadora n.º 15 (NR-15), anexo nº 1, aprovada pela Portaria 3.214, de 8 de junho de 1978, do Ministério do Trabalho é uma delas. Entende-se por Ruído Contínuo ou Intermitente, para os fins de aplicação de Limites de Tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto. Os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW).

As leituras de níveis de ruído devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador e os tempos de exposição aos níveis de ruído não devem exceder os limites de tolerância, sendo que para valores intermediários serão consideradas as máximas exposições diárias permissíveis relativas ao nível imediatamente mais elevado. Cabe ainda afirmar que não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

De acordo com a Tabela 21, podem-se observar os níveis de ruído permitidos e o tempo de duração para cada um.

Tabela 21. Limites de tolerância ao ruído contínuo ou intermitente, segundo a Portaria n.º 3.214/78 – NR-15 – CLT

| Nível de ruído dB(A) * | Máxima exposição diária permissível |
|------------------------|-------------------------------------|
| 85 | 8 horas |
| 86 | 7 horas |
| 87 | 6 horas |
| 88 | 5 horas |
| 89 | 4 horas e 30 minutos |
| 90 | 4 horas |
| 91 | 3 horas e 30 minutos |
| 92 | 3 horas |
| 93 | 2 horas e 40 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos |
| 95 | 2 horas |
| 96 | 1 hora e 45 minutos |
| 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 100 | 1 hora |
| 102 | 45 minutos |
| 104 | 35 minutos |
| 105 | 30 minutos |
| 106 | 25 minutos |
| 108 | 20 minutos |
| 110 | 15 minutos |
| 112 | 10 minutos |
| 114 | 8 minutos |
| 115 | 7 minutos |

* Níveis de ruído medidos em decibel, dB(A), com o medidor operando no circuito de equalização A.

De acordo com a norma ISO 2204/1973, "International Standard Organization", citado por Brito (1999), os ruídos podem ser classificados em:

- Contínuo: ruído com variações de níveis desprezíveis durante o período de observação; até ± 3 dB;
- Intermitente: ruído cujo nível varia continuamente de um valor apreciável durante o período de observação, superior a ± 3 dB.
- Ruído de impacto ou impulso: ruído que se apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo.

Venturoli et al. (2003), avaliando o nível de ruído em marcenarias no Distrito Federal, concluíram que todas as máquinas, exceto a lixadeira de cinta e a furadeira horizontal, apresentaram níveis de ruído acima do permitido pela NR-15. Concluíram

ainda que a máxima exposição diária permitida para a serra circular de carrinho foi de 1 hora durante toda a jornada de trabalho.

Rodrigues (2000) avaliou o nível de ruído emitido por cinco DPMs de marcas distintas, no processamento do milho, sob cinco diferentes rotações e concluiu que houve uma tendência ao aumento do nível de ruído com o incremento da rotação. Concluiu também que todas as máquinas apresentaram nível de ruído acima do permitido pela NR-15 em todas as rotações.

Souza et al. (2004), avaliando o nível de ruído emitido por um Desintegrador/Picador/Moedor (DPM-1), no processamento do milho em função da rotação e do número de martelos, também concluíram que estas variáveis contribuíram significativamente para o aumento do nível de ruído, sendo que o ruído também aumentou com o incremento da rotação.

Ao adquirir máquinas e outros equipamentos para diversos fins, os consumidores, cada vez mais, estão podendo contar com importantes aliados para conferir a qualidade dos produtos: O "Programa Silêncio", do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), é responsável pelo "Selo Ruído". O objetivo é dar ao consumidor informações sobre o ruído emitido por eletrodomésticos, brinquedos, máquinas e motores, para permitir a escolha do produto mais silencioso (DEFENDA-SE, 2004).

Pode-se dizer ainda de acordo com a página "Defenda-se" que, o selo busca, também, incentivar a fabricação de equipamentos com menor nível de ruído. As próprias empresas já estão se adequando e procurando fabricar equipamentos e máquinas que emitem menos barulho. É o caso de alguns fabricantes de aspiradores de pó, por exemplo, produtos que, em breve, serão certificados pelo Ibama. Por enquanto, apenas os liquidificadores e os secadores de cabelo recebem o selo. Logo, além dos aspiradores de pó, furadeiras e lixadeiras domésticas também deverão ser fiscalizadas. O selo foi instituído em dezembro de 1994, a partir da Resolução nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Assim sendo, procurou-se avaliar o nível de ruído em função da rotação, dos ângulos oblíquos e do gume das facas de três picadoras de forragem denominadas Desintegrador/Picador/Moedor no processamento capim-elefante.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios de Equipamentos Eletro rurais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa e nas dependências do CENTRO TECNOLÓGICO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE VIÇOSA (CENTEV).

O produto utilizado foi o capim-elefante com estágio avançado de desenvolvimento. Sua umidade foi determinada imediatamente após o processamento e homogeneização das amostras. De cada amostra foi retirada uma subamostra padronizada de 300 gramas. Esta foi inicialmente embalada em filme plástico para evitar perda de umidade e, posteriormente, no laboratório, foi acondicionada em papel permeável e colocada para secagem em estufa com ar quente circulante com temperatura entre 65-70 °C, por um período aproximado de 72 horas.

Para condução dos testes, duas máquinas novas, denominadas Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) foram adquiridas no mercado (Figura 22).



Figura 22. Máquinas utilizadas no experimento.

As máquinas foram caracterizadas de acordo com a Tabela 22.

Tabela 22. Características técnicas das máquinas, segundo prospecto do fabricante

| Picadoras | Potência | | Nº de facas | Rotação rpm | Produção * kg ha ⁻¹ |
|-----------|------------|-----------|-------------|----------------|-----------------------------------|
| | cv | kW | | | |
| DPM-1 | 5,0 a 7,5 | 3,7 a 5,5 | 2 | 4100 | 1000/2000 |
| DPM-2 | 7,5 a 10,0 | 5,5 a 7,4 | 2 | 3700 | 2000/3000 |

* Raízes, tubérculos, capim e cana de açúcar.

Os valores anteriores podem variar de acordo com o grau de umidade do produto, peso específico e condições de trabalho.

Medição

Os níveis de ruído foram determinados com um decibelímetro da marca MINIPA, nos circuitos de resposta lenta (slow) e de equalização "A", utilizando-se a escala de medida decibel dB(A).

A determinação dos níveis de ruído foi baseada na NBR-9999 (ABNT, 1987), que é uma norma específica para medida de ruído em tratores e seus efeitos sobre o tratorista. De acordo com esta norma, o decibelímetro foi posicionado próximo ao ouvido do operador das máquinas.

A partir dos valores de ruído medidos, foram analisados os tempos de exposição máxima que o operador poderia ficar exposto àquele nível, sem proteção auricular. Os valores foram confrontados com aqueles anexos à Portaria nº 3.214/78 da NR-15-CLT. Para os valores de nível de ruído intermediários foi considerada a máxima exposição permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

Para cada repetição foram feitas 5 leituras em períodos de 5 segundos. Caso a dispersão das leituras excedesse 3 dB(A), outra medição era realizada até que as leituras se limitassem a uma dispersão nesta faixa. As médias dessas leituras foram consideradas como resultado.

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de dois DPMs (DPM-1 e DPM-2), operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas.

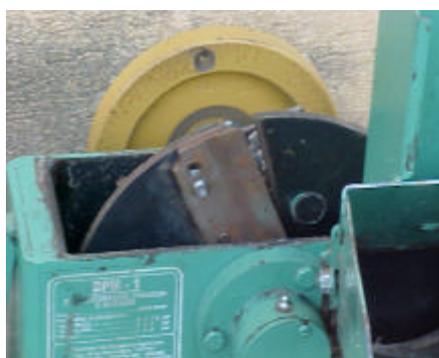
As rotações foram avaliadas de acordo com a faixa estipulada pelo fabricante, tomando-se duas rotações acima e duas abaixo da recomendada (5330, 4715, 4100, 3565 e 3154 rpm) para o DPM-1 e (4810, 4255, 3700, 3217 e 2846 rpm) para o DPM-2, referentes às velocidades periféricas de (78,0; 69,0; 60,0; 52,0 e 46,0 m s⁻¹) para o DPM-1 e (78,0; 69,0; 60,0; 52,0 e 46,0 m s⁻¹) para o DPM-2.

As rotações foram controladas com a utilização de um inversor de frequência, VECTRUE INVERTER, modelo CFW 09/WEG (Figura 23), que alimentava o motor elétrico que acionava os DPMs.



Figura 23. Inversor de frequência VECTRUE INVERTER.

Foram feitas modificações nas características das máquinas para avaliar a influência do ângulo oblíquo e do ângulo do gume das facas. Utilizaram-se três ângulos oblíquos (-10° , 0° e 10°), orientados segundo a linha vertical que corta o eixo da máquina e dois ângulos do gume das facas de 30° e 38° . As facas foram usinadas e trabalhadas para que os valores fossem adquiridos conforme apresentado na Figura 24.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 24. Ângulo oblíquo das facas: (a) -10° , (b) 0° e (c) 10° ;
Ângulo do gume das facas: (d₁) 38° e (d₂) 30° .

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância da regressão, onde para cada máquina, o modelo estatístico completo foi:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 n_i + \beta_2 F_i + \beta_3 G_i + \beta_4 n_i^2 + \beta_5 F_i^2 + \beta_6 n_i F_i + \beta_7 n_i G_i + \beta_8 F_i G_i + e_i \quad (8)$$

em que

Y_i – variável de resposta, nível de ruído dB(A);

n – rotação, rpm;

F – ângulo oblíquo das facas, °;

G – ângulo do gume das facas, °;

β_i – parâmetros a serem estimados, com $i = 0, 1, 2, \dots, 8$;

e_i – erro aleatório suposto normal e independentemente distribuído com média zero e variância σ^2 .

A partir do modelo completo (Equação 8), escolheu-se aquele que melhor se ajustou com base nos seguintes critérios estatísticos:

1. Falta de ajustamento não significativo;
2. Regressão significativa;
3. Significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t;
4. Coeficientes de determinação ajustado;
5. Análise dos resíduos.

Nos testes estatísticos adotou-se um nível de significância de até 15% de probabilidade. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados sobre nível de ruído em função da rotação, ângulo oblíquo das facas e ângulo do gume das facas a partir das equações de regressão, foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas.

Para garantir alimentação contínua das máquinas foram colocadas mais duas pessoas próximas à moega preparando os feixes de capim.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os níveis de ruído em picadoras de forragem tipo DPM (Desintegrador/Picador/Moedor) no processamento de capim-elefante foram avaliados, sendo os tratamentos constituídos pela combinação de duas picadoras (DPM-1 e DPM-2), em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. O capim apresentou umidade média de aproximadamente 60% nos talos e nas folhas.

DPM-1

A Tabela 23 apresenta as médias dos níveis de ruído do DPM-1, manuseado com alimentação de capim-elefante.

Tabela 23. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado com alimentação de capim-elefante.

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 5330 | 116,1 | 115,5 | 113,8 | 114,2 | 114,4 | 116,3 |
| 4715 | 114,9 | 115,2 | 113,4 | 113,2 | 114,5 | 115,5 |
| 4100 | 115,3 | 115,5 | 114,5 | 112,0 | 115,6 | 115,1 |
| 3565 | 114,5 | 114,0 | 115,2 | 112,2 | 115,3 | 115,5 |
| 3154 | 115,3 | 115,2 | 113,9 | 112,0 | 114,2 | 115,3 |

Como observado na Tabela 23, não houve, praticamente, variação dos dados. Assim, nenhum modelo se ajustou significativamente ($P > 0,15$) aos dados, indicando que a resposta estimada é a mesma em qualquer combinação dos níveis dos fatores avaliados, ou seja, $\hat{Y} = \bar{Y} = 114,5$.

De acordo com o valor encontrado de 114,5 dB(A) e considerando a NR-15, observa-se que o operador da máquina não poderá ficar exposto ao ruído por um tempo superior a 7 minutos sem o uso de protetores auriculares.

DPM-2

A Tabela 24 apresenta as médias dos níveis de ruído do DPM-2, sendo manuseado com alimentação de capim-elefante.

Tabela 24. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado com alimentação de capim-elefante.

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 117,1 | 115,2 | 115,9 | 115,2 | 116,7 | 116,5 |
| 4255 | 116,5 | 113,5 | 113,0 | 114,8 | 113,9 | 117,2 |
| 3700 | 112,2 | 109,1 | 115,0 | 113,1 | 113,2 | 116,0 |
| 3217 | 112,5 | 112,1 | 115,0 | 112,2 | 115,1 | 114,0 |
| 2846 | 111,2 | 112,0 | 110,0 | 112,5 | 112,5 | 113,0 |

Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados, foram feitos cortes na superfície de resposta ajustada, conforme apresentado na Figura 25.

É importante ressaltar que, do ponto de vista estatístico, quando se inclui um termo quadrático no modelo de regressão, e este é significativo, em geral, o termo linear deve permanecer no modelo mesmo sendo não significativo. Entretanto, na equação ajustada neste estudo, este procedimento não foi seguido porque provocava sérios problemas de multicolinearidade, tornando os coeficientes de regressão não significativos.

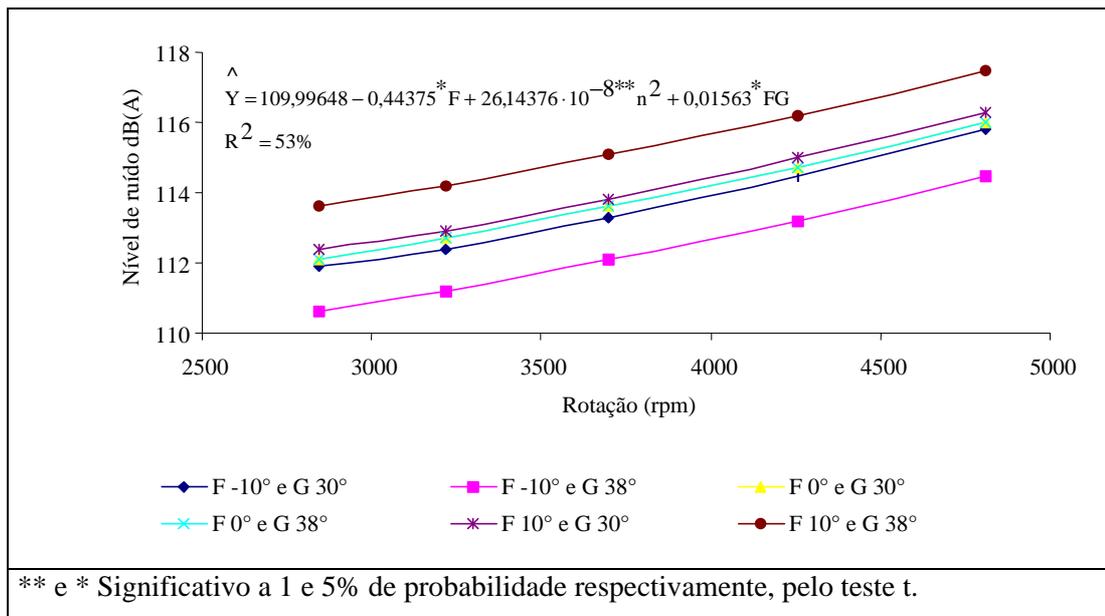


Figura 25. Equação de regressão ajustada para nível de ruído do DPM-2 em função da rotação (n), ângulo oblíquo das facas (F) e ângulo do gume das facas (G).

Pode-se observar por intermédio da Figura 25 que, em todos os casos analisados, os níveis de ruído aumentaram com o incremento da rotação, corroborando os estudos feitos por Rodrigues (2000) e Souza et al. (2004).

Todas as combinações emitiram níveis de ruído acima do permitido, ou seja, 85 dB(A), de acordo com a NR-15 para 8 horas de exposição diária.

A faca de 10° de ângulo oblíquo gerou maior nível de ruído. Isto pode ser explicado devido ao fato de que, esta faca propicia à máquina maior capacidade de produção, obrigando-a a demandar maior potência para expelir as partículas para fora. Este aumento da potência é transformado em maior nível de ruído.

A Tabela 25 apresenta os respectivos valores de máxima exposição diária sem o uso de protetores auriculares.

Tabela 25. Limites de tolerância ao ruído contínuo ou intermitente, de acordo com a Portaria n° 3.214/78 da NR-15-CLT para o DPM-2 em operação de picagem de capim-elefante.

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 7 min | 7 min | 7 min | 7 min | 7 min | 7 min |
| 4255 | 7 min | 8 min | 8 min | 7 min | 8 min | 7 min |
| 3700 | 8 min | 15 min | 7 min | 8 min | 8 min | 7 min |
| 3217 | 8 min | 8 min | 7 min | 8 min | 7 min | 8 min |
| 2846 | 10 min | 10 min | 15 min | 8 min | 8 min | 8 min |

Analisando a Tabela 25, pode-se notar que, a máxima exposição diária permissível ao trabalhador ao picar o capim nas condições ensaiadas, sem o uso de protetores auriculares, varia em torno de valores críticos de 7 e 8 minutos (até mesmo na condição nominal). Estes resultados mostram a importância e a necessidade do uso de protetores auriculares, caso o usuário da máquina necessite picar o capim por um tempo superior aos demonstrados anteriormente. De acordo com a NR-15, não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos.

As Tabelas 26 e 27 apresentam os níveis de ruído dos DPMs 1 e 2 sendo manuseados sem alimentação de capim, ou seja, sem fluxo de material. Este procedimento foi executado para se ter uma idéia dos níveis de ruído causados pelo atrito entre as peças das máquinas e o fluxo de ar promovido pelas partes girantes.

Tabela 26. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-1 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado sem alimentação de capim-elefante.

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 108,0 | 108,2 | 108,0 | 108,1 | 108,0 | 107,7 |
| 4255 | 105,1 | 104,8 | 104,2 | 104,2 | 104,2 | 105,4 |
| 3700 | 103,2 | 105,2 | 102,7 | 103,3 | 103,3 | 103,5 |
| 3217 | 98,9 | 103,0 | 101,5 | 101,2 | 101,2 | 99,6 |
| 2846 | 96,2 | 96,3 | 100,2 | 100,0 | 100,4 | 96,5 |

Tabela 27. Médias dos valores de nível de ruído (dBA) do DPM-2 em cinco rotações, três ângulos oblíquos das facas (-10°, 0° e 10°) e dois ângulos do gume das facas (30° e 38°), sendo manuseado sem alimentação de capim-elefante.

| Rotação (rpm) | -10° | | 0° | | 10° | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30° | 38° | 30° | 38° | 30° | 38° |
| 4810 | 111,3 | 112,4 | 111,5 | 112,3 | 113,0 | 107,4 |
| 4255 | 105,6 | 105,6 | 105,3 | 106,2 | 112,4 | 102,3 |
| 3700 | 103,4 | 104,5 | 102,7 | 104,4 | 109,2 | 101,4 |
| 3217 | 103,6 | 101,3 | 98,3 | 100,3 | 95,2 | 100,2 |
| 2846 | 96,7 | 95,6 | 96,5 | 96,4 | 93,4 | 93,4 |

Pode-se perceber que mesmo sendo manuseadas sem alimentação de capim-elefante, as máquinas produzem elevados níveis de ruído. Todos os valores estão acima de 85 dB(A) para uma exposição diária de 8 horas de acordo com a NR-15.

Algumas medidas podem ser tomadas com o intuito de diminuir o efeito do nível de ruído que chega ao homem e/ou trabalhador, como:

- Instalação de absorvedores acústicos nas casas de máquinas, diminuindo a propagação acústica do barulho gerado para as residências;
- Enclausuramento da máquina produtora de ruído;
- Fornecimento de equipamento de proteção individual (EPI) (protetor auricular);
- Revezamento de operadores da máquina;
- Afastamento do grupo de máquinas ruidosas do resto da fábrica, domicílio ou sede da propriedade, reduzindo o número de pessoas expostas ao ruído;
- Instalação de blocos silenciadores embaixo da máquina para impedir a transmissão das vibrações ao chão;
- Lubrificação dos mancais de rolamento periodicamente, apertando todos as porcas e parafusos periodicamente.

CONCLUSÕES

Pelos resultados apresentados e nas condições em que se desenvolveu este trabalho, conclui-se que:

- O DPM-1 apresentou média de 114 dB(A), o que representa 7 minutos de exposição diária máxima do operador sem o uso de protetores auriculares de acordo com a NR-15;
- Os níveis de ruído do DPM-2 aumentaram com o incremento da rotação; apresentando valores críticos de 7 e 8 minutos de exposição diária máxima;
- Mesmo sendo operadas sem taxa de alimentação, as máquinas produziram elevado nível de ruído, sendo estes bem acima de 85 dB(A) para uma exposição diária de 8 horas de acordo com a NR-15;
- O uso de protetores auriculares se torna indispensável no processamento de forragem.

LITERATURA CITADA

ABEL - ACÚSTICA BRASILEIRA ENGENHARIA LTDA. 2004. Disponível em: <http://www.abel-acustica.com.br/Acustica/Apartamento1.htm>. Acesso em: 10 dez. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9999:** Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação de Tratores e Máquinas Agrícolas. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10400:** Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho. Rio de Janeiro, 1988.

BRITO, V. P. S. **Incidência de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores de uma fábrica.** 1999. 37 f. Monografia (Especialização em Audiologia Clínica) - Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – Audiologia Clínica, Goiânia, GO, 1999.

DEFENDA-SE. 2004. **Jornal da Tarde.** Disponível em: <http://www.defenda-se.inf.br/cgi-jt/diversos/defenda.pl?acao=show&linha=1860&nome=nome&nivel=1-10>. Acesso em: 10 dez. 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA.
Capim-elefante. Curso de Pecuária Leiteira. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1993.,
Documentos, n.43, 2ªed. 34p.

GERGES, S. N. Y. – Documento oficial – OMS reúne especialistas para fazer um
amplo estudo sobre o ruído ocupacional. **Revista Proteção 50:** 48-9,1996.

GOLDMAN, C. F. **Análise de acidentes de trabalho ocorridos na atividade da
indústria metalúrgica e metal-mecânica no estado do Rio Grande do Sul em
1996 e 1997 - Breve interligação sobre o trabalho do soldador.** 2002. 133f.
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2002.

HILLESHEIM, A. Manejo do capim-elefante: corte. In: SIMPÓSIO SOBRE
MANEJO DE PASTAGEM, 10., 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ,
1992. p. 117-141.

MARTINS, C. E.; CÓSER, A. C.; FILHO, A. B. C. Manejo de uma capineira de
capim-elefante. **Sociedade Nacional de Agricultura**, n. 629, junho. 1999.
Disponível em: <http://biblioteca.sna.agr.br/artigos/artitec-capineira.htm> Acesso em:
15 de jul. 2005.

NORMA REGULAMENTADORA. **NR-15:** Atividades e Operações Insalubres.
Disponível em: <http://www.sobes.org.br/nr15.htm>. Acesso em: 21 de dez. 2005.

PEREIRA, A. V.; FERREIRA, R. P.; PASSOS, L. P.; FREITAS, V. P.;
VERNEQUE, R. S.; BARRA, R. B.; SILVA, C. H. P. Variação da qualidade de
folhas em cultivares de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*) e híbridos de capim-
elefante x milheto (*P. purpureum* x *P. glaucum*), em função da idade da planta.
Ciênc. Agrotec., Lavras, MG, v. 24, n. 2, p. 490-499, abr./jun. 2000.

RODRIGUES, D. E. **Avaliação do desempenho de cinco marcas de
Desintegrador/Picador/moedor (DPM) na moagem de milho.** 2000. 51f.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa,
Viçosa, MG, 2000.

SILVA, S. C.; FARIA, V. P.; CORSI, M. Sistema intensivo de produção de leite em
pastagens de capim-elefante do Departamento de Zootecnia da ESALQ. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE GADO LEITEIRO, número., 1996, Piracicaba.
Anais... Piracicaba: FEALQ, 1996. p 97-122.

SILVA, D. F.; SOUZA, C. M.; OLIVEIRA, A. D. **Máquinas para corte de
forragem.** Viçosa. 2003. Disponível em:
<http://www.ufv.br/poscolheita/colheita/forragens>. Acesso em: 15 dez. 2003.

SOUZA, L. H.; DIAS, G. P.; SOUZA, L. C.; DIAS, I. G. Avaliação do nível de ruído emitido por um Desintegrador/Picador/Moedor (DPM-1) no processamento do milho. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.12, n.2, p. 118-123, abr./jun. 2004.

VENTUROLI, F.; FIEDLER, N. C.; MINETTI, L. J.; MARTINS, I. S. Avaliação do nível de ruído em marcenarias no Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.3, p. 547-551, set./dez. 2003.

VITÓRIA, E. L. **Avaliação do nível de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas**. 2000. 76f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios de Equipamentos Eletorrurais do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, instituição conveniada com a CEMIG e parceira no empreendimento, e nas dependências do CENTRO TECNOLÓGICO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL DE VIÇOSA (CENTEV).

O objetivo foi avaliar a demanda energética e os níveis de ruído em picadoras de forragem denominadas Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) no processamento de capim-elefante.

Para condução dos testes, três máquinas novas, denominadas Desintegrador/Picador/Moedor (DPM) foram adquiridas no mercado.

Na avaliação da capacidade de produção e demanda energética (potência e consumo específico), os tratamentos foram constituídos pela combinação de três picadoras (DPM-1, DPM-2 e DPM-4), cada uma operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. Para auxiliar a avaliação da demanda energética, foram feitas análises de eficiência de trabalho útil das máquinas, bem como análise econômica dos custos com mão-de-obra e consumo específico de energia. Já na avaliação dos níveis de ruído, os tratamentos foram constituídos pela combinação de duas delas (DPM-1 e DPM-2), cada uma também operando em cinco diferentes rotações, três ângulos oblíquos das facas e dois ângulos do gume das facas. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado com duas repetições e os resultados avaliados por meio da análise de regressão. Para facilitar a discussão e interpretação dos resultados, foram feitos cortes nas superfícies de resposta ajustadas.

A demanda de Potência foi avaliada mensurando-se o torque e a rotação (velocidade angular) de operação das máquinas. O torque foi medido com o auxílio de um torquímetro da marca ÔMEGA ENGINEERING, INC, modelo TQ 501-2k,

giro máximo de 6000 rpm, com capacidade de até 226 mN com um erro de $\pm 0,18\%$ de fundo de escala e taxa de saída de 2mV V^{-1} nominal de alimentação. O torquímetro permite uma carga até 150% superior à capacidade nominal sem danificar o aparelho. A rotação foi medida com o auxílio de um sensor magnético, construído no LABORATÓRIO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS/DEA/UFV, com resolução de uma revolução, posicionado no eixo do torquímetro.

Utilizou-se um sistema de aquisição de dados da HBM modelo "Spider 8". Este utiliza o programa "Catman v. 1.2", para seu controle, o qual possibilitava a visualização gráfica instantânea dos dados e o armazenamento deste em mídia eletrônica. O sistema de aquisição enviava os dados a um microcomputador para a visualização gráfica instantânea dos dados.

No caso dos níveis de ruído, foram determinados com um decibelímetro da marca MINIPA, nos circuitos de resposta lenta (slow) e de equalização "A", utilizando-se a escala de medida decibel dB(A).

A determinação dos níveis de ruído foi baseada na NBR-9999, que é uma norma específica para medida de ruído em tratores e seus efeitos sobre o tratorista. De acordo com esta norma, o decibelímetro foi posicionado próximo ao ouvido do operador da máquina.

A partir dos valores de ruído, foram analisados os tempos máximos que o operador poderia ficar exposto a aquele nível, sem proteção auricular. Os valores foram confrontados com aqueles anexos à Portaria nº 3.214/78 da NR-15-CLT. Para os valores encontrados de nível de ruído intermediário, foi considerada a máxima exposição permissível relativa ao nível imediatamente mais elevado.

Para cada repetição foram feitas 5 leituras em períodos de 5 segundos. Caso a dispersão das leituras excedesse 3 dB(A), outra medição seria realizada até que as leituras se limitassem a uma dispersão nesta faixa. As médias dessas leituras foram consideradas como resultado.

Assim sendo, nas condições em que este trabalho foi desenvolvido, pôde-se concluir que:

- As maiores capacidades de produção e menores consumos específicos foram proporcionados pelas facas de 10° de ângulo oblíquo para todos os DPMs e 38° de ângulo do gume para os DPMs 1 e 2, e 30° para o DPM-4;

- O ângulo oblíquo de 10° propiciou aos 3 DPMs maior eficiência, ou seja, mesmo demandando maior potência, proporcionou maior capacidade de produção e menor demanda energética;
- Os ângulos do gume utilizados serviram para concluir que esta variável influencia diretamente na demanda energética das máquinas que envolvem corte de material vegetal, porém, necessita-se de uma maior variação deste parâmetro para se avaliar até quando este poderá ser utilizado como referência, pois os valores variaram de máquina para máquina;
- Apesar das maiores rotações propiciarem maior capacidade de produção e menor tempo de processamento, é possível baixar o custo de produção quando se trabalha em menores rotações, devido ao valor do consumo específico ser reduzido;
- Embora o DPM-4 tenha apresentado maior capacidade de produção, menor consumo específico e conseqüentemente menor custo de produção, vale ressaltar que esta máquina apresenta maior preço de aquisição do que os outros dois modelos e maior dificuldade de alimentação, obrigando o produtor a contratar mais uma pessoa para executar este processo com o intuito de que a máquina possa trabalhar com fluxo constante e desta forma não haver queda da demanda energética;
- Quanto aos custos totais de produção, um produtor que possui em sua propriedade um DPM-1, ao adquirir um DPM-2, levaria 4,8 anos para repor apenas a diferença de preço de aquisição entre as duas máquinas trabalhando 150 dias por ano. Caso este produtor adquirisse um DPM-4, este tempo de reposição aumentaria para 7 anos. Já o produtor que possui um DPM-2, ao adquirir um DPM-4, levaria 18 anos para repor a diferença de preço de aquisição, não justificando, desta forma, o uso do DPM-4;
- A redução do consumo específico do DPM-1, no período de 150 dias, com as modificações nas facas e rotação, permitiria a 4,48 cidades do porte de Viçosa serem atendidas no período de 31 dias, e/ou uma cidade do mesmo porte por 31 dias, apenas diminuindo-se a rotação indicada pelo fabricante para 3154 rpm, sem alterar as características da máquina.

- O DPM-1 apresentou média de 114 dB(A), o que representa 7 minutos de exposição diária máxima do operador sem o uso de protetores auriculares de acordo com a NR-15;
- Os níveis de ruído do DPM-2 aumentaram com o incremento da rotação; apresentando valores críticos de 7 e 8 minutos de exposição diária máxima;
- Mesmo sendo operadas sem taxa de alimentação, as máquinas produziram elevado nível de ruído, sendo estes bem acima de 85 dB(A) para uma exposição diária de 8 horas de acordo com a NR-15;
- O uso de protetores auriculares se torna indispensável no processamento de forragem.