



## CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**Triturador florestal: Determinação da potência de corte necessária ao raleamento da Caatinga*****Forest crusher: Determination of the cutting power required for the thinning of the Caatinga***Márcio Waltzer Timm<sup>1</sup>; Antonio Lilles Tavares Machado<sup>2</sup>; Roberto Lilles Tavares Machado<sup>2</sup>**RESUMO**

Para execução do processo de raleamento na Caatinga é muito importante a utilização de máquinas do tipo rotores trituradores acoplados em tratores de baixa potência, visando principalmente maior conforto e diminuição de tempo e mão-de-obra dos agricultores familiares na implantação de sistemas de exploração sustentáveis, chamados de sistemas agrossilvipastoris. O objetivo deste trabalho foi avaliar a mínima potência de corte em função dos parâmetros rotação e velocidade de avanço, utilizando uma metodologia de corte proposta para trituradores florestais. As espécies arbóreas utilizadas como amostras, foram colhidas da região da Caatinga do Ceará. Utilizando um delineamento estatístico inteiramente casualizado no esquema fatorial (4x5), quatro avanços (0,013 km h<sup>-1</sup>, 0,027 km h<sup>-1</sup>, 0,038 km h<sup>-1</sup> e 0,054 km h<sup>-1</sup>) e cinco rotações (447, 638, 882, 1286 e 1792 rpm), com quatro repetições, a análise de variância resultou normal segundo os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors. Realizou-se então a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para as duas rotações que consumiram menor potência. A regressão linear foi significativa para ambas rotações e foi possível estabelecer equações lineares da potência de corte em função da velocidade de avanço do mecanismo responsável pelo corte. Dentre as espécies analisadas, determinou-se que a espécie Jurema Preta- *Mimosa tenuiflora*, foi a que exigiu mais demanda de potência de corte. Para esta pôde-se determinar que a rotação de 1286 rpm, consome menor potência de corte.

**Palavras-chave:** Máquinas agrícolas; Exploração sustentável; Semiárido; Projeto de máquina.

**ABSTRACT**

In order to carry out the process of thinning in the Caatinga, it is very important to use crusher rotor type machines coupled to low power tractors, mainly aiming to increase comfort and reduce the time and labor of family farmers in the implantation of sustainable exploitation systems, called agroforestry systems. The objective of this work was to evaluate the minimum cutting power as a function of the parameters of rotation and speed of advance, using a cutting methodology proposed for forest crushers. The tree species used as samples were collected from the Caatinga region of Ceará. Using a completely randomized design in the factorial scheme (4x5), four advances (0.013 km h<sup>-1</sup>, 0.027 km h<sup>-1</sup>, 0.038 km h<sup>-1</sup> and 0.054 km h<sup>-1</sup>) and five rotations (447, 638, 882, 1286 and 1792 rpm), with four replicates, the analysis of variance was normal according to the statistical tests of Kolmogorov-Smirnov and Lilliefors with p-value  $p > 0.10$ . The regression was then performed in the analysis of variance by applying a completely randomized design for the two rotations that consumed less power. The linear regression was significant for both rotations and it was possible to establish linear equations

<sup>1</sup> IFSul - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, Pelotas/RS - Brasil.

<sup>2</sup> UFPel – Universidade Federal de Pelotas – Pelotas/RS – Brasil.

of shear power as a function of the speed of the cutting mechanism. Among the species analyzed, it was determined that the species *Jurema Preta-Mimosa tenuiflora*, was the one that demanded more cutting power demand. For this it was possible to determine that the rotation of 1286 rpm consumes lower cutting power.

**Keywords:** *Agricultural machinery; Sustainable exploitation; Semiarid; Machine design.*

## 1. INTRODUÇÃO

No semiárido a agricultura familiar ainda é praticada de forma itinerante, na maioria das propriedades, utilizando o sistema tradicional de desmatamento e queimada. Na pecuária, o sobrepastejo também ocorre na maioria dos sistemas, alterando a estrutura do estrato herbáceo podendo causar a exaustão da vegetação forrageira, levando igualmente à degradação (Pereira Filho, 2013). Os sistemas agroflorestais pecuários desenvolvidos para a Caatinga possuem as seguintes vantagens: redução na prática da agricultura tradicional de desmatamento e queimadas (Campanha, 2011).

Para a execução do Sistema Agroflorestal (SAF) se faz necessário o corte de espécies vegetais, raleamento, que vem a ser uma conduta de manipulação da vegetação nativa da Caatinga utilizada para aumentar a oferta de forragem aos rebanhos mantidos nesse tipo de pasto. As vantagens deste método estão na menor necessidade de mão de obra e na possibilidade de utilização de equipamentos agrícolas que possam auxiliar o agricultor nos tratamentos culturais e no manejo animal (Cavalcante, 2013).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 7190 (1997), avalia as propriedades das madeiras através de ensaios estáticos, já a ASTM D1666-87 (1994), refere-se ao acabamento de madeiras. Néri (1999), propõe ensaios com velocidades de corte baixas. McKenzie (1960), avalia os tipos básicos de corte na madeira, o ortogonal e o periférico, definindo três tipos de corte 90 – 0, 90 – 90 e 0 – 90. Entretanto não existe uma metodologia apropriada para avaliar a potência de corte em função da rotação e velocidade de corte.

Este trabalho visa avaliar a mínima potência de corte em função dos parâmetros rotação e velocidade de avanço, utilizando uma metodologia de corte proposta por Machado et al (2016), que servirá de parâmetro para projetos de máquinas para raleamento, que se enquadre aos tratores que podem ser adquiridos em programas de financiamento do Governo Federal, possibilitando aos agricultores familiares uma alternativa de trabalho menos oneroso, mais ágil e com adequado controle da prática utilizada, diminuindo assim os riscos de danos ao agroecossistema.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a definição de qual espécie vegetal consome maior potência do triturador, realizaram-se ensaios em cinco espécies de madeira oriundas da região da caatinga da cidade de Sobral, estado do Ceará (Figura 1). As coordenadas geográficas locais de referência são de 03° 41' 10" S de latitude, 40° 20' 59" W de longitude e 69 m de altitude.



**Figura 1.** Madeiras utilizadas para o ensaio. Mufumbo- *Campomanesia lineatifolia* (A), Jurema Preta- *Mimosa tenuiflora* (B), Marmeleiro- *Croton sonderianus* (C), Pau preto- *Dalbergia melanoxylon* (D) e Sabiá- *Mimosa caesalpiniaefolia* (E)

Para o ensaio destas espécies, utilizou-se a metodologia de ensaio proposta por (Machado et al. 2016), onde utilizou-se uma Fresadora Vertical TOS-FA, com medidor de potência analógico, capacidade de medição de até 7 kW e uma filmadora Sony HDR-XR260V para registrar a potência indicada no medidor da fresadora.

Para simular o ângulo de ataque e o diâmetro de corte, utilizou-se um porta-ferramenta, conforme estabelecido em Machado et al (2016) e uma ferramenta de aço rápido com 10% de cobalto apresentando ângulo de ataque de 30°. O porta-ferramenta foi construído de maneira a permitir o posicionamento da ferramenta para simular o diâmetro de corte dos equipamentos que são fixados em rotores trituradores comerciais. (DENIS CIMAF, 1991).

Foram confeccionados corpos de prova de tamanhos variados devido as dimensões das amostras, que foram cortadas na direção 90-0 (Néri, 2003), ou seja, no sentido das fibras. Foram executadas marcações, com 110 mm de comprimento e 8 mm de profundidade de corte a fim de permitir a realização do máximo de ensaios possíveis em cada amostra, buscando-se seu melhor aproveitamento.

Para a realização do ensaio, optou-se por utilizar uma ferramenta de aço rápido com 10% de cobalto, comumente empregada na usinagem de aços, com um ângulo de ataque de 30° que segundo NERI (1998) e Machado et al (2016) é a configuração que consome menor potência durante o corte.

As rotações utilizadas foram de: 447, 638, 882, 1286 e 1792 rpm. Já as velocidades lineares de avanço disponíveis para a mesa da fresadora, onde foram fixados os corpos de prova, foram: 224, 450, 630 e 900 mm min<sup>-1</sup> (0,013 km h<sup>-1</sup>, 0,027 km h<sup>-1</sup>, 0,038 km h<sup>-1</sup> e 0,054 km h<sup>-1</sup>), a fim de simular a velocidade de trabalho da máquina em direção à árvore. A potência necessária ao corte do corpo de prova foi lida no medidor acoplado a fresadora. Para cada rotação mediu-se a potência da máquina em vazio, ou seja, sem a máquina usinar (somente girando), e para a mesma rotação fez-se a leitura da potência de corte da máquina usinando a madeira. Foram efetuadas quatro repetições para cada

ensaio. Este procedimento foi executado para uma dada rotação variando-se o avanço. Posteriormente mudou-se a rotação e mediram-se as potências para toda faixa de avanço novamente. O processo foi repetido até a última rotação de 1792 rpm para um ângulo de ataque de 30°.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para cada espécie de madeira analisada, foram medidas a potência em vazio (máquina sem executar a operação de corte), a máxima potência de corte em usinagem e a diferença entre elas. Verificou-se que a espécie Jurema Preta (*Mimosa tenuiflora*) (Figura 2) consumiu mais potência em relação às outras espécies, a qual foi utilizada no experimento.

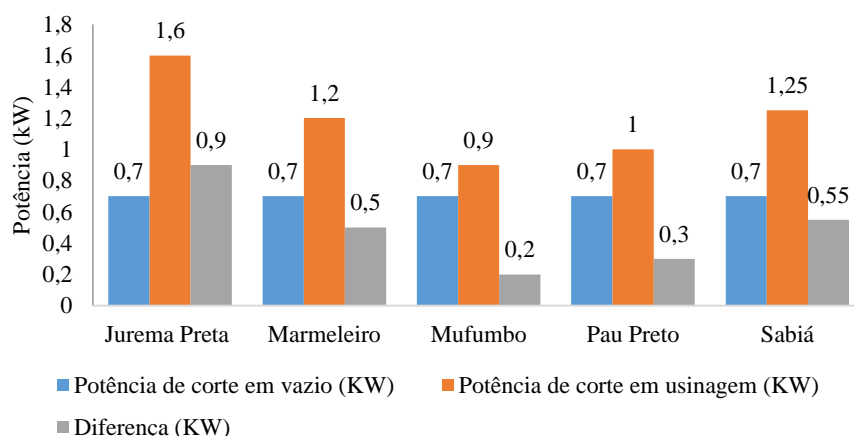


Figura 2. Valores da potência em vazio, máxima potência de usinagem e a diferença

Desta forma estabeleceu-se a relação entre potência x rotação x avanço para tal espécie, tendo-se obtido os dados representados na Figura 3. Para cada rotação e cada avanço selecionou-se a potência máxima entre quatro repetições.

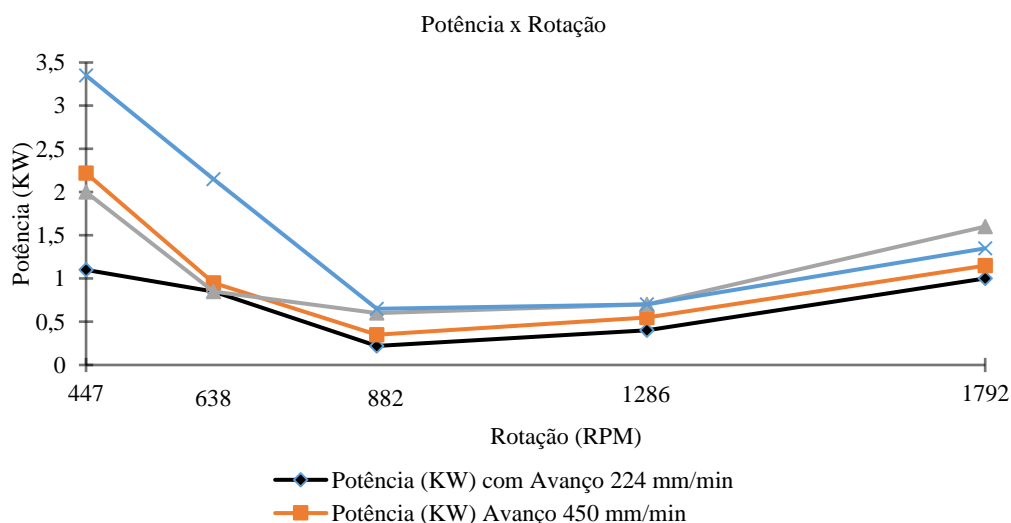


Figura 3. Potência de corte máxima em função da rotação

Observa-se, na rotação de 447 rpm, a tendência de que quanto maior a velocidade de avanço maior vem a ser a potência exigida, essa tendência se mantém com a rotação de 638 rpm, mas com redução de potência em todos os avanços, já na rotação seguinte de 882 rpm acontece novamente queda na

potência. Entre as rotações de 882 e 1286 rpm as potências máximas para cada avanço possuem seus menores valores. A partir de 1286 rpm inicia-se a tendência de aumento de potência em relação as rotações seguintes. Com estes resultados, conclui-se que existe uma velocidade de corte ideal que está entre 882 e 1286 rpm, ou seja, velocidades abaixo e acima desta faixa não devem ser utilizadas, pois demandam muita potência de corte.

Foi realizada a análise de variância, num modelo estatístico fatorial (4x5) quatro avanços e cinco rotações, com 5% de significância, para a potência consumida, a qual resultou normal segundo os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Lilliefors com o p-valor  $p > 0.10$ .

Realizou-se então a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para a rotação de 882 rpm, onde a regressão linear foi significativa ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 1).

**Tabela 1.** Quadro de análise da regressão na análise de variância para a rotação de 882 rpm.

| Regressão na análise de variância – delineamento inteiramente casualizado |    |         |         |               |
|---|----|---------|---------|---------------|
| FV  | GL | SQ      | QM      | F             |
| Regressão Linear  | 1  | 0,53301 | 0,53301 | 10,6244<br>** |
| Regressão Quadrada  | 1  | 0,03901 | 0,03901 | 0,7775<br>ns  |
| Regressão Cúbica  | 1  | 0,07875 | 0,07875 | 1,5697<br>ns  |
|   |    |         |         |               |
| Tratamentos   | 3  | 0,65077 | 0,21692 | 4,3239        |
| Resíduo   | 12 | 0,60202 | 0,05017 |               |
| Total   | 15 | 1,25279 |         |               |

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

ns não significativo ( $p \geq 0,05$ )

A análise de regressão, na rotação de 882 rpm, resultou na seguinte equação:  $y = 11,35.x + 0,0798$ , onde com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,9074$

Realizou-se a regressão na análise de variância aplicando-se um delineamento inteiramente casualizado para a rotação de 1286 rpm, onde a regressão linear foi significativa ao nível de 5% (Tabela 2).

**Tabela 2.** Quadro de análise da regressão na análise de variância para a rotação de 1286 rpm.

| Regressão na análise de variância – delineamento inteiramente casualizado |    |         |         |           |
|---|----|---------|---------|-----------|
| FV  | GL | SQ      | QM      | F         |
| Regressão Linear  | 1  | 0,15753 | 0,15753 | 6,2621 *  |
| Regressão Quadrada  | 1  | 0,00391 | 0,00391 | 0,1553 ns |
| Regressão Cúbica  | 1  | 0,00903 | 0,00903 | 0,3590 ns |
| Tratamentos   | 3  | 0,17047 | 0,05682 | 2,2588    |
| Resíduo   | 12 | 0,30188 | 0,02516 |           |
| Total   | 15 | 0,47234 |         |           |

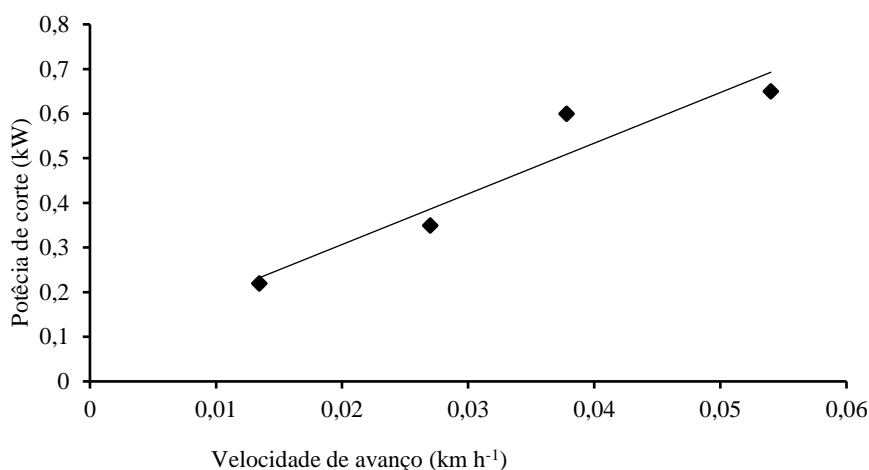
\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ )

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ )

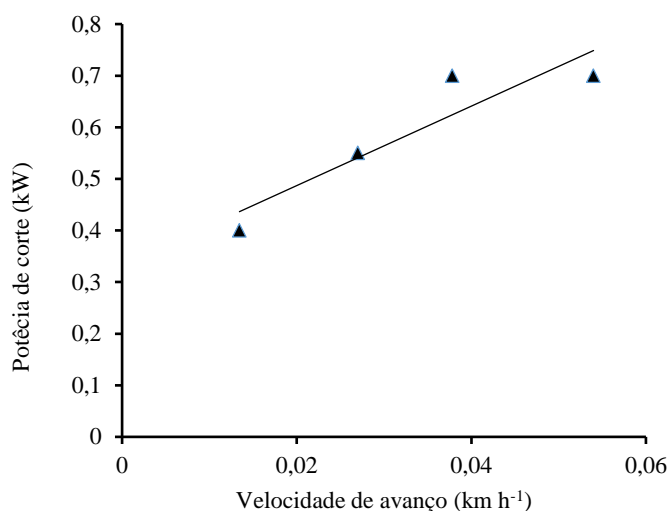
ns não significativo ( $p \geq 0,05$ )

A análise de regressão nesta rotação resultou na seguinte equação:  $y = 7,6987x + 0,333$ , com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,8455$

Com os dados da potência de corte em função da velocidade de avanço obteve-se a linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 882 rpm e 1286 rpm, Figuras 4 e 5.



**Figura 4.** Linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 882 rpm



**Figura 5.** Linha de tendência da potência de corte em função da velocidade de avanço na rotação de 1286 rpm

A velocidade de avanço média dos tratores na ré utilizados na região objeto de estudo (Caatinga cearense) é de  $1 \text{ km.h}^{-1}$ , utilizando-se esta velocidade nas equações de ajuste obtidas acima, 882 e 1286 rpm torna-se possível a determinação dos valores da potência de corte da jurema preta, os quais são respectivamente 11,43 kW e 8,03 kW. Desta forma verifica-se que a potência de corte na rotação de 1286 rpm vem a ser a menor, sendo, portanto a mais indicada para o projeto do triturador. Como a largura da ferramenta do ensaio foi de 10 mm, e sendo esta proporcional à potência de corte, torna-se possível o cálculo da máxima largura da ferramenta a ser utilizada no rotor triturador.

#### 4. CONCLUSÃO

A aplicação de uma metodologia de corte em corpos de prova colhidos na Caatinga, possibilitou determinar os parâmetros de corte de forma rápida e precisa, que servirão de base para o projeto de trituradores Florestais.

Existe uma faixa de rotação onde a potência diminui, na qual os trituradores devem trabalhar, pois com a potência menor poderá se otimizar o projeto da máquina diminuindo o peso da estrutura e, portanto, o custo de fabricação.

#### 5. REFERÊNCIAS

ASTM (american society for testing and materials, US). **Standard test methods for conducting machining tests of wood and wood-base materials**. ASTM D1666-11, 2011 23 p.

ABNT (associação brasileira de normas técnicas). **Projeto de estruturas de madeira ABNT (NBR-7190)**. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

CAMPANHA, M.M.; ARAÚJO, F. S. DE; MENEZES, M. O. T. DE; SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, H. R. DE. **Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral-CE**. Revista Caatinga, v. 24, p. 94-101, 2011.

CAVALCANTE, A.C.R; FERNADES, F. E. P., TONUCCI, R.G.; SOLVA, N. L. DA. **Tecnologias para o uso sustentável da Caatinga**. Campina Grande: EPGRAF, Cap. 6, p. 95-112, 2013.

DENIS CIMAF INC. **Desbastadores Florestais**. Canadá-1991. Disponível em <[HTTP://deniscimaf.com](http://deniscimaf.com). Acesso em: 19 Ago 2015.

NÉRI, A.C; GONÇALVEZ, R.; HERNADEZ, R.E. **Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de Eucalipto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v3, n.2, p. 239-244, 1999.

MACHADO, A.L.T.; TIMM, M. W.; MACHADO, R.L.T.; TONUCCI, R. G.; MEDEIROS F. **A..Metodologia para medição da potência necessária ao corte por um triturador florestal**. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade, Pelotas, v.1, n.2, p.11-16, 2016.

McKENZIE, W.M; **Fundamental aspects of the wood cutting process**. Forest Products Journal, v.10, n.9, p.447-456, 1960.

PEREIRA FILHO, J. M.; SILVA, A.M. DE A; CÉZAR, M. F. **Manejo da caatinga para produção de caprinos e ovinos**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, v. 14, n. 1, p. 77-90, 2013.

SOUZA, E. M. DE; SILVA, J. R. M. DA; LIMA, J. T., NAPOLI, A.; RAAD, T. J.; GONTIJO, T. G. **Energia específica de corte em serra circular para os clones de eucalyptus vm01 e Mn 463**. Revista Cerne, Lavras, v. 17, n.1, p. 109-115, 2011. WOODSON, G. E., KOCH, P. Tool forces and chip formation in orthogonal cutting of loblolly pine. Research Paper SO - 52.U.S. Department of Agriculture, Forest Service,1960.