

Desempenho de Tractores Florestais Processadores

Jair Rosas da Silva*, João Eduardo Guarnetti dos Santos** e Marcos Roberto Bórmio**

*Pesquisador

Centro APTA de Engenharia e Automação Agrícola. Instituto Agrônomo de Campinas. Caixa Postal 26, 13201-970 Jundiaí, SP. BRASIL

**Professor

Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru. Faculdade de Engenharia, Caixa Postal 473, 17.033-360, Bauru, Estado de São Paulo, BRASIL

Sumário. Foi efectuado um levantamento de tempos e movimentos verificados em operações de abate, processamento e beneficiamento de madeira em povoamentos de eucaliptos, objectivando a avaliação do desempenho de derubadores-processadores florestais, em condições de campo. A pesquisa abrangeu três situações de colheita efectuadas em operação industrial, destinadas ao abastecimento de unidades fabris de celulose e papel, compreendendo a avaliação de dois tipos de máquinas processadoras, com rodado de pneus e de esteiras, com diferentes modelos de cabeçote processador, operando com duas espécies florestais (*Eucalyptus saligna* Smith e *E. grandis* Hill ex-Maiden), em diferentes declives, produzindo dois tipos de comprimentos de toros (longos e curtos), segundo sistemas utilizados por duas empresas florestais (Votorantim Celulose e Papel e Suzano Papel e Celulose). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e pesquisa de modelos de regressão empregando o método dos polinômios ortogonais, para dados sem repetição. Os resultados demonstram que, em alguns casos, ocorreu correspondência funcional entre a produção final de madeira processada e beneficiada e o tempo efectivo de execução da operação do ciclo de colheita florestal, para ambas as processadoras e em todas as situações da pesquisa. Todas as associações funcionais foram explicadas por modelos logarítmicos.

Palavras-chave: Processamento de madeira; colheita mecanizada; produtividade

Performance Evaluation of Logging Machines

Abstract. A time-and-motion study in wood processing of the Eucalyptus harvester's operational cycle was developed. The objective was to evaluate wood harvesters working under several site conditions. The research includes two kinds of harvesters while processing wood to supply paper and cellulose factories, as follows: a machine with twin tires and other one with large tracks, both connected to a different head harvester models. The forestry species were *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, seven and eight years old, in slope terrains ranging from 0% to 10% degrees, under harvesting systems used by Votorantim and Suzano forestry companies, in São Paulo State, Brazil. Considering all field research, results disclosed that, for some conditions, both machines have shown mathematical

1º Autor E-mail: jairrosas@iac.sp.gov.br

correlation between some mechanical wood operation within the processing operational cycle and the saw logs production. All the mathematical correlations were found to express logarithmical models.

Key words: Wood processing; mechanized harvest; wood productivity

Dégagement de Tracteurs Forestières de Récolte de Bois (Harvesters)

Résumé. Ce travail rapporte une étude sur le temps et les mouvements des machines en opérations de coupe rase, et ayant comme objectif d'évaluer le dégagement de trois tracteurs forestiers dans la récolte de bois en rondis (harvesters), une opération industrielle de récolte de l'Eucalyptus, faite sur des champs présentant différentes conditions. Les Eucalyptus étaient de deux espèces: *Eucalyptus saligna* Smith et *E. grandis* Hill ex Maiden, âgés des sept et huit années. La recherche comprend deux types de moissonneuses-linge destinées à la transformation des forêts pour alimenter les usines de papier et de cellulose, c'est-à-dire: une machine avec des pneus haute flottabilité et une autre avec de larges pistes, à la fois connectées à des bouts coupants de différents modèles commerciaux. L'étude a été réalisée dans les terrains en pente allant de 0% à 10% degrés, sous les systèmes d'exploitation utilisés par les sociétés forestières Votorantim et Suzano, dans l'Etat de São Paulo, au Brésil. Considérant tout le groupe de recherches sur les machines forestières, les résultats ont montré qu'il existe, sous certaines conditions des machines, un rapport mathématique entre une opération mécanique du bois dans le cycle de transformation opérationnelle et la production totale de bois. Toutes les corrélations mathématiques ont été trouvées pour exprimer des modèles logarithmiques.

Mots clés: transformation du bois, la récolte mécanisée, la productivité

Introdução

Dentre os fatores que influem no desempenho de um processador florestal "harvester", tem-se a considerar: o operador, as características mecânicas, ergonômicas, as condições de manutenção, a idade da máquina, o estado da arte do talhão e do povoamento florestal, as propriedades físico-mecânicas dos materiais lenhosos processados, as circunstâncias do clima e do ar atmosférico, dentre outros.

Quatro modelos de "harvesters" foram avaliados no Japão por YAMADA (1995), cujas florestas se caracterizam por três aspectos principais: alta densidade de plantio, terreno acidentado e ramos de árvores rijos e finos. As máquinas ensaiadas foram: a) um processador Hitachi EX120 com cabeçote Valmet, trabalhando com fustes inteiros e um outro modelo idêntico, dotado de lança

telescópica, operando no sistema de toros curtos, ambos com 11,8 toneladas e efetuando desbaste sistemático; b) um modelo Tohr 987S, com cabeçote processador SMT, com extensão na lança, pesando 8,9 toneladas, efetuando desbaste sistemático e selectivo em terreno ondulado e acidentado; c) um Komatsu PC120, com cabeçote FMG, de 12,3 toneladas, operando em desbaste selectivo em povoamentos e ramais de colheita. As principais conclusões aludem que no desbaste operado pelo cabeçote Valmet houve redução no espaço de trabalho e as árvores remanescentes foram pouco danificadas. A colheita de fustes inteiros teve resultados. Foi observada a necessidade de operar com bastante cuidado em desbastes para evitar injúria em árvores remanescentes e, consequentemente, reduzindo a capacidade de trabalho. O "harvester" Tohr realizou desbaste com

suficiente espaço de trabalho. A máquina Komatsu não teve boa eficiência de trabalho e resultou em mais árvores danificadas, tendo operado em povoamento de segundo desbaste, com árvores de maiores volumes e dimensões. Quanto à manobrabilidade, concluiu que uma escavadora de 12 toneladas, utilizada como máquina-base, está superdimensionada para operação de desbastes, o que não ocorreu apenas com o "harvester" Tohr. Para reduzir o número de árvores remanescentes danificadas é contraindicada a adoção de desbastes no sistema de fustes inteiros. E, no primeiro desbaste, a derrubada sistemática e selectiva devem ser efectuadas simultaneamente.

SEIXAS *et al.* (1995) pesquisaram alternativas de colheita e transporte primário de madeira em desbastes de povoamentos entre 32-39 anos de idade de *Pinus taeda* e *P. caribaea* no Estado do Alabama, Estados Unidos, com o objectivo de avaliar o tipo e a quantificação de disturbância do solo. Estudaram cinco métodos de desbaste envolvendo: (a) abate, processamento com motosserra e transporte com tractor florestal autorrecarregável; (b) idem, empregando amontoamento com cavalos; (c) derrube com tractor, "feller-buncher", processamento com motosserra e extracção com "forwarder"; (d) derrubada e processamento com "harvester" projectado para desbastes, cabeçote fixo e transporte com "forwarder"; (e) idem, cabeçote móvel. Concluíram pela similaridade quanto à alteração física do solo entre os tratamentos avaliados, ressaltando que o "harvester" com rodado triciclo e cabeçote fixo produziu maior área de solo alterado.

Estudando três sistemas de desbaste

de *Pinus* na California, Estados Unidos, HARTSOUGH *et al.* (1994) concluem que a maior disturbância do solo observada no sistema de toros curtos foi causada pelo patinamento do rodado sobre as trilhas de percurso de um "harvester" em solo firme de 35% de declive. Contudo, ponderam que, na maior parte da área colhida, a cobertura de resíduos florestais cobrem as trilhas de extracção, onde não são observados sulcos produzidos pelo "harvester".

Trabalho experimental foi conduzido em unidade de produção florestal de relevo plano, no Estado de Minas Gerais, Brasil, por SANTOS e MACHADO (1995), empregando "harvester" Caterpillar 930R, dotado de grua Valmet-Implemater, com alcance de 8 m e cabeçote processador Valmet, em colheita de eitos de cinco linhas de um povoamento de *Eucalyptus sp.*, de sete anos de idade, com 25 m de altura e DAP de 18 cm. Concluiu-se que o tempo de processamento esteve correlacionado com o volume por árvore, com coeficiente de determinação R^2 igual a 0,8950. O processamento da madeira foi o elemento que mais consumiu tempo do ciclo operacional. A produtividade da processadora foi otimizada no volume por árvore de 0,34 m³, tendo sido mínimo o custo de processamento para esse volume.

HUYLER e LEDOUX (1999), trabalhando com "harvester" em desbastes selectivos e sistemáticos de diversas espécies madeireiras em Vermont, Estados Unidos, concluem que povoamentos com árvores de volumes entre 0,1982 m³ a 0,5097 m³ produzem entre 13,1391 m³ a 20,7847 m³ por hora efectiva de máquina.

Assim, esse trabalho teve o objectivo de pesquisar o desempenho de

processadores florestais, operando em condições de campo e em diversas fases do ciclo de colheita mecanizada, segundo uma metodologia de avaliação momentânea.

Material e métodos

As principais características do ensaio são resumidamente apresentadas no Quadro 1.

Processadores A e C:

A processadora florestal A, montada sobre rodado de pneus de baixa pressão e alta flutuação, tem eixos, motrizes, accionados por motor do ciclo Diesel, de seis cilindros, turboalimentado, com potência bruta de 152 kW a 1.800 rpm. Dotada de lança telescópica, com momento máximo de levantamento de 168 kN.m, alcance de 8,40 m e ângulo de giro de 195° (TIMBERJACK, 1997). O cabeçote "harvester" é composto por dois rolos de aço com prensos, de accionamento electro-hidráulico que efectua a alimentação e o transporte longitudinal de toros, possibilitando o processamento da madeira, com capacidade para processar árvores com diâmetro máximo de 0,60 m.

Processador B:

Processadora florestal com estrutura de escavadora para obras civis. Montada sobre rodado de esteiras de 71 cm de largura e garra dupla, accionada por motor turboalimentado do ciclo Diesel, de seis cilindros, com potência bruta de 100 kW a 1.800 rpm. Lança telescópica com momento máximo de levantamento de 57 kN.m e alcance de 10,5 m (CATERPILLAR, 1997). Cabeçote "harvester" de fabricação finlandesa, accionado por circuitos hidráulico e eléctrico, destinado a operações de corte, derrubada, desrama, destopo, descasamento e toragem. Não efectuava descasamento no momento do ensaio. Cabeçote projectado para colheita do género Pinus e afins, operando em fase experimental com o género Eucalyptus.

A processadora florestal A operou em povoamento constituído de clone de *Eucalyptus saligna* Smith, de sete anos de idade, sem adubação, procedendo o corte, derrubada, desrama, desponde, descasque e traçamento, para obtenção de toros de 5,60 m de comprimento, na Fazenda Ponte Alta, da Companhia Votorantim de Celulose e Papel, no município de Salto de Pirapora, Estado de São Paulo, Brasil. O declive da área oscila entre 0-4%.

Quadro 1 - Características das processadoras florestais e das condições de colheita

Máquina	Tipo do Rodado	Modelo Cabeçote	Espécie Florestal	Idade Floresta	Compr. Toros (m)	Declive (%)	Município SP	Empresa
(A)	Pneus	(D)	<i>E. saligna</i>	7 anos	5,60	00 - 04	Salto de Pirapora	Votorantim
(B)	Esteiras	(E)	<i>E. grandis</i>	8 anos	2,40	06 - 10	S. Miguel Arcanjo	Suzano
(C)	Pneus	(D)	<i>E. grandis</i>	8 anos	5,50	02 - 06	Itapeva	Votorantim

A processadora B trabalhou em exploração de primeiro corte de povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, com adubação, de oito anos de idade, com DAP médio de 18 cm, resultante de programa de melhoramento genético da Companhia Suzano de Papel e Celulose, realizando corte, derrubada, desrama, desponete e traçamento, obtendo toros de 2,40 m de comprimento, com casca, na Fazenda São Roque, município de São Miguel Arcanjo, Estado de São Paulo, Brasil. O declive da área está entre 6-10%.

A processadora C operou em povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de oito anos de idade, resultante de processo de melhoramento genético para produção de celulose. A colheita florestal consistiu de corte, derrubada, desrama, desponete, descasque e traçamento, obtendo toros de 5,50 m de comprimento médio. O ensaio foi efectuado na Fazenda Kamaracy, da Companhia Votorantim de Celulose e Papel, no município de Itapeva, Estado de São Paulo, Brasil. O declive da área está entre 2-6%.

Na determinação dos tempos e movimentos dos ciclos operacionais de colheita utilizou-se indistintamente métodos de medição de tempo individual e contínuo, nesse último caso englobando um conjunto de duas a três operações mecanizadas concomitantes do ciclo de colheita e beneficiamento de madeira. Empregou-se uma bateria de cronómetros digitais marca Timex, com aproximação de 0,01 segundos, efectuando-se registos de tempos operacionais parciais ou acumulados.

A análise de variância foi efectuada com emprego de regressão, com aplicação do teste 't' de Snedecor.

Pesquisa de modelos de regressão foi efectuada pelo método dos polinómios ortogonais, para dados sem repetição, segundo FERREIRA (1996).

Resultados e discussão

1) Processador A:

a) Corte e derrubada:

A avaliação de desempenho na execução das operações florestais mecanizadas de corte+derrubada no povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith, com emprego da máquina florestal A, demonstrou não ter ocorrido associação entre a produção de toros longos beneficiados e o tempo dispendido nessa etapa da colheita florestal. A análise de regressão efectuada entre esses parâmetros não foi significativa. Tal resultado pode ser atribuído à desuniformidade em dimensões (DAP e altura) dos indivíduos do povoamento, condição resultante de características genéticas próprias da espécie.

b) Descascamento:

Foi significativa no nível de 95% de probabilidade a análise de regressão efectuada entre o tempo empregado na operação de descascamento de árvores do povoamento de *Eucalyptus saligna* Smith e a respectiva produção de madeira processada e beneficiada, na forma de toros longos descascados de 5,60 m de comprimento médio (Figura 1).

Esse resultado indica que no ensaio efectuado com a máquina florestal A, de descascamento de árvores inteiras, despontadas e desramadas, a produção de madeira processada e descascada sob a forma de toros longos constituiu-se em uma variável matemática dependente do tempo operacional efectivo de

descascamento. Consequentemente, a operação de descasque reflecte as condições adequadas de funcionamento da processadora e ao nível de treinamento alcançado na empresa. O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,1287$), obtido na análise de regressão efectuada, indica baixa correlação entre a produção de madeira descascada e o tempo operacional efectivo. O modelo de regressão que explica essa operação florestal pode ser expresso pela equação:

$$y = 0,695749 \ln x + 1,123990 \quad (1)$$

em que:

x = tempo efectivo de descascamento de árvores de *E. saligna* Smith, em segundos;

y = produção de madeira colhida, processada e descascada, em número de toros longos.

c) Traçamento:

Ocorreu associação matemática entre os parâmetros: a) tempo de traçamento de árvores inteiras de *Eucalyptus saligna* Smith e b) o respectivo número final de toros longos processados produzidos (Figura 2).

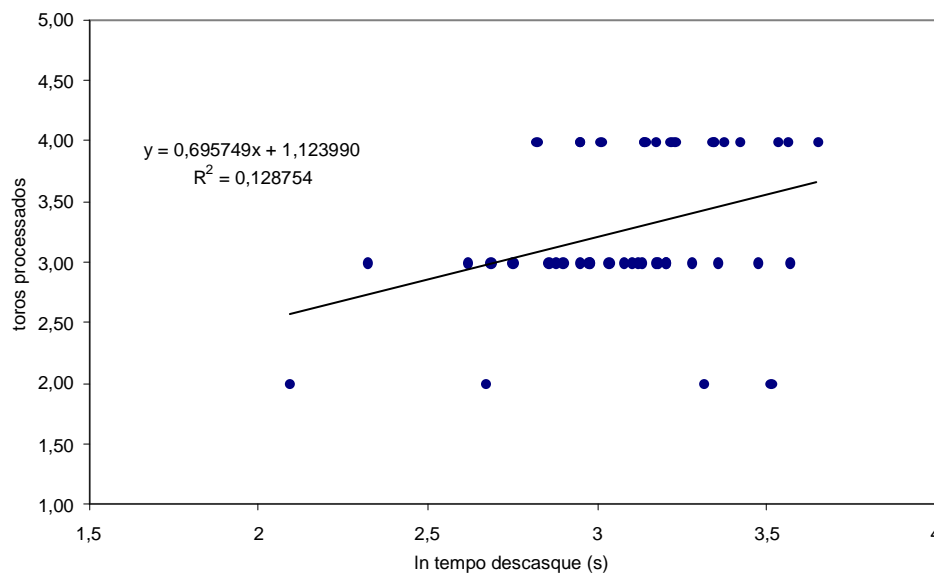


Figura 1 - Diagrama de dispersão entre ln do tempo de descascamento de árvores de eucalipto e produção de madeira beneficiada, para a processadora A.

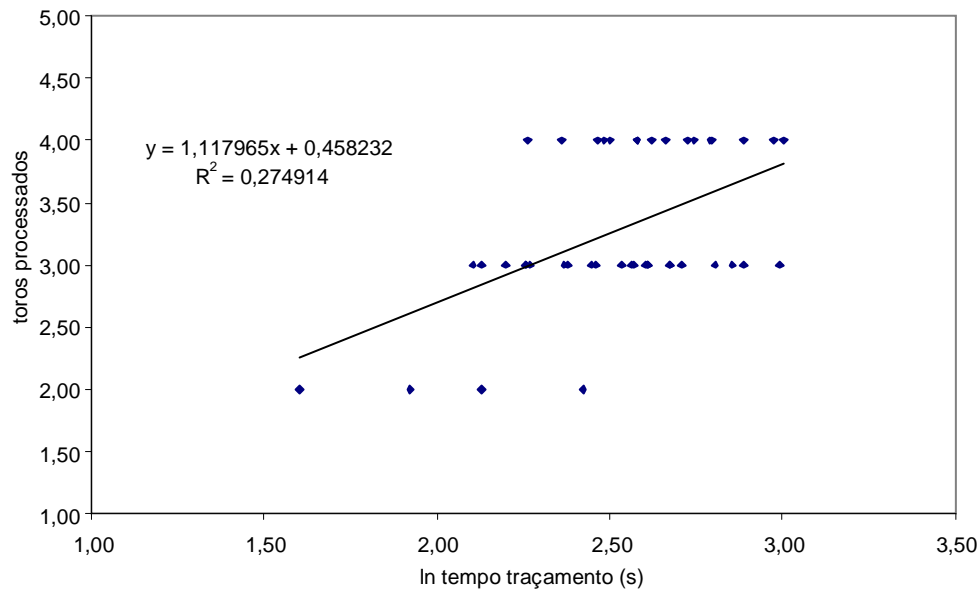


Figura 2 - Diagrama de dispersão entre ln do tempo de traçamento de árvores de eucalipto e produção de madeira em toros, com a processadora A

Embora ocorra desuniformidade dendrométrica no povoamento florestal estudado, ou seja, heterogeneidade quanto às dimensões de árvores (DAP e altura), fato atribuído a características próprias da espécie, esse aspecto certamente pouco influenciou a correspondência funcional entre tempo de toragem e madeira produzida. Esse resultado atribui-se ao ajustamento automático e ágil das garras de aço do mecanismo de accionamento hidráulico que efectua a apreensão, transporte longitudinal e toragem da espécie florestal colhida, embora considerando-se a variabilidade entre diâmetros do material processado.

O modelo de regressão que traduz a correspondência funcional, nesse caso, é uma equação logarítmica de primeiro grau, do tipo:

$$y = 1,117965 \ln x + 0,458232 \quad (2)$$

onde:

x = tempo unitário de traçamento de árvores inteiras de *E.saligna* Smith, em segundos;

y = produção de madeira processada, em número de toros longos por árvore.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,2749$) obtido na análise de regressão para o traçamento, maior que a verificada para o descascamento, indica que a processadora florestal A apresentou melhor desempenho na primeira operação mecânica que na segunda, nas condições do ensaio.

2) Processador B:

a) Corte:

Não foi significativa a regressão efectuada entre os parâmetros tempo efectivo de corte para derrubada de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de oito anos de idade e a

produção de madeira em toros de 2,40 m de comprimento processadas, no nível industrial, para abastecimento de unidade fabril. Assim, não ocorreu associação entre tais parâmetros avaliados, nas condições do ensaio. Considerando a relativa uniformidade do povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em fase de colheita e processamento pelo "harvester" B, tal resultado é atribuído à utilização do cabeçote processador modelo E (Quadro 1) em carácter experimental em floresta de eucalipto, uma vez que apresenta características básicas de projecto que o indicam para colheita do género *Pinus* e afins, como *Picea* e *Cunninghamia*, em que tem sido utilizado habitualmente.

b) Derrubada e traçamento:

Mostrou-se significativa a análise de variância com emprego de regressão entre a) tempo efectivo de derrubada+

+traçamento de árvores do povoamento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de oito anos de idade e b) produção de madeira sob a forma de toros curtos, com casca, produzidas pelo processamento com uso do "harvester" B, em condições de operação comercial (Figura 3).

Factores como homogeneidade do povoamento em diâmetro e altura, decorrente de programa de melhoramento genético adoptado pela empresa, associado ao nível de treinamento de operadores, podem justificar a interdependência funcional entre os parâmetros de produção avaliados. O emprego do cabeçote "harvester" E, utilizado em carácter experimental, efectuando corte, derrubada, desrama, desponte e toragem, indica que não influi negativamente no desempenho da máquina nessa operação.

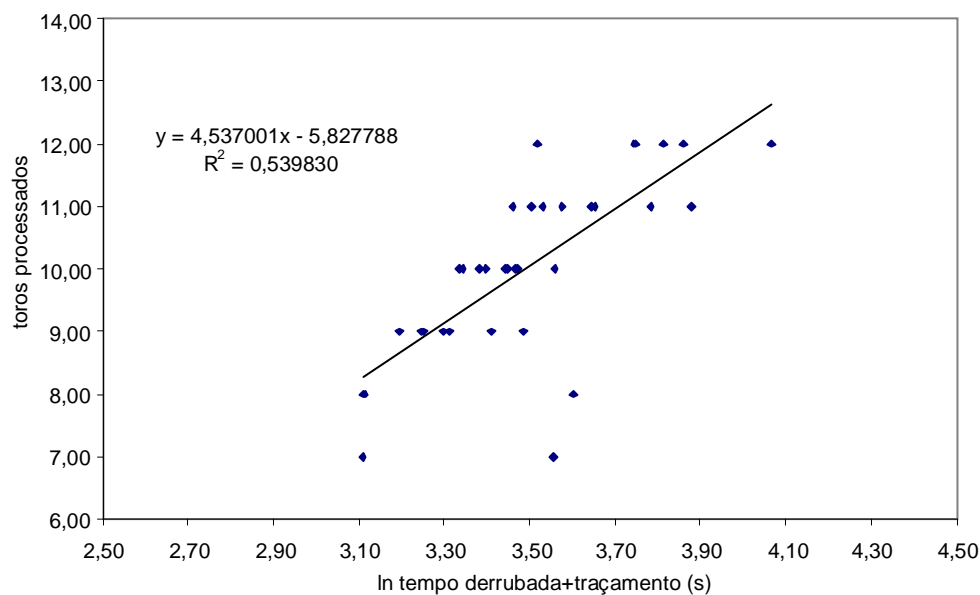


Figura 3 - Diagrama de dispersão entre o ln do tempo de derrubada e traçamento e a produção de madeira beneficiada respectiva, utilizando a processadora B

A correspondência funcional verificada entre produção de toros curtos comercialmente viáveis e tempo operacional de derrubada+traçamento pode ser expressa por modelo de regressão logarítmico, com a seguinte expressão:

$$y = 4,537001 \ln x - 5,827788 \quad (3)$$

em que:

x = tempo de derrubada+traçamento de árvores de *E.grandis* Hill ex Maiden, segundos;

y = produção de madeira, em número de toros curtos processados e com casca.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,5398$) obtido nessa análise sinaliza a correlação média verificada entre o conjunto das operações mecanizadas de derrubada e traçamento, incluindo-se a desrama e o desponte e a produção final de madeira em termos de número de

toros curtos beneficiados.

3) Processador C:

a) Corte:

Ocorreu associação entre tempo de corte de árvores de povoamento do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, de oito anos de idade, efectuado pela processadora C e a respectiva produção de toros longos no estágio final do processamento (Figura 4).

Atribui-se esse resultado à menor variabilidade dendrométrica do povoamento florestal, à topografia e ao relevo suave-ondulado da área de colheita, bem como ao estágio de treinamento do operador. O modelo que representa a correspondência funcional observada entre os parâmetros de produção pode ser expresso pela equação:

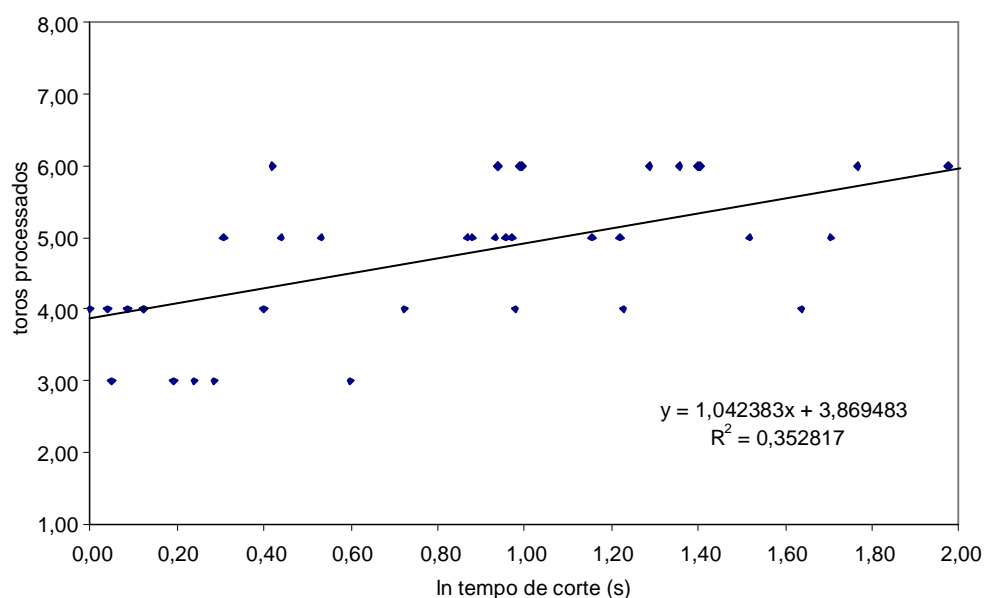


Figura 4 - Diagrama de dispersão entre ln do tempo de corte, em segundos e o número de toros processados, empregando a processadora C

$$y = 1,042383 \ln x + 3,869483 \quad (4)$$

onde:

x = tempo efectivo de corte de árvores de *E. grandis* Hill ex Maiden, segundos;

y = produção industrial de madeira, em número de toros longos beneficiados.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,3528$) indica que ocorreu baixa correlação entre os parâmetros de produção avaliados, para as condições do ensaio.

b) Derrubada, descasque e traçamento:

Não ocorreu associação entre tempo efectivo dispendido no conjunto de três operações de colheita florestal mecanizada (derrubada+descasque+traçamento), em que não foram consideradas operações secundárias intermediárias de desrama e desponte.

Tal resultado pode ser devido à metodologia utilizada, tendo sido efectuada a apropriação conjunta e de forma contínua de três operações simultâneas do ciclo de colheita florestal, em que os tempos mortos de operações secundárias possam ter ocorrido e influenciado de modo significativo o erro experimental.

Conclusão

O melhor desempenho técnico-económico nas operações mecânicas de colheita florestal de madeira é atribuído ao processador B, sobre rodado de esteiras, em que ocorreu associação funcional entre produção de toros beneficiados e tempos operacionais de execução de derrubada e traçamento, segundo uma correlação média, embora

não tenha ocorrido em operação isolada de corte de derrubada.

Um segundo patamar na classificação de desempenho operacional pode ser atribuído ao processador C, sobre rodado de pneus, que obteve uma correlação razoável na correspondência funcional na avaliação nos tempos de corte de derrubada, embora não tenha apresentado tal associação em operações conjugadas de colheita.

O processador A apresentou baixas correlações em operações isoladas de descasque e traçamento e não evidenciou correspondência funcional nas operações de corte de derrubada.

Referências

- CATERPILLAR DO BRASIL, 1997. *Escavadora de esteiras modelo 320: especificações*. Catálogo do fabricante. São Paulo, 6 pp.
- TIMBERJACK IND. E COM, 1997. *Harvester modelo 1270B: especificações*. Catálogo do fabricante. Barueri: Timberjack Ind. E Com., 2 pp.
- HARTSOUGH, B.R., MCNEEL, J.F., DURSTON, T.A., STOKES, B.J., 1994. Comparison of mechanized systems for thinning Ponderosa Pine and mixed conifer stands. In: 1994 INTERNATIONAL WINTER MEETING. Proceedings, Atlanta.
- HUYLER, N.K., LEDOUX, C.B., 1999. *Performance of a cut-to-length harvester in a single-tree and group-selection cut*. Forest Service. United States Department of Agriculture. Delaware: Northeastern Research Station. (Research Paper, 711).
- SANTOS, L.M.S., MACHADO, C.C., 1995. Análise técnico-económica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador. Viçosa: *Árvore* 19(3): 346-357.

- SEIXAS, F., STOKES, B., RUMMER, B., MC DONALD, T., 1995. Harvesting soil impacts for selected silvicultural prescriptions. In: XX IUFRO WORLD CONGRESS. Proceedings, Tampere.
- YAMADA, Y., 1995. Maneuverabilities of harvesters in japanese thinning operations. In: XX IUFRO WORLD CONGRESS. Proceedings. Tampere.
- FERREIRA, P.V., 1996. *Regressão e correlação*. In: Estatística experimental aplicada à agronomia. Maceió: Ed. Universidade Federal de Alagoas, pp. 489-530.
- Entregue para publicação em Setembro de 2009*
Aceite para publicação em Maio de 2010