

Análise técnica e econômica de dois subsistemas de colheita de madeira de toras curtas

Diego Weslly Ferreira do Nascimento Santos¹, Haroldo Carlos Fernandes¹, Domingos Sárvio Magalhães Valente¹, Elton da Silva Leite²

¹ Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. E-mail: diegoweslley89@gmail.com (ORCID: 0000-0002-2000-3343); haroldoufv@gmail.com (ORCID: 0000-0001-5276-5441); valente@ufv.br (ORCID: 0000-0001-7248-8613)

² Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mail: elton@ufrb.edu.br (ORCID: 0000-0001-5572-4346)

RESUMO: Objetivou-se com o presente trabalho realizar uma análise técnica e econômica de dois subsistemas de colheita florestal de toras curtas. O subsistema 1 era composto por *harvester* e *forwarder*, já o subsistema 2 era formado pelas máquinas *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder*. A partir da análise técnica foi determinado o rendimento das máquinas, eficiência operacional e disponibilidade mecânica. A análise econômica baseou-se na determinação do custo operacional, custo de produção e taxa interna de retorno. O subsistema 2 apresentou maior rendimento por hora efetiva de trabalho. Os valores de disponibilidade mecânica e eficiência operacional não foram afetados pela composição do subsistema, sendo os mesmos considerados satisfatórios. O subsistema 2 apresentou maiores valores de custo operacional (US\$ 254,02 he^{-1}) e custo de produção (US\$ 5,16 m^{-3}). O subsistema 1 demonstrou ser mais eficiente, tanto técnica como economicamente, na colheita de madeira. Já o módulo constituído por *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder* apresentou alto rendimento, custo de produção competitivo e alta taxa interna de retorno. Índices que o indicam como alternativa a ser empregada no sistema de colheita florestal de toras curtas.

Palavras-chave: custos; desempenho operacional; mecanização florestal

Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length

ABSTRACT: The objective of this study was carry out a technical and economic analysis of two subsystems of forest harvesting of cut to length. The subsystem 1 consisted of harvester and forwarder, since the subsystem 2 was formed by the machines feller-buncher, harvester and forwarder. From the technical analysis it was determined the performance of the machinery, operational efficiency and mechanical availability. The economic analysis was based on the determination of the operating cost, production cost and internal rate of return. The subsystem 2 has a higher yield per effective hour of work. The mechanical values availability and operational efficiency were not affected by the subsystem composition, and the same satisfactory. The subsystem 2 showed the highest values of operating cost (US\$ 254.02 he^{-1}) and production cost (US\$ 5.16 m^{-3}). The subsystem 1 proved to be more efficient, both technically and economically, in wood harvesting, but the module consists of feller-buncher, harvester and forwarder presented high performance, cost competitive production and high internal rate of return, indices that indicate the same as an alternative to be used in forest harvesting cut to length system.

Key words: costs; operational performance; forest mechanization

Introdução

A colheita de madeira é um conjunto de operações, que tem objetivo de cortar e transportar a madeira até as margens das estradas ou pátio intermediário, sendo a operação final do ciclo de produção florestal. É uma operação bastante complexa, devido à influência de fatores técnicos, ambientais, ergonômicos e econômicos (Machado & Lopes, 2014). A qual pode ser executada em diversos tipos de sistemas de colheita e de máquinas.

O sistema toras curtas (*cut to length*) é um dos mais utilizados no Brasil, sendo *harvester* e *forwarder* as máquinas mais empregadas. Apesar da evolução da colheita florestal, ainda há carência de dados confiáveis para a escolha do sistema e do maquinário mais adequado, tanto economicamente como tecnicamente (Nascimento et al., 2011).

Segundo a ABRAF (2013) o Brasil ocupa a quarta posição entre os países com maior custo de produção na área florestal, podendo a colheita representar até 50% do custo final da madeira posta na fábrica ou em centro consumidor (Machado & Lopes, 2000). Sendo assim, faz-se necessária uma avaliação criteriosa sobre quais máquinas devem ser utilizadas na colheita, buscando sempre as que proporcionem maior rendimento e menor custo. Segundo Burla et al., (2012), a escolha de máquinas e equipamentos a serem adotados em determinado sistema de colheita florestal constitui um dos grandes desafios para a redução dos custos finais da madeira.

A colheita mecanizada é um processo contínuo de melhorias nas condições de trabalho e redução do custo final da madeira. Sendo necessário o desenvolvimento de técnicas, que melhorem o desempenho operacional das máquinas, e pesquisas, que forneçam informações sobre novas possibilidades de subsistemas de colheita florestal. Favorecendo o desenvolvimento da competitividade e modernidade do setor.

Avaliações técnicas e econômicas de subsistemas de colheita florestal contribuem de forma significativa na construção do planejamento florestal e na determinação da viabilidade econômica da atividade. Silva et al., (2014a) constataram que a otimização das atividades que integram o custo operacional, principalmente as que mais influenciam, podem reduzir em até 7% o custo final do m³ de madeira.

Lopes et al., (2007) afirmaram que árvores com grandes diâmetros e bifurcadas demandam mais tempo para serem cortadas com *harvester* e em consequência diminuíam o rendimento e poderiam ocasionar a quebra de peças do cabeçote, principalmente do sabre. Já Simões et al., (2014) afirmam que o diâmetro das árvores não influencia no tempo de corte, quando realizado com *feller-buncher*, e dessa forma, não afeta a produtividade da máquina.

Mediante o exposto, e a necessidade de sempre estar buscando alternativas para aprimorar a colheita florestal tem-se como objetivo no presente trabalho avaliar técnica e economicamente dois subsistemas de colheita florestal de toras curtas.

Material e Métodos

Área experimental

Os dados foram coletados no município de Eunápolis – Bahia, coordenadas, latitude 16°23'34"S e longitude 39°49'3.77"W. A área era povoada com clones híbridos de *Eucalyptus grandis* X *E. urophylla*, plantadas no espaçamento de 4,0x3,0 metros. No momento do corte as árvores apresentavam volume médio individual de 0,26 m³, e tinham 6,8 anos de idade. O solo dessa área é classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, com relevo plano e altitude de 187 m. Segundo a classificação de Koppen a região apresenta clima do tipo tropical úmido (Af), temperatura média de 23 °C, e precipitação pluviométrica média anual de 1.256 mm.

Subsistemas de colheita de madeira

O trabalho foi executado em um sistema toras curtas (*cut to length*) com oito de derrubada composto por três linhas de árvores, distância máxima de extração de 330 metros, sendo as toras extraídas com 6,20 metros de comprimento. Foram avaliados dois subsistemas de colheita de madeira.

Subsistema 1: as atividades de corte de derrubada, destopamento, desgalhamento, traçamento e enleiramento eram realizadas por um *harvester*. Posteriormente era realizada a extração dos toretes por um *forwarder*. Essa máquina deslocava-se, com a caixa de carga vazia, de marcha ré, da margem da estrada até o primeiro feixe a ser carregado, após o carregamento a máquina se deslocava de marcha à frente, do interior do talhão até a margem da estrada onde era realizado o empilhamento dos toretes.

Subsistema 2: o corte e derrubada das árvores eram realizados com o *feller-buncher*, que cortava e acumulava os fustes, formando feixes de árvores que eram depositados sobre a superfície do solo. Em seguida um *harvester* realizava as atividades de destopamento, desgalhamento, descascamento, traçamento e enleiramento dos toretes. A etapa final era a extração das toras feita por um *forwarder* que realizava as mesmas operações descritas no subsistema 1.

Descrição das máquinas

Em ambos os subsistemas, adotou-se as máquinas de mesmo modelo e fabricante.

Utilizou-se o *feller-buncher* de esteiras da marca John Deere®, modelo 903K, equipado com o motor de 6 cilindros e 275 HP (224 kW) de potência nominal. O corte das árvores era realizado com o cabeçote FR22B, que tem a capacidade de cortar árvores com até 55,90 cm de diâmetro. Essa máquina possui mecanismos de nivelamento do material rodante, e dessa forma permite que a cabine se mantenha nivelada mesmo quando a esteira está inclina em 27° para frente, 14° nas laterais e 7° para trás.

O *harvester* empregado era constituído por uma escavadeira hidráulica de esteira, modelo EC 210BF prime, da marca Volvo®, motor de 6 cilindros e 148 HP (110 kW) de potência nominal. O cabeçote da máquina era da marca Ponsse®, modelo H7.

A extração da madeira foi realizada com um forwarder da marca Ponsse®, modelo *buffaloking* com motor Mercedes de 6 cilindros e 275 HP (205 kW) de potência nominal. Composto a máquina tinha a caixa de carga com capacidade para 18.000 kg de madeira, e a grua hidráulica, modelo k100+S.

Rendimento

As produtividades das máquinas foram determinadas em metros cúbicos de madeira por hora efetiva de trabalho ($m^3 \text{ he}^{-1}$), através da Eq. 1.

$$P = \frac{\text{Vol}}{T} \quad (1)$$

em que:

- P - produtividade, $m^3 \text{ he}^{-1}$;
- Vol - volume, m^3 ; e,
- T - tempo gasto na parcela, h.

Para as máquinas *feller-buncher* e *harvester* o volume, em metros cúbicos de madeira, foi obtido multiplicando-se o número de árvores da parcela pelo volume médio individual das árvores. Com relação ao *forwarder*, o volume de madeira foi obtido multiplicando-se o número de toretes presentes na pilha pelo volume médio, dos mesmos, determinado preliminarmente através de cubagem.

Foram demarcadas 14 parcelas experimentais para *harvester* e 14 para *feller-buncher*, contendo 75 árvores cada. O estudo piloto apontou a necessidade de marcação de 8 unidades experimentais para *feller-buncher* e 4 para *harvester*. Com relação ao *forwarder* foram demarcadas 50 parcelas, sendo que o estudo piloto apontou a necessidade de 22.

Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

A disponibilidade mecânica e eficiência operacional das máquinas foram calculadas conforme as Eq. 2 e 3.

$$DM = \frac{HT - \text{HPM}}{HT} 100 \quad (2)$$

em que:

- DM - grau de disponibilidade mecânica, %;
- HPM - quantidade de horas de paradas para manutenção, h; e,
- HT - quantidade de horas totais, h.

$$EO = \frac{HE}{HE + \text{HPO}} 100 \quad (3)$$

em que:

- EO - eficiência operacional, %;
- He - quantidade de horas de trabalho efetivo, h; e
- HPO - quantidade horas de paradas operacionais, h.

Custo operacional

O custo operacional foi determinado de acordo com a metodologia proposta pela *American Society of Agricultural Engineers* (ASAE, 2001) e Silva et al., (2014b), sendo expresso em dólar dos Estados Unidos por hora efetiva de trabalho. Foi considerado uma taxa de cambio de 1 US\$ = 3,68 R\$, cotado no dia 05 de abril de 2016. O custo operacional foi determinado com os dados em campo e planilhas de custos fornecidas pela empresa, sendo o mesmo obtido por meio do somatório dos custos fixos (depreciação, taxas administrativas, abrigo, juros, seguros e impostos) e variáveis (combustível, graxas e lubrificantes, óleo hidráulico, pneus e esteiras, manutenção e reparos e salários dos operadores).

Custo de produção

O custo de produção ($\text{US\$ } m^{-3}$) foi calculado conforme a Eq. 4.

$$C_p = \frac{C_o}{P} \quad (4)$$

em que:

- C_p - custo de produção, $\text{US\$ } m^{-3}$;
- C_o - custo operacional, $\text{US\$ } \text{he}^{-1}$; e,
- P - produtividade, $m^3 \text{ he}^{-1}$.

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno foi obtida a partir da Eq. 5, conforme (Silva et al., 2014b).

$$\sum_{j=0}^n R_j (1 + \text{TIR})^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1 + \text{TIR})^{-j} = 0 \quad (5)$$

em que:

- TIR - taxa interna de retorno, %;
- R_j - receitas do período de tempo j considerado;
- C_j - custos do período de tempo j considerado; e,
- n - duração do projeto em anos ou em número de períodos de tempo.

Análise estatística

Os resultados referentes às produtividades e custo de produção do *harvester* e *forwarder* em cada subsistema foram analisados considerando um delineamento inteiramente casualizado. Os dados foram processados por meio de uma análise de variância (ANOVA a 95% de probabilidade) e, quando significativos, as médias, comparadas pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade por meio do programa estatístico R.

Resultados e Discussão

Produtividade

Na Tabela 1 é mostrada a produtividade média, em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho, das máquinas

Tabela 1. Produtividade média ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$) das máquinas avaliadas.

| Subsistema | <i>Feller-buncher</i> | <i>Harvester</i> | <i>Forwarder</i> |
|------------------------------|-----------------------|------------------|------------------|
| 1 | - | 28,57 b | 37,57 a |
| 2 | 137,57 | 32,01 a | 36,28 a |
| Coefficiente de variação (%) | 8,87 | 5,48 | 11,91 |

Médias seguidas pela mesma letra, dentro da mesma coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

nos subsistemas analisados. Verifica-se que o subsistema 2 tem uma produtividade de $3,44 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$ a mais quando comparado com o subsistema 1, sendo o rendimento de ambos limitados em função da produtividade do *harvester*.

O rendimento do *harvester* no subsistema 2 é estaticamente superior ao rendimento da mesma máquina no subsistema 1, em razão da não realização do corte de derrubada das árvores. Na pesquisa desenvolvida por Leite et al., (2014) o ciclo operacional do *harvester* foi subdivido em 9 operações sendo o corte de derrubada a sexta atividade que mais contribui para aumentar o tempo do ciclo operacional.

A produtividade do *forwarder* é estaticamente semelhante nos subsistemas, ou seja, o rendimento não é afetado pelo tipo de máquina que realiza o corte. Possivelmente devido ao enleiramento ser realizado por *harvester*, em ambos os subsistemas. Tal fato indica que não houve alteração na disposição das pilhas no interior do talhão, pois segundo Oliveira et al., (2009) a dispersão das pilhas de toras no interior do talhão influencia negativamente na produtividade de *forwarders*.

O *feller-buncher* apresentou uma produtividade média de $137,57 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$. A capacidade de acúmulo do cabeçote contribui para o aumento do rendimento da máquina. Visto que quanto maior o número de árvores acumuladas por ciclo operacional menor seria o tempo gasto na parcela e em consequência maior a produtividade.

Para otimização do subsistema 1, ou seja, para que toda a madeira cortada e processada seja extraída momentaneamente é necessário a introdução de 4 *harvesters* e 3 *forwarders*. Assim, o subsistema teria uma produtividade média de $112,71 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$. Simulando a mesma situação para o subsistema 1, percebe-se que para 1 *feller-buncher* são necessários 4 *harvester* e 3 *forwarders*, obtendo um rendimento total de $108,84 \text{ m}^3 \text{he}^{-1}$. Dessa forma a análise de rendimento dos subsistemas demonstra que a introdução de mais uma máquina, no caso o *feller-buncher*, torna-se desnecessário, já que os rendimentos dos subsistemas são equivalentes.

Disponibilidade mecânica e eficiência operacional

Considerando todas as máquinas o *feller-buncher* foi a que apresentou menores valores de disponibilidade mecânica e eficiência operacional (Tabela 2).

A disponibilidade mecânica do *forwarder* não foi influenciada pela composição do subsistema. Situação

Tabela 2. Disponibilidade mecânica (DM) e eficiência operacional (EO) das máquinas avaliadas nos dois subsistemas de colheita.

| Subsistema | Máquinas | DM | EO |
|------------|-----------------------|-------|-------|
| | | (%) | |
| 1 | <i>Harvester</i> | 85,23 | 84,56 |
| | <i>Forwarder</i> | 87,70 | 89,04 |
| 2 | <i>Feller-buncher</i> | 69,81 | 79,05 |
| | <i>Harvester</i> | 86,86 | 84,78 |
| | <i>Forwarder</i> | 84,08 | 86,52 |

esperada, pois a máquina realizou as mesmas operações em ambos os subsistemas. A DM do *harvester* também não foi afetada, indicando que a execução do corte de derrubada não provoca quebras no sabre do cabeçote. Constatou-se uma baixa DM para o *feller-buncher*, em virtude da máquina apresentar problemas mecânicos durante o período da pesquisa. Conforme Fontes & Machado (2014), a manutenção preventiva, quando realizada de forma correta, evita falhas mecânicas e tende a aumentar a capacidade produtiva da máquina.

A partir dos resultados verificou-se que a eficiência operacional não foi influenciada pela constituição dos subsistemas. Indicando que a introdução ou retirada de uma das máquinas não provoca acréscimos ou decréscimos nos tempos de paradas pessoais. Os valores obtidos para EO são satisfatórios, pois conforme Machado (1989) a eficiência das máquinas de colheita de madeira não deve ser inferior a 70%. De acordo com Linhares et al., (2012) é possível aumentar a eficiência operacional das máquinas, porém é necessário conhecer os motivos que causam as perdas de tempo nas atividades.

Custo operacional

Observou-se um custo operacional de US\$ 153,11 e US\$ 253,61 he^{-1} para o subsistema 1 e 2, respectivamente. O maior custo operacional do subsistema 2, cerca de 65% superior, se deve a utilização de uma máquina a mais, o *feller-buncher* (Tabela 3).

Silva (2015) e Santos (2014) obtiveram um custo operacional de 336,11 e US\$ 455,53 he^{-1} , respectivamente, para subsistemas compostos por *harvester* e *forwarder*. Valores superiores aos determinados em ambos subsistemas da atual pesquisa. O que se justifica em virtude das diferenças técnicas das máquinas, fabricantes e empresas onde as pesquisas foram realizadas. Machado (1989), afirma que existem muitas maneiras de determinar o custo operacional de máquinas florestais, mas nenhuma delas é perfeita. Resultando em diferenças ocasionadas pela política ou contabilidade da empresa, o que de certa forma dificulta a comparação entre pesquisas.

Os dispêndios que mais contribuíram para onerar o custo operacional, em ambos os subsistemas, foram: manutenção, depreciação e combustível. O que converge com os resultados de Silva et al., (2014a), Simões & Fener (2010) e Nascimento et al., (2011) que identificam estes custos como

Tabela 3. Distribuição dos itens que compõem o custo operacional das máquinas.

| Dispêndio | Subsistema 1 | | | Subsistema 2 | |
|---|--------------|-----------|----------------|--------------|-----------|
| | Harvester | Forwarder | Feller-buncher | Harvester | Forwarder |
| Depreciação (US\$ he ⁻¹) | 9,33 | 8,03 | 23,25 | 9,28 | 8,45 |
| Juros, seguros e impostos (US\$ he ⁻¹) | 5,29 | 7,21 | 8,31 | 5,26 | 7,58 |
| Abrigo (US\$ he ⁻¹) | 0,48 | 0,65 | 0,75 | 0,47 | 0,68 |
| Taxas administrativas (US\$ he ⁻¹) | 1,27 | 1,73 | 2,00 | 1,26 | 1,82 |
| Σ Custos fixos (US\$ he ⁻¹) | 16,37 | 17,63 | 34,30 | 16,27 | 18,54 |
| Combustível (US\$ he ⁻¹) | 12,58 | 11,84 | 29,59 | 12,58 | 11,84 |
| Lubrificantes (US\$ he ⁻¹) | 3,14 | 2,60 | 6,81 | 3,14 | 2,60 |
| Óleo hidráulico (US\$ he ⁻¹) | 1,89 | 1,54 | 4,44 | 1,89 | 1,54 |
| Custo de pneus ou esteiras (US\$ he ⁻¹) | 0,96 | 1,94 | 0,92 | 0,96 | 1,94 |
| Manutenção e reparos (US\$ he ⁻¹) | 23,24 | 45,85 | 17,46 | 22,42 | 44,01 |
| Mão de obra (US\$ he ⁻¹) | 6,85 | 6,70 | 8,46 | 6,80 | 7,05 |
| Σ Custos variáveis (US\$ he ⁻¹) | 48,65 | 70,47 | 67,68 | 47,79 | 68,98 |
| Custo operacional total (US\$ he ⁻¹) | 65,01 | 88,10 | 101,98 | 64,06 | 87,52 |

mais representativos. Salientando a importância da adoção de medidas visando reduzi-los.

Dentre todas as máquinas analisadas o *feller-buncher* apresentou maior demanda energética, consumindo em média 40 litros de diesel por hora. O alto consumo deve-se a máquina ter motor de alta potência que trabalha em altas rotações.

Custo de produção

O subsistema 2 apresentou maior custo de produção, 11% a mais, em virtude de ter uma máquina a mais. Mederski (2006) verificou um custo de produção 20% a mais para um subsistema composto por motosserra, *harvester* e *forwarder* quando comparado com um subsistema formado por *harvester* e *forwarder*, o que ratifica o aumento do custo de produção quando se tem uma máquina a mais (Tabela 4).

Apesar do maior custo do subsistema 2, percebe-se que o *harvester* nesse subsistema apresenta um custo de produção inferior ao custo observado no subsistema 1, devido a maior produtividade. Quanto maior o rendimento do trator florestal menor o custo de produção, pois esse dispêndio é obtido pelo quociente entre o custo operacional e a produtividade.

Dentre todas as máquinas analisadas, verificou-se menor custo de produção para o *feller-buncher*, devido seu alto rendimento por hora efetiva de trabalho. Simões et al., (2014) determinaram um custo de produção de US\$ 0,72 m³ para um *feller-buncher* da marca Caterpillar, modelo 320 CL, valor semelhante ao da atual pesquisa e que denota o baixo custo de produção dessa máquina.

Tabela 4. Custo de produção, US\$ m⁻³, das máquinas e dos subsistemas analisados.

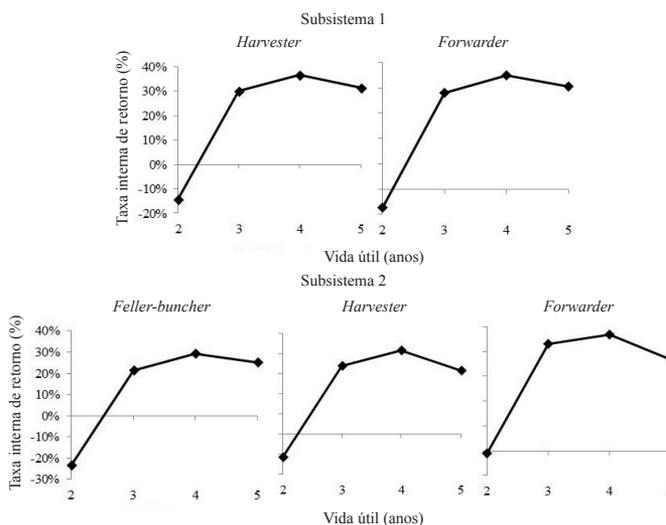
| Subsistema | Custo de produção (US\$ m ³) | | | Total |
|------------------------------|--|-----------|-----------|-------|
| | Feller-buncher | Harvester | Forwarder | |
| 1 | - | 2,27 a | 2,38 a | 4,65 |
| 2 | 0,75 | 2,00 b | 2,43 a | 5,18 |
| Coefficiente de variação (%) | | 6,04 | 11,76 | |

Médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Fernandes et al., (2009) observaram um custo de produção de US\$ 6,33 he⁻¹ para um subsistema de colheita composto por *feller-buncher*, *skidder* e garra traçadora, valor superior aos determinados nos dois subsistemas da atual pesquisa. Tal comparação mostra que o subsistema 2 é uma alternativa viável, técnica e econômica, para a colheita madeira, principalmente quando o produtor ou empresa necessitar de alto rendimento.

Taxa interna de retorno

As máquinas apresentaram TIR positivas após o segundo ano de vida útil, em razão do alto investimento inicial necessário para adquirir os tratores florestais, que em consequência reduz as receitas nos anos iniciais de operação. A TIR aumenta de forma expressiva até o quarto ano, sendo que após esse período a rentabilidade diminui, devido ao final da vida útil das máquinas que aumenta os custos variáveis, principalmente o custo com manutenção e reparos. Esse resultado confirma a afirmação de Linhares et al., (2012), pois segundo os autores o tempo de vida útil das máquinas florestais é de 25.000 horas (5 anos) (Figura 1).

**Figura 1.** Taxa interna de Retorno (TIR), em função da vida útil (anos) das máquinas em dois subsistemas de colheita de madeira.

O *harvester* no subsistema 2 apresentou a maior TIR no quarto ano de vida útil (41%), porém no subsistema 1 apresentou um valor menor (37%) em virtude da menor produtividade e maior custo de produção. As rentabilidades do *forwarder* foram semelhantes nos dois subsistemas avaliados. Constatou-se para o *feller-buncher* a maior rentabilidade no quarto ano, 29%, sendo que no quinto ano o valor decresceu para 25%.

Conclusões

O subsistema composto por *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder* apresenta maior rendimento por hora efetiva de trabalho.

A composição dos subsistemas não afeta a disponibilidade mecânica e a eficiência operacional das máquinas.

O subsistema formado por *harvester* e *forwarder* apresenta menores valores de custo operacional e de produção.

O subsistema 1 é mais eficiente, tanto técnica como economicamente, na colheita de madeira, porém o módulo constituído por *feller-buncher*, *harvester* e *forwarder* apresenta alto rendimento, custo de produção competitivo e alta taxa interna de retorno. Índices que indicam o mesmo como uma alternativa a ser empregado no sistema de colheita de madeira de toras curtas.

O *harvester* é a única máquina afetada pela composição do subsistema, apresentando maior rendimento, menor custo de produção e maior taxa interna de retorno quando alocada no subsistema 2.

Literatura Citada

American Society of Agricultural Engineers - ASAE. ASAE standards 2001: machinery, equipment and buildings: operating costs. Iowa: Ames, 2001. 226p. (ASAE D497.5).

Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF. Anuário estatístico: ano base 2012/ABRAF. Brasília, DF, 2013. 146 p.

Burla, E. R.; Fernandes, H. C.; Machado, C. C.; Leite, D. M.; Bernardes, A. M. Avaliação técnica e econômica do *harvester*, em diferentes condições operacionais. Engenharia na Agricultura, v.20, n.5, p.412-422, 2012. <https://doi.org/10.13083/1414-3984.v20n05a03>.

Fernandes, H. C.; Lopes, S. E.; Teixeira, M. M.; Minette, L. J.; Rinaldi, P. C. N.; Bernardes, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. Scientia Forestalis, v.37, n.83, p.225-232, 2009. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>>. 05 jul. 2016.

Fontes, J. M.; Machado, C. C. Manutenção mecânica. In: Machado, C. C. (Editor). Colheita florestal. 3ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p.288-334.

Leite, E. S.; Minette, L. J.; Fernandes, H. C.; Souza, A. P.; Amaral, E. J.; Lacerda, E. G. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. Revista Árvore, v. 38, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000100009>.

Linhares, M.; Sette Júnior, C. R.; Campos, F.; Yamaji, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas *harvester* e *forwarder* na colheita florestal. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.42, n.2, p.212-219, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200007>.

Lopes, E. S.; Cruziniani, E.; Dias, A. N.; Fiedler, N. C. Avaliação técnica e econômica do corte de madeira de pinus com cabeçote *harvester* em diferentes condições operacionais. Floresta, v. 37, n. 3, p.305-313, 2007. <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9926/6822>>. 12 Jun. 2016.

Machado, C. C.; Lopes, E. S. Planejamento. In: Machado, C. C. (Ed.). Colheita florestal. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 207 - 252.

Machado, C. C. Exploração florestal. Viçosa: UFV, 1989. 34p.

Machado, C. C.; Lopes, E. S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. Cerne, v. 6, n. 2, p. 124-129, 2000. <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/509>. 12 Jun. 2016.

Mederski, P. S. A comparison of harvesting productivity and costs in thinning operations with and without midfield. Forest Ecology and Management, v.224, n.3, p.286-296, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.12.042>.

Nascimento, A. C.; Leite, A. M. P.; Soares, T. S. Freitas, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com *feller-buncher*. Cerne, v.17, n.1, p.9-15, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000100002>.

Oliveira, D.; Lopes, E. S.; Fiedler, N. C. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de toras de pinus. Scientia Forestalis, v.37, n.84, p.525-533, 2009. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>>. 16 Mai. 2016.

Santos, L. N. Avaliação econômica da colheita florestal mecanizada com *harvester* e *forwarder*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2014. 107p. Dissertação Mestrado. <http://locus.ufv.br/handle/123456789/3670>. 22 Jun. 2016.

Silva, E. N.; Machado, C. C.; Fiedler, N. C.; Fernandes, H. C.; Paula, M. O.; Carmo, F. C.; Moreira, G. R. Avaliação de custos de dois modelos de *harvester* no corte de eucalipto. Ciência Florestal, v.24, n.3, p.741-748, 2014a. <https://doi.org/10.5902/1980509815733>.

Silva, M. L.; Miranda, G. M.; Cordeiro, S.A.; Leite, E. S. Custos. In: Machado, C. C. (Editor). Colheita florestal. 3 ed. Viçosa: UFV, 2014b. p. 253-287.

Silva, R. M. F. Avaliação econômica dos tratores florestais *harvester* e *forwarder*. Viçosa: UFV, 2015. 52p. Dissertação Mestrado. <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7319>. 22 Jun. 2016.

Simões, D.; Fenner, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. Floresta, v.40, n.4, p.711-720, 2010. <https://doi.org/10.5380/rf.v40i4.20323>.

Simões, D.; Fenner, P. T.; Esperancini, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. Scientia Forestalis, v.38, n.88, p.611-618, 2010. <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr88/cap07.pdf>>. 11 de Jul. 2016.

Simões, D.; Fenner, P. T.; Esperancini, M. S. T. Produtividade e custos do *feller-buncher* e processador florestal em povoamentos de eucalipto de primeiro corte. Ciência Florestal, v.24, n.3, p.621-630, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509815742>.