

RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA

**MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA
COLHEITA DE EUCALIPTO**

Botucatu
2019

RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA

**MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA
COLHEITA DE EUCALIPTO**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner

Coorientador: Prof. Dr. Danilo Simões

Botucatu
2019

M685m	Miyajima, Ricardo Hideaki Modelagem da produtividade e dos custos de máquinas na colheita de eucalipto / Ricardo Hideaki Miyajima. -- Botucatu, 2019 132 p. : tabs. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Paulo Torres Fenner Coorientador: Danilo Simões 1. Colheita de madeira. 2. Tempos e métodos. 3. Monte Carlo. 4. Planejamento operacional. 5. Floresta plantada. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: **“MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E DOS CUSTOS DE MÁQUINAS NA COLHEITA DE EUCALIPTO”**

AUTOR: RICARDO HIDEAKI MIYAJIMA
ORIENTADOR: PAULO TORRES FENNER
COORIENTADOR: DANILO SIMOES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. PAULO TORRES FENNER
Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof.^a Dr.^a GISLAINE CRISTINA BATISTELA
Engenharia de Produção / Unesp - Itapeva


Prof. Dr. ALESSANDRO ANTONANGELO
Coordenadoria de Núcleo / Unifesp - Avaré


Prof. Dr. EDUARDO DA SILVA LOPES
Ciência Florestal / Universidade Estadual do Centro Oeste

Botucatu, 25 de junho de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus por tudo.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas por meio do programa de pós-graduação em: Ciência Florestal pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo suporte financeiro.

Ao meu orientador e professor Dr. Paulo Torres Fenner pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Ao meu coorientador e professor Dr. Danilo Simões pela amizade, paciência, ensinamentos, disposição e todo o suporte.

Ao professor Dr. Dirk Jaeger pela orientação, atenção e oportunidade durante o período de estágio sanduíche em Gottingen, Alemanha.

A Georg August Universitat Gottingen, pela oportunidade de realizar o doutorado sanduíche.

À empresa Eucatex, por meio dos operadores, supervisores em especial aos amigos Gilberto Pereira e Emílio José pela ajuda, disposição e suporte.

Aos amigos e companheiros do laboratório de técnicas e operações florestais (Rodrigo Tonin, Rafaele, Lara, Jorge e Diego) pela amizade, ajuda e convivência.

Aos meus pais, Masaru e Rosa, que sempre me apoiaram, acreditaram para a realização deste trabalho. Ao meu irmão Ronaldo pela amizade e apoio. Agradeço-os por tudo.

À minha amiga Marina pela ajuda, paciência, companheirismo, carinho, confiança, amizade e respeito.

Aos meus amigos, João Arthur Antonangelo, João Victor Ribeiro da Silva de Souza, Luis Eduardo Fagian Serrano e Vitor Massami Imaizumi, pela amizade, respeito, união e convivência durante esses anos. Em especial ao Humberto de Jesus Eufrade Junior pela amizade, união, ajuda e ensinamentos.

Aos colegas de trabalho em Gottingen, Pedro Brito, Stephan Hoffmann, Ulises Flores Hernandez e René Maxeiner, pela amizade e ensinamentos.

RESUMO

A colheita mecanizada é uma das etapas de extrema importância no processo produtivo do setor florestal, sendo avaliado sob a ótica técnica-econômica. Desta maneira, torna-se imprescindível a segurança na obtenção das informações relacionadas à produtividade e os custos, sendo essenciais para a tomada de decisão dos gestores florestais. Diante deste fato, o emprego da modelagem matemática pode proporcionar a obtenção destas informações com maior precisão e confiabilidade, além de correlacionar os fatores de interesse, tais como a classe de declividade, tipo de máquina, eito de operação e o número de árvores por ciclo. O objetivo do estudo foi propor a construção de modelos matemáticos na operação de corte da madeira realizada por dois modelos de *fellers-buncher* com características técnicas distintas e na operação de extração da madeira utilizando-se um *grapple skidder*. Para o *grapple processor*, a aplicação do método de Monte Carlo na construção de um modelo estocástico para a operação do processamento das toras. Para a análise técnica, foi empregado o estudo de tempos e métodos, pelo método do tempo contínuo. A análise do custo por hora programada das máquinas florestais foram pautadas na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Por meio da aplicação da modelagem matemática constatou-se que para a operação do *feller-buncher* os fatores tempo efetivo e volume de madeira foram significativos para a produtividade, além disso, foi averiguada uma diferença entre os *fellers-buncher* em termos de produtividade e custo de operação. Para o *skidder* os fatores feixe de madeira e o volume de madeira foram significativos para a produtividade da máquina autopropelida, ademais a operação de corte influenciou na atividade de extração da madeira. Já para o *grapple processor* foi constatado que o peso e o tamanho da área útil do implemento influenciaram na produtividade e nos custos de produção para a operação do processamento de toras. Conclui-se que a aplicação da modelagem matemática e da técnica de Monte Carlo pode ser uma ferramenta interessante para proporcionar segurança na obtenção das informações técnica-econômica para os gestores florestais.

Palavras-chave: Colheita de madeira. Tempos e métodos. Monte Carlo. Planejamento operacional. Floresta plantada.

ABSTRACT

Mechanized harvesting is one of the most important steps in the productive process of forest sector, being evaluated from the technical-economic viewpoint. In this way, information related to productivity and costs are essential for the decision making of forest managers. In view of this fact, the application of mathematical modeling can provide data with greater precision and reliability, as well as correlate the fact of interest, such as slope class, machine type, operating condition and number of trees per cycle. The objective of the study was to propose the construction of mathematical models in the wood cutting operation performed by a feller buncher and in the wood extraction operation using a skidder. For the grapple processor application of the Monte Carlo method in the construction of a stochastic model for the operation of the processing of logs. For the technical analysis, study of time and methods was employed by the continuous time method. The analysis of the programmed hourly cost of forest machines was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Through the application of the mathematical modeling, it was verified that for the operation of feller buncher, the factors effective time and wood volume were significant for the productivity; in addition, a difference was verified between feller bunchers in terms of productivity and cost operation. For the grapple skidder, the wood bundles and wood volume factors were significant for the productivity of the self propelled machine, in addition the cutting operation influenced the wood extraction activity. Grapple processor, it was verified that the weight and the size of useful area of the implement influenced in the productivity and production costs for the operation of processing of logs. It is concluded that the application of mathematical modeling and Monte Carlo technique can be an interesting tool to provide security in obtaining the technical-economic information for forest managers.

KEYWORDS: Wood harvesting. Times and methods. Monte Carlo. Operational planning. Planted forest.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	PHM observada <i>versus</i> PHM estimada.....	56
Figura 1.2	CPM observado <i>versus</i> CPM estimado.....	60
Figura 2.1	PHM observada <i>versus</i> PHM estimada.....	81
Figura 2.2	CPM observado <i>versus</i> CPM estimado.....	85
Figura 3.1	<i>Spearman's</i> rank das cinco variáveis dependentes que mais influenciaram a PHM.....	102
Figura 3.2	Contribuição dos elementos de custo (US\$ h ⁻¹) para a variância do CHP.....	104
Figura 3.3	Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o <i>grapple processor 1</i>	105
Figura 3.4	Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o <i>grapple processor 2</i>	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional do corte das árvores realizada por uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i>	50
Tabela 1.2	Produtividade média por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i> e desvio padrão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$).....	53
Tabela 1.3	Custo médio de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco <i>feller-buncher</i> e desvio padrão ($\text{US\$ m}^{-3}$).....	58
Tabela 2.1	Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	76
Tabela 2.2	Produtividade por hora efetiva da máquina e desvio padrão ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	79
Tabela 2.3	Custo médio de produção e desvio padrão ($\text{US\$ m}^{-3}$) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida <i>grapple skidder</i>	83
Tabela 3.1	Parâmetros das distribuições dos <i>inputs</i> do <i>grapple processor 1</i>	99
Tabela 3.2	Parâmetros das distribuições dos <i>inputs</i> do <i>grapple processor 2</i>	100

SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL.....	20
REVISÃO DE LITERATURA.....	22
Mecanização florestal.....	22
Colheita de madeira mecanizada.....	23
Sistemas de colheita de madeira.....	25
Sistema de toras curtas. (Cut-to-length).....	26
Sistema de toras longas. (Cut-to-length).....	26
Sistemas de árvores inteiras (Full tree).....	27
Sistema de árvores completas (Whole tree).....	27
Sistema de cavaqueamento (Chipping).....	28
Feller-buncher.....	28
Skidder.....	29
Grapple processor.....	30
Estudo de tempos e métodos.....	32
Custos de produção.....	33
Análise de risco operacional-econômico.....	34
Modelagem matemática.....	35
Método de Monte Carlo.....	37
CAPÍTULO 1.....	39
MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA DERRUBADA DE EUCALIPTO DA MÁQUINA AUTOPROPELIDA COM CABEÇOTE DE CORTE DE DISCO <i>FELLER- BUNCHER</i>	
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	40
1.1 INTRODUÇÃO.....	41
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
1.2.1 Caracterização da área de estudo.....	42
1.2.2 Coleta de dados.....	43
1.2.3 Análise técnica.....	44

1.2.4	Análise econômica.....	45
1.2.5	Delineamento estatístico.....	47
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
1.3.1	Tempos dos elementos do ciclo operacional.....	48
1.3.2	Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida.....	53
1.3.3	Previsão dos custos.....	56
1.4	CONCLUSÕES.....	60
	AGRADECIMENTOS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	CAPÍTULO 2	67
	MODELAGEM DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO ARRASTE DE MADEIRA COM MÁQUINA AUTOPROPELIDA GRAPPLE SKIDDER.....	
	RESUMO.....	67
	ABSTRACT.....	68
2.1	INTRODUÇÃO.....	69
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	70
2.2.1	Área de estudo.....	70
2.2.2	Coleta de dados.....	71
2.2.3	Análise técnica.....	72
2.2.4	Análise econômica.....	72
2.2.5	Delineamento estatístico.....	74
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
2.3.1	Tempos dos elementos do ciclo operacional.....	75
2.3.2	Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida.....	78
2.3.3	Previsão dos custos.....	81
2.4	CONCLUSÕES.....	85
	AGRADECIMENTOS	85
	REFERÊNCIAS.....	86
	CAPÍTULO 3	91
	ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DE UM GRAPPLE PROCESSOR: UMA ABORDAGEM ESTOCÁSTICA.....	
	RESUMO.....	91

ABSTRACT.....	92
3.1 INTRODUÇÃO.....	93
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	94
3.2.1 Dados de campo.....	94
3.2.2 Produtividade da operação.....	95
3.2.3 Custos inerentes a operação.....	96
3.2.4 Simulando a incerteza.....	97
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	98
3.3.1 Análise dos tempos do ciclo operacional dos grapple processors.....	98
3.3.2 Análise estocástica da produtividade por hora efetiva.....	100
3.3.3 Análise estocástica dos custos da operação.....	102
3.4 CONCLUSÕES.....	106
AGRADECIMENTOS.....	107
REFERÊNCIAS.....	107
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	116
REFERÊNCIAS.....	117

INTRODUÇÃO GERAL

O setor de florestas plantadas é importante para a economia brasileira, pois contribui com a geração de empregos diretos e indiretos, arrecadação de impostos e a contribuição com o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro. Desta maneira, este setor passou por grandes evoluções e melhorias, não sendo diferente na etapa da colheita de madeira.

Na década de 90, a abertura para as importações de máquinas oriundas da Europa e da América do Norte, foi um marco importante para a colheita de madeira mecanizada. Desta forma, por meio da introdução da mecanização na colheita de madeira, com a utilização de máquinas modernas desenvolvidas para a realização de etapas de corte, extração e processamento, proporcionou um avanço significativo para esta fase do processo.

Com a introdução e utilização cada vez mais recorrente de máquinas e equipamentos florestais, estudos começaram a ser desenvolvidos, principalmente do ponto de vista técnico-econômico, com o intuito de aumentar a produtividade e a redução dos custos referentes ao processo produtivo. Pois segundo Machado et al. (2014) a etapa da colheita e transporte florestal são responsáveis por cerca de 50% ou mais dos custos inerentes ao processo de produção.

Para a colheita de madeira mecanizada diversos fatores, tais como declividade do terreno, tipo de solo, tipo de floresta, espécie, material genético, espaçamento, tratos silviculturais, tipo de máquina, experiência do operador, capital disponível entre outros, são importantes do ponto de vista da análise da produtividade e custos de produção, além de ser importante para um planejamento adequado e até mesmo para a escolha do tipo de sistema de colheita de madeira a ser empregado.

Na literatura podem ser constatadas diversas pesquisas e estudos em que as mais diversas máquinas florestais são avaliadas em termos de produtividade e custos por meio da avaliação tradicional, ou seja, de forma determinística. Neste aspecto, Machado (1989), ressalta que embora existam muitas técnicas para a estimativa de custos na colheita florestal, nenhuma delas é perfeita. Ademais, uma possível solução é a aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar variáveis que influenciam na produtividade e nos custos das máquinas empregadas na colheita de madeira.

Desta maneira, o objetivo geral foi realizar uma análise técnica e de custos de um sistema de colheita de árvores inteiras, por meio da aplicação da modelagem matemática para a operação de corte e extração da madeira para correlacionar-se os fatores mais significativos e inerentes na operação das máquinas autopropelidas com implemento florestal *feller-buncher* e *grapple skidder*, para o processamento de toras aplicou-se o método de Monte Carlo com vistas à construção de modelos para a abordagem estocástica desta atividade. Os objetivos específicos foram:

- Construção de modelos matemáticos a partir de dados experimentais da derrubada de *Eucalyptus* com duas máquinas autopropelidas com implemento florestal *feller-buncher* com diferentes características técnicas.
- Aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar variáveis que influenciam a produtividade operacional e os custos na atividade de extração da madeira com *grapple skidder* em função dos feixes de madeira, duas classes de declividade e do ramal de extração.
- Aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras de *Eucalyptus* com dois modelos de *grapple processor* que possuíam características técnicas distintas.

REVISÃO DE LITERATURA

Mecanização florestal

Uma determinada atividade no setor florestal é caracterizada como mecanizada quando realizada com máquinas motoras, por meio de mecanismos que possuem movimentos relativos ao acionamento direto ou quando utilizam equipamentos e ferramentas adaptados a uma determinada máquina (LIMA; LEITE, 2014).

A mecanização na colheita de madeira implica na utilização de máquinas com o intuito de substituir o trabalho antes realizado pela atividade humana e animal. Mas, para que o processo de mecanização ocorra é importante entender os processos, as etapas e os trabalhos envolvidos neste segmento (LINDROOS et al., 2017).

Segundo Machado et al. (2014), até a década de 40, havia uma escassez na utilização de máquinas, posteriormente, a colheita florestal tornou-se dependente da utilização das máquinas e equipamentos adaptados da área agrícola e industrial para a realização das atividades. A modernização das máquinas florestais teve início na década de 70 e 80, com a produção de máquinas leves e de porte médio, melhorando as condições ergonômicas de trabalho e maximizando a disponibilidade operacional dos equipamentos em relação as condições climáticas (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Em seguida, a década de 90 foi marcada como o auge da mecanização florestal, que ocorreu com a abertura para as importações de máquinas, principalmente originárias da Europa e dos EUA, levando a um rápido desenvolvimento no setor florestal (MOREIRA et al., 2004). Segundo Nascimento et al. (2011), a mecanização na colheita florestal caracteriza-se pelas inovações e avanços tecnológicos, no entanto, ainda carece de dados confiáveis para a escolha das máquinas e equipamentos mais adequados para cada situação. Para Fontana e Seixas (2007), essa condição deve-se ao elevado custo dessas máquinas, portanto, torna-se necessário o máximo aproveitamento de todas as suas funções.

Com a evolução da mecanização na colheita florestal, foi desencadeada a busca de melhorias para as atividades ligadas neste segmento e como consequência, o surgimento de estudos e avaliações contínuas dos rendimentos

operacionais, custos, aumento da competitividade e produtividade, preocupação com a qualidade das operações, das condições de trabalho, necessidade de manutenção mecânica e eletrônica (SILVA et al., 2007; SOUZA; PIRES, 2009).

De acordo com Machado e Lopes (2002), a mecanização das atividades de colheita florestal é realidade de um grande número de empresas, no entanto, existe uma diferença entre elas, os quais são classificados em grandes, médias e pequenas empresas. Devido à variedade de máquinas e equipamentos disponíveis no mercado, as empresas podem formar vários conjuntos de colheita, cabendo a cada uma, adotar conforme as suas peculiaridades (JACOVINE et al., 2005; NASCIMENTO et al., 2011).

Colheita de madeira mecanizada

A colheita de madeira mecanizada pode ser definida como um conjunto de operações realizadas no maciço florestal, os quais envolvem desde a preparação e a extração da madeira até o local para o transporte, mediante uso de técnicas e de padrões estabelecidos, com a finalidade de transformar essa mesma madeira em produto final (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; MACHADO et al., 2014).

As atividades da colheita de madeira podem ser divididas em duas fases: corte, que inclui a derrubada, o desgalhamento, traçamento e destopamento e, a extração, que corresponde a colocação da madeira em um local de fácil acesso (MACHADO; LOPES, 2002; MALINOVSKI et al., 2008). Logo, um bom planejamento da colheita florestal torna-se essencial para minimizar os riscos e alcançar resultados econômicos desejáveis (SIMIONI et al., 2018).

A colheita de madeira passou por uma grande mudança, evoluiu da colheita manual e semimecanizada para a mecanizada, modificando-se de forma significativa, na sua estrutura de custos e na forma de administrá-los, tornando-se um grande desafio para as mais diversas empresas do setor (SOUZA et al., 2011). Com a modernização do setor de colheita florestal, é cada vez mais intensa a utilização de máquinas pesadas e potentes (SAMPIETRO; LOPES, 2011; SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2014).

A colheita mecanizada tornou-se objeto de estudo em diversos países como Estados Unidos, Canadá e Alemanha, buscando avaliar os custos e a produtividade das operações de colheita (HIESL; BENJAMIN, 2013a). Neste contexto, uma boa

gestão pode ser alcançada com informações atualizadas sobre a produtividade e custos, pois estas são de extrema importância para planejar com precisão as atividades e, conseqüentemente, a tomada de decisões operacionais (HOLZLEITNER et al., 2011).

A colheita mecanizada representa a operação final de um ciclo de produção florestal, no qual tem-se como objetivo a obtenção da matéria prima, além disto, buscando sempre a maior rentabilidade do projeto (ARCE et al., 2004), no entanto, para que estes objetivos sejam alcançados, os diversos fatores e variáveis que afetam a produtividade e os custos operacionais devem ser levados em consideração (CANTO et al., 2006).

De acordo com Gabrielle et al. (2014) e Gonçalves et al. (2016), um dos objetivos da colheita de madeira mecanizada é a redução dos custos e o aumento da segurança do trabalho, tornando a atividade um processo contínuo de melhorias. Outros aspectos positivos que a colheita mecanizada proporciona são redução da necessidade de mão de obra, maior produtividade operacional, melhor qualidade e aumento da eficiência (PARISE, 2005).

Segundo Anerud et al. (2016) e Nuutinen et al. (2016) a colheita de madeira, além da tecnologia envolvida nas máquinas e equipamentos, também tem como objetivo processar o material em tamanhos adequados e principalmente em relação a sua qualidade. Além disto, torna-se fundamental associar práticas de manejo sustentáveis com vistas a amortizar os impactos da colheita intensiva, um fato que frequentemente é negligenciado nas diretrizes da colheita florestal (VANCE et al., 2018).

Alguns fatores devem ser levados em consideração na colheita de madeira mecanizada tais como: declividade do terreno, solo, operador da máquina, tipo de floresta, volume por árvore, espaçamento, tratamentos silviculturais, sistema de colheita, turno de trabalho, finalidade da madeira, capital disponível entre outros (LOPES et al., 2008; FERNANDES et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009; LIMA; LEITE, 2014; MACHADO et al., 2014). Para Levers et al. (2014) um dos fatores mais relevantes a ser considerado nas operações de colheita de florestal é o incremento médio anual líquido, pois a interpretação dos volumes colhidos sem considerar a produtividade da floresta pode ser enganoso, já que o mesmo volume de madeira extraído de sistemas florestais com alta ou baixa produtividade pode indicar níveis muito diferentes de intensidade da colheita florestal.

Sistemas de colheita de madeira

De acordo com Malinovski et al. (2008) o sistema de colheita de madeira é um conjunto de elementos e processos, que abrange a cadeia de produção e todas as atividades parciais, ou seja, é a ligação da matéria-prima (árvore em pé, na floresta) até a madeira posto no pátio da indústria (MAC DONAGH, 1994). O sistema de colheita florestal tem como objetivo o fluxo contínuo da matéria-prima, evitando os pontos de estrangulamento e buscando a máxima utilização das máquinas, equipamentos, ferramentas e pessoas envolvidas neste processo (MACHADO et al., 2014; PULKKI, 2016).

Para que o sistema de colheita florestal seja o mais eficiente possível, devem ser ponderados alguns aspectos como as características do povoamento florestal, arranjo espacial das árvores, tamanho e volume das árvores, finalidade da madeira, tipos de máquinas e equipamentos, distância de extração, características do terreno, experiência do operador, investimentos em ativos reais, condições ambientais, entre outros (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; AKAY et al., 2004; MALINOVSKI et al., 2008; MACHADO et al., 2014).

A desconsideração de algum destes fatores resultará em problemas operacionais e ineficiência na análise do processo de colheita florestal (CONWAY, 1977; SALMERON, 1980; MACHADO; LOPES, 2002). Desta maneira, o sistema de colheita e processamento a ser adotado, deve levar em consideração todos os fatores condicionantes, pois para cada situação, existe um método e um sistema de colheita mais adequado (SILVA et al., 2007). De acordo com Malinovski et al. (2008), dentro do sistema de colheita florestal é possível a utilização e combinação de métodos manuais e mecânicos, considerando-se a variável comprimento da madeira a ser extraída da floresta.

Ademais, no entendimento de Machado (1989), Malinovski e Malinovski (1998) e Malinovski et al. (2002) os sistemas são classificados de acordo com o comprimento da madeira e a forma como são extraídas até o local de processamento, os quais podem ser sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sistema de toras longas ou fustes (*tree-length*), sistema de árvores inteiras (*full tree*), sistema de árvores completas (*whole-tree*) e sistema de cavaqueamento (*chipping*).

Sistema de toras curtas (cut-to-length)

O sistema de toras curtas é o mais antigo utilizado no Brasil, possui como principal característica em que a realização de todas as atividades complementares ao corte, tais como o desgalhamento, destopamento, traçamento e descascamento (opcional) ocorrem no próprio local em que a árvore foi derrubada (MALINOVSKI et al., 2014).

Quando comparado com os sistemas de árvores inteiras e de toras longas, este sistema caracteriza-se devido a maior segurança, por ser ecologicamente correto e pela sua versatilidade, proporcionando um produto final com maior qualidade (KELLONG; BETTINGER, 1994; NURMINEN; KORPUNEN; UUSITALO, 2006).

De acordo com Malinovski et al. (2014), pode ser utilizado em colheitas de regeneração e operações de desbastes, pois as árvores são transformadas em toras de menor comprimento no próprio local do corte, reduzindo os danos ao povoamento e a remoção de nutrientes. Este sistema caracteriza-se devido a utilização de máquinas como *haversters*, *forwarders*, autocarregáveis e *skidders* de cabo (MALINOVSKI et al., 2014).

Sistema de toras longas ou fustes (tree-length)

No sistema de toras longas ou fustes a árvore é derrubada e desgalhada no interior do talhão, em seguida a árvore é levada para a margem do talhão ou pátio intermediário, local em que as árvores são processadas com mais de 7 m de comprimento (MALINOVSKI et al., 2014).

Este sistema foi originado nos países norte-americanos, sendo muito utilizado até o ano de 1996, considerado um dos mais baratos, devido ao menor custo por tonelada de madeira posta nos pátios das indústrias e devido a grande flexibilidade na definição das atividades para cada máquina conforme as condições de cada situação (MALINOVSKI et al., 2014).

De acordo com Malinovski et al. (2014) as principais máquinas e equipamentos utilizados neste sistema são *haversters*, *skidders* e *mini-skidders*, *slashers*, *grapple processor* e motosserras.

Sistema de árvores inteiras (full tree)

O sistema de árvores inteiras caracteriza-se pela remoção da árvore do talhão sem as raízes, em seguida em um local previamente definido é realizado o processamento da árvore (MALINOVSKI et al., 2008).

Neste sistema, a árvore é derrubada e extraída para a margem do talhão ou para um pátio intermediário em seguida é realizado o processamento da madeira (MALINOVSKI; MALINOVSKI 1998; ROBERT; ANDREATA, 2012; MACHADO et al., 2014; PULKKI 2016).

De acordo com Seixas e Oliveira Junior (2001), dois tipos de sistemas predominam no Brasil, sendo um deles o sistema de árvores inteiras (*full tree*) cujo os módulos de colheita florestal foram desenvolvidos em função do tipo de máquina e da finalidade da madeira.

Uma das características deste sistema é a necessidade de um elevado grau de mecanização, sendo utilizado em terrenos planos e acidentado. Além disso, quando o objetivo da floresta é para a produção de biomassa para a energia, este sistema é interessante, pois, utilizam-se as cascas, ramos e folhas, no entanto, a sua desvantagem esta associada com o problema da exportação de nutrientes (MALINOVSKI et al., 2002).

As principais máquinas utilizadas no sistema de árvores inteiras são o *feller-buncher* e o *skidder*. Porém, outras máquinas como *shovel loggers*, *clambunk skidder*, *stroke delimbers* e *slashers* podem ser empregadas neste sistema (MALINOVSKI et al., 2014).

Sistema de árvores completas (whole-tree)

O sistema de árvores completas caracteriza-se pela retirada da árvore juntamente com as suas raízes, uma vez que estas raízes possuam valor comercial elevado, este sistema torna-se viável economicamente. Além da questão econômica, o fator técnico deve ser levado em consideração, pois são escassas as tecnologias envolvidas para este sistema, uma vez que, a retirada da árvore com o sistema radicular é uma atividade que exige muito trabalho e grande potência dos equipamentos envolvidos (MALINOVSKI et al., 2014).

Sistema de cavaqueamento (chipping)

No sistema de cavaqueamento, as árvores são derrubadas e extraídas para a margem do talhão, neste local ocorre a atividade de processamento (desgalhamento, descascamento e transformação da madeira em cavacos) em seguida são alocadas em veículos apropriados com destino as indústrias (MALINOVSKI et al. 2014).

Feller-buncher

O *feller-buncher* com a capacidade de cortar e acumular árvores foi desenvolvido na América do Norte e é muito utilizado na Europa (SPINELLI et al., 2007; HIESL; BENJAMIN, 2013b). O surgimento do *feller-buncher* no Brasil é relatado no fim da década de 70 e baseada em modelos americanos, a empresa Olinkraft desenvolveu um equipamento de corte com lâminas em forma de tesoura, o qual efetuava o corte das árvores (SANT'ANNA, 2014).

De acordo com Silva et al. (2007), Nascimento et al. (2011) e Fernandes et al. (2011), o *feller-buncher* ou trator florestal cortador-acumulador foi desenvolvido para realizar o corte, acumular as árvores cortadas (formação de feixe de árvores) e em seguida a deposição sobre o terreno para facilitar a operação posterior (desgalhamento, traçamento ou arraste).

O *feller-buncher* é uma máquina robusta, que consiste de um trator com rodados de pneus ou de esteira, um braço hidráulico e um cabeçote. Este é uma peça de construção rígida, como em outros tratores, onde está localizado o órgão ativo de corte, podendo ser de disco dentado, ou uma tesoura de dupla ação, ou uma serra/sabre, e os braços acumuladores, todos acionados por um sistema hidráulico (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998; MACHADO; LOPES, 2002; OLIVERIA JUNIOR et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2011; LIMA; LEITE, 2014).

O *feller-buncher* corta as árvores bem próximas ao terreno e em seguida forma os feixes de madeira. Esta máquina pode direcionar com precisão a direção de queda dos feixes, próximo às árvores em pé ou alocando-as entre as linhas de plantio, além de alinhar os feixes facilitando a direção de extração (MAGAGNOTTI et al., 2012).

Algumas das variáveis em relação a produtividade do *feller-buncher* que devem ser levadas em consideração, são as diferenças nas condições do local de estudo, espécie (SPINELLI et al., 2007, BOLDING et al., 2009), além do tamanho das árvores e volume (ANDERSON; EVANS, 1996; AKAY et al., 2004; WANG et al., 2004; HIESL; BENJAMIN, 2013a; PEREIRA et al., 2015).

Existem diferenças na fabricação dos *fellers-buncher* nórdicos, os quais são projetados para operar, principalmente, em florestas de *Pinus* sp., enquanto que os *fellers-bunchers* das regiões da Europa Central e Sul, trabalham com outras espécies tais como: álamo, castanha e carvalho que, nesta situação, o *feller-buncher* deve ser mais robusto e potente (CACOT, 2004). Portanto, existem diversos fabricantes que desenvolvem *feller-buncher* para as mais diversas situações, principalmente para a Europa Central e Sul, sendo possível encontrar máquinas que estão em operação há alguns anos e máquinas recém lançadas para o setor florestal (SCHWEIER et al., 2015).

Uma das vantagens propiciada pelos *fellers-buncher* é que na etapa de rebaixamento dos tocos estes podem ser melhores, pois são mais compactos e podem se aproximar de troncos, com menos dificuldade, sobretudo, devido à disponibilidade de diversos *fellers-buncher* com dimensões inferiores quando comparados aos *harvesters*, (BJORHEDEN et al., 2003).

Skidder

O *skidder* é um trator florestal arrastador, articulado, com tipos de tração 4x4 e 6x6, o qual realiza o arraste das árvores da área de corte até a margem do talhão ou pátio intermediário (BEHJOU et al., 2008), sendo que sua cabine possui sistema condicionador de ar e a estrutura do chassi que permite grande mobilidade dentro da área de corte (SOUZA et al., 2000; LIMA; LEITE, 2014).

A operação exercida pelo *skidder* é o processo de movimentação das árvores ou das madeiras já cortadas do interior do talhão até o estaleiro na margem do talhão, onde serão processadas em toras de menores tamanhos para posteriormente serem carregadas e transportadas (JOUR GHOLAMI; MAJNOUNIAN, 2008).

Segundo Souza et al. (2000) e Seixas e Castro (2014), o sistema de rodagem do *skidder* pode ser de pneus ou esteiras, além de serem encontrados no setor

florestal *skidder* com cabo, com garra e com pinças invertidas. De acordo com Tavankar et al. (2015), os *skidders* de pneus surgiram no início da década de 70 e até nos dias atuais são muito utilizados na extração das madeiras nas florestas do norte do Irã, já os *skidders* de cabo não são utilizados em maior frequência, pois ainda não estão adequadas para as condições das florestas do Irã.

O *skidder* surgiu nas décadas de 60 e 70, sendo um veículo versátil, robusto, fácil de operar, econômico, facilidade de manutenção e eficiência, caracterizando alguns dos fatores que justificam e tornam esta máquina em uma das mais utilizadas para a realização da atividade de extração (OLIVEIRA et al., 2006; SEIXAS; CASTRO, 2014).

De acordo com Seixas (2008), ao contrário do *forwarder* que passa a maior parte do seu ciclo operacional realizando as operações de carga e descarga, o *skidder* utiliza a maior parte do seu ciclo operacional realizando as atividades viagens vazio e carregado, conseqüentemente, consumindo um menor tempo nas operações de carga e descarga.

O desempenho operacional do *skidder* é comprometido pela distância de extração, ou seja, a medida que se aumenta a distância de arraste para um mesmo volume de madeira, diminui-se o seu rendimento operacional; e pela produtividade do povoamento, isto é, pelo volume individual das árvores (TIERNAN et al., 2004; WANG et al., 2004; LI et al., 2006; BEHJOU et al., 2008; PEREIRA et al., 2015) e pelo número de árvores por ciclo (ABELI, 1992; GILANIPOOR et al., 2012). Além da distância de extração ser um fator que implica no desempenho operacional, o mesmo está relacionado com os custos da atividade de extração (MITCHELL, 2000).

Além destes fatores, a densidade de suporte, declividade, tipo de solo e volume por árvore também comprometem o desempenho do *skidder* (MOUSAVI, 2012), os quais são determinantes para a obtenção da eficiência desta máquina (BEHJOU et al., 2008).

Grapple processor

O processamento de toras de madeira nas dimensões desejadas, pode ser realizado de maneira semimecanizada ou mecanizada, sendo que as principais variáveis que afetam esta etapa do processo são o diâmetro das árvores, topografia,

disposição dos feixes de madeira, treinamento dos operadores e equipamento empregado (SALMERON, 1980).

Um dos processadores mais utilizados na colheita florestal é o *grapple processor*, que possui como máquina base uma retroescavadora, normalmente com rodados do tipo de esteiras e tem como finalidade o processamento de toras em um tamanho preestabelecido conforme a empresa e a sua finalidade (LOPES, 2007).

O *grapple processor* é uma máquina em que sua cabine possui um giro de 360 graus, que realiza a operação de forma rápida, com alta produtividade, bastante popular e que pode ser afetada, em termos de produtividade e custos, pela etapa de extração (SPINELLI et al., 2014). O *grapple processor* utilizada nos países nórdicos, além de serem eficientes para a realização do processamento de toras, mostrou ser muito eficiente para a realização do carregamento destas árvores após o processamento (MAGAGNOTTI et al., 2013).

O uso frequente do *grapple processor* deve-se, principalmente, a substituição do processamento de toras antes realizado por motosserra. A operação do *grapple processor* é realizada próxima às margens das estradas florestais, a qual consiste, em pegar em os feixes de madeira, realizar o processamento e formar as pilhas de toras para posterior carregamento (LIMA; LEITE, 2014).

Embora seja comum o *grapple processor* desempenhar estas atividades próximos às margens do talhão, esta máquina também pode ser designada para trabalhar no interior do talhão, dependendo diretamente do sistema e das máquinas empregadas na colheita florestal (LOPES et al., 2008).

O ciclo operacional do *grapple processor* pode ser definido a partir do momento em que o implemento grua é direcionado para a pilha de madeira, por conseguinte, apanha os feixes de árvores com o acionamento da garra hidráulica, sendo estes alocados nas margens dos talhões. A grua é deslocada vazia até o comprimento da tora a ser traçada, apanha-se o feixe e inicia-se o processamento com a ativação do sabre de corte, a lança é direcionada outra vez para o início da pilha de toras e o libera, e desta forma, repete-se o movimento até o término do processamento completo deste feixe (FIEDLER et al., 2008).

As principais variáveis que afetam a produtividade operacional e os custos de produção do *grapple processor* é a produtividade do povoamento florestal (TARNOWSKI et al., 1999; SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2014), o volume individual das árvores e o tempo de processamento dos feixes de madeira (FIEDLER

et al., 2008). Além do tamanho das árvores, outros fatores influenciam a atividade dos processadores, tais como o número de árvore, comprimento e volume (SPINELLI et al., 2002; NURMINEN et al., 2006).

Estudo de tempos e métodos

O estudo de tempos e métodos tem como objetivo determinar o número padrão em uma determinada unidade de tempo para que uma pessoa qualificada necessita na execução de uma tarefa específica, trabalhando de forma normal para a determinação da capacidade produtiva do processo (BARNES, 1977; MARTINS et al., 2014).

No entendimento de Slack et al. (2009) e Costa Junior (2012) é uma técnica de medida de trabalho com o intuito de registrar os tempos e o ritmo de trabalho de um operador qualificado em uma determinada tarefa, realizada sob condições específicas, e de forma a obter o tempo necessário para a realização do trabalho com um nível estabelecido de desempenho.

Wu et al. (2016) complementa que a aplicação do estudo de tempos e métodos deve-se a necessidade de controle do tempo e, por consequência, sua melhoria no aspecto da eficiência produtiva, acarretando novos desenvolvimentos na indústria. A utilização desta técnica foi considerada precursora para que os operários pudessem ter melhores condições de trabalho, eficiência nas atividades realizadas, aprimoramento das atividades e melhorias em um contexto geral ao processo produtivo (MARTINS et al., 2015).

Algumas premissas importantes devem ser levadas em consideração no estudo de tempos e métodos. Dentre estas, Jacobs e Chase (2012) salientam o emprego de cronômetros, seja no local ou analisando um vídeo, para que o trabalho avaliado seja dividido em elementos mensuráveis, sendo que cada elemento será contado individualmente. Além disso, faz-se necessária a determinação do número de ciclos operacionais a serem cronometrados, das tolerâncias e o tempo padrão (WEISE et al., 2013).

Desta maneira, a aplicabilidade do estudo de tempos e métodos na colheita florestal mecanizada é de suma importância para avaliar a produtividade operacional, a fim de contribuir no planejamento e racionamento dos sistemas de extração florestal (WESTER; ELIASSON, 2003; ADEBAYO et al., 2007; GOYCHUK

et al., 2011). Além disso, o estudo de tempos e métodos contribui na análise de uma determinada atividade, com a finalidade de criar ou alterar sistemas de colheita para aumentar a eficiência e a produtividade operacional e diminuir os custos envolvidos (VALVERDE et al., 1996; NURMINEN et al., 2006).

Custos de produção

Quanto mais intensa a concorrência que uma determinada empresa esteja submetida, mais importante será dispor de um método de custeio que lhe permita conhecer os seus custos (POMPERMAYER; LIMA, 2002). Desta maneira, a escolha da metodologia do custeio será aquela que melhor ajude a resolver o problema que se apresente em determinada situação, permitindo os gestores a optar por decisões adequadas em cada caso (MARTINS, 2010).

Os custos são gastos diretamente ligados a fabricação de produtos (VICECONTI; NEVES, 2013). Os custos relacionados a uma determinada empresa correspondem aos dispêndios com os recursos diretos e indiretos envolvidos no processo produtivo (SILVA et al., 2002). Desta maneira, torna-se imprescindível o conhecimento de todos os custos envolvidos no processo produtivo, para que desta forma, o custo final de produção seja obtido

De acordo com Graça et al. (2000), o conhecimento dos custos envolvidos em uma atividade econômica é de suma importância no processo de decisão do empresário. Não sendo diferente para um projeto florestal, em que devem ser levadas em consideração a definição da área, valor desta área, implantação, comercialização e entrega do produto final ao seu destino (SILVA, 2012).

Com a sua devida particularidade, a operação de colheita florestal é uma das mais representativas na formação do custo do produto final, devido aos aportes demandados, como investimentos em ativos reais e para a operacionalização dos modais. No entendimento de Jacovine et al. (2005) e Machado et al. (2014) a colheita florestal mecanizada é considerada uma das etapas em que os custos de produção representam aproximadamente de 50 a 70% do custo final da madeira.

Desta maneira é essencial conhecer os custos diretos e indiretos, que de acordo com Tisaka (2006), os custos diretos são todos os custos diretamente abrangidos no processo produtivo, já os custos indiretos são representados pelos

itens os quais não são facilmente mensuráveis nas unidades de medição de serviços (DIAS, 2004).

Os custos diretos são atribuídos a um produto, que podem ser facilmente identificados com o objeto de custeio, ou seja, são os custos diretamente relacionados ao produto em questão (LEONE, 2000; SOUZA; DIEHL, 2009). Já os custos indiretos não podem ser alocados de forma direta ou objetiva aos produtos, necessitando de algum método de rateio para serem distribuídos aos produtos (LEONE, 2000; BRUNI; FAMÁ, 2013).

Diante deste contexto, Silva et al. (2014a) salientam que existem diversas metodologias para o cálculo econômico-financeiro das máquinas florestais, que variam de acordo com o tipo de máquina, fabricante ou empresa, no entanto, o usual é a utilização do somatório do custo fixo e do custo variável para o cálculo de custos destas máquinas. Uma das metodologias utilizadas para o cálculo dos custos relacionados às máquinas florestais é descrita por Miyata (1980), ademais, outras são *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1992) e Ackerman et al. (2014).

Como existem diferentes metodologias empregadas para o cálculo do custo horário das máquinas utilizadas no setor florestal, os resultados obtidos são distintos entre si, isto é, existe uma variação nos valores em decorrência dos componentes de custos ponderados e dos fatores inerentes aos cálculos. Não obstante, Freitas et al. (2004) salientam a dificuldade em determinar qual é a metodologia mais eficiente para esta finalidade.

Análise de risco operacional-econômico

As incertezas geralmente estão associadas aos métodos tradicionais de avaliação econômica dos mais diversos tipos de projeto em que se baseiam na análise de dados ou indicadores determinísticos, não sendo diferente para a área florestal que estão sujeitas as inúmeras incertezas e variações do mercado (OLIVEIRA et al., 2017).

O grau de incerteza varia com o tipo de inovação, ou seja, quanto mais radical a inovação, mais arriscado é o projeto, e desta maneira surge a necessidade de um modelo estruturado para reduzir as incertezas e os riscos (ROVAL et al., 2013). Para que se possam minimizar os efeitos das incertezas, uma possível solução é por meio

de métodos de análise os quais possibilitam um conjunto de possíveis cenários e a sua probabilidade de ocorrência (GONÇALVES et al., 2017).

Segundo Bentes-Gama et al. (2005), Coelho Junior et al. (2008) e Merkova e Drábek (2015), a produção florestal não é um evento determinístico e para minimizar esse problema, utiliza-se de distribuições de probabilidade associadas aos indicadores de desempenho do projeto, sendo de extrema importância a identificação destes riscos

No entendimento de Evans e Olsson (2002) e Mendes e Souza (2007) o risco é caracterizado pela incerteza de resultados futuros. Desta maneira, os riscos podem ser considerados conforme o tempo de decorrência do projeto, tornando-se de suma importância o adequado planejamento e controle de todas as etapas na duração do projeto (CHICHORRO et al., 2014).

A análise de risco pode ser considerada uma disciplina, embora possua a característica de interdisciplinaridade (HANSSON; AVEN, 2014), devido a sua importância, a análise de risco é interligada as tomadas de decisão ou faz parte de uma análise de decisão, com aplicações principalmente em risco operacional em finanças (ZHAO; HUCHZERMEIER, 2015).

De acordo com Goerlandt et al. (2017), a análise de risco pode ser aplicada em diversas áreas, sendo encontrados vários modelos e aplicações específicas na literatura. Para Paltrinieri e Reniers (2017), um estudo de análise de risco é geralmente realizado durante a fase de projeto ou no início de um sistema a partir de um banco de dados.

A utilização e aplicação da análise de risco é cada vez mais frequente na área florestal (Castro et al., 2007; CORDEIRO; SILVA, 2010; KALLIO, 2010; DANIEL et al., 2017), sobretudo, devido aos projetos florestais demandarem investimento de médio a longo prazo, além de envolver um alto capital imobilizado no momento da implantação do projeto (SILVA et al., 2014b).

Modelagem matemática

Segundo Costa (2009) a modelagem matemática está presente na vida do ser humano desde os tempos remotos, utilizando-se desta técnica com o intuito de resolver situações problemáticas em que se deparava. Pois quando os

conhecimentos eram insuficientes, a busca por respostas, por meio da aplicação das relações matemáticas tornava-se necessário (COSTA; GHEDIN, 2007).

A modelagem pode ser definida como a representação do objeto em estudo, são partes essenciais das teorias e ou dos modelos científicos, devido a sua importância pode ser aplicada em algumas áreas como, por exemplo, na física, química, biologia, geologia entre outros (BARBOSA, 2009). Desta maneira, a modelagem matemática constitui-se na representação do mundo real por meio de uma interpretação significativa do mesmo (SCHEFFER, 1995).

No entendimento de Bassanezi (1994), a modelagem matemática é um procedimento, que visa explicar uma determinada situação ou objeto de interesse em que o ser humano está inserido para uma linguagem matemática, utilizando-se de um conjunto de símbolos e relações matemáticas com o intuito de representar o fenômeno de interesse. Pode ser interpretada como o processo que leva de uma determinada situação problemática para um modelo matemático (BIEMBENGUT; HEIN, 2000; VIECILI, 2006).

A utilização da modelagem matemática pode ser contemplada em diversas áreas de estudo, não sendo diferente para a área florestal. Esta técnica pode ser aplicada no planejamento, na silvicultura, na produtividade e custos das máquinas da colheita florestal, no transporte da madeira para a indústria, na manutenção e monitoramento das estradas florestais entre outros.

A aplicação da modelagem matemática pode ser constatada na área florestal, Flatberg et al. (2018) aplicaram a modelagem matemática para análise de investimento em infraestrutura para o setor florestal na Noruega, já no entendimento de Melo et al. (2009), analisaram um problema de *design* da cadeia de suprimentos em que os investimentos podem influenciar a disponibilidade de recursos e os custos de transporte.

De acordo com Constantino e Martins (2018), a modelagem matemática pode ser utilizada na programação da colheita em que integre as preocupações com a fragmentação da floresta, desta maneira avaliando o impacto desta operação na fauna e flora existentes.

Para a colheita florestal mecanizada, a modelagem pode ser aplicada para o cálculo da produtividade das máquinas, como por exemplo do *harvester* e *forwarder* (LEITE et al., 2014), do trator florestal *skidder* (MOUSAVI, 2012), do *feller-buncher* (OLIVEIRA JUNIOR; SEIXAS; BATISTA, 2009), ou das máquinas de um sistema de

colheita (FIEDLER; ROCHA; LOPES, 2008) e até mesmo para o planejamento antes da etapa da colheita florestal (FARIA, 2013; AUGUSTYNCZIK, 2014).

Método de Monte Carlo

Uma das maneiras de quantificar os riscos de um determinado projeto é por meio da simulação de Monte Carlo, pois é um método aplicado para calcular o valor de uma variável aleatória (VAJARGAH; SALIMIPOUR, 2017), além de abordar uma ampla gama de cenários com confiabilidade de alta complexidade (CHIAICCHIO et al., 2016).

O método de Monte Carlo é uma técnica de amostragem artificial, que opera sistemas complexos que possuam componentes aleatórios e tem como característica a variação de todos os parâmetros em análise ao mesmo tempo, ou seja, realiza centenas de simulações com as suas possíveis combinações de valores (FLECK et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2017), além disso, possibilita a indicação de cenários que simulem o quanto os resultados podem variar (KELLIHER; MAHONEY, 2000).

Uma das vantagens deste método é que a validade da teoria da simulação é amplamente reconhecida, permitindo que os resultados sejam facilmente aceitos e quando necessárias alterações nos modelos podem ser realizadas de forma rápida e os novos resultados podem ser comparados com os anteriores (SABBAG; COSTA, 2015).

Outro aspecto positivo para este método deve-se a sua flexibilidade e simplicidade a ser implementada e modificada, pois utiliza números aleatórios para representar uma variabilidade ou flutuação de um determinado sistema usando uma distribuição de probabilidade (KHORASANI et al., 2014; SAMSUDIN; DON, 2015).

A aplicação do método de Monte Carlo pode ser encontrada em diversas áreas, por exemplo, na pesquisa operacional e gestão das ciências (BORGONOVO et al., 2018), na área florestal, sua aplicação pode ser constatada na avaliação econômica de candeia (*Eremanthus erythropapus*) (SILVA et al., 2014b), no manejo florestal em um estudo realizado por (ROBINSON et al., 2016), na avaliação do transporte de madeira no Uruguai (SIMÕES et al., 2016), na rotação de cultura do eucalipto (GONÇALVES et al., 2017), na avaliação do setor florestal na Noruega

(JASTAD et al., 2018), e na quantificação da biomassa de *Eucalyptus Bole* (SIMÕES et al., 2018) entre outros.

CAPÍTULO 1

MODELAGEM MATEMÁTICA DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DA DERRUBADA DE EUCALIPTO DA MÁQUINA AUTOPROPELIDA COM CABEÇOTE DE CORTE DE DISCO *FELLER-BUNCHER*

RESUMO

A produtividade operacional e os custos da derrubada de árvores podem ser influenciados por diversos fatores, dentre estes, destacam-se o modelo da máquina autopropelida com cabeçote de corte, classe de declividade, o eito de operação, o volume individual, o índice de mortalidade das árvores, etc. Diante disso, a aplicação da modelagem matemática ponderando estas variáveis pode proporcionar aos gestores florestais, tomadas de decisão que consentirão a otimização das operações florestais. Nesta perspectiva, objetivou-se a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção na operação de dois *fellers-buncher*, os quais foram analisados em função das características técnicas distintas das máquinas, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois eitos de operação (3 e 4 linhas) em uma floresta plantada de *Eucalyptus*. A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida foi calculada por meio do estudo de tempos e métodos. O custo por hora programada da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi pautado na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Isto posto, foi possível calcular o custo de produção da operação. Por meio da modelagem matemática, os fatores que mais influenciaram na produtividade foram o tempo efetivo e o volume de madeira, além disso, apresentou um $R_a^2 = 91,34 \%$ e para o custo de produção foi constatado que o modelo da máquina, classe de declividade, tempo efetivo e volume de madeira foram os fatores que mais influenciaram no custo de produção e apresentou um $R_a^2 = 91,05 \%$. Concluiu-se que a produtividade e o custo de produção para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi menor em relação a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

Palavras-chave: Colheita florestal. Custo por hora programada. Tempos e métodos. Planejamento florestal. Otimização.

MATHEMATICAL MODELING OF THE PRODUCTIVITY AND COSTS OF EUCALYPTUS CUT OF THE SELF PROPELLED MACHINE WITH FELLER- BUNCHER DISC CUTTING HEAD

ABSTRACT

The operational productivity and costs of tree cut operations can be influenced by several factors, among them, the forest machine model, terrain slope, workload, individual volume, mortality rate trees, etc. Therefore, the application of mathematical modeling weighting these variables can provide forest managers with decision-making that will allow the optimization of forest operations. In this perspective, the objective was to construct mathematical model for productivity and cost of production in the operation of two feller-buncher, which were analyzed according to the technical characteristics of the machines, two classes of slope (flat and smooth corrugated) and two operation sites (3 and 4 lines) in a planted Eucalyptus forest. The effective hourly productivity of the self propelled machine was calculated by studying time and methods. The programmed hourly cost of the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. This fact, it was possible to calculate production cost of the operation. By means of mathematical modeling, the factors that most influenced in the productivity were the effective time and the wood volume, in addition, presented a $R_a^2 = 91,34 \%$ and for the production cost it was verified that the model of machine, slope class, effective time and the wood volume were the factors that most influenced the production cost and presented a $R_a^2 = 91,05 \%$. It was concluded that productivity and production cost for the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head 1 was lower than the self propelled machine with feller-buncher disc cutting head 2.

Keywords: Forest harvesting. Scheduled hourly cost. Times and methods. Forest planning. Optimization.

1.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento científico das informações relacionadas aos fatores técnico-econômico é essencial para o processo de tomada de decisão na área da colheita de madeira mecanizada, uma vez que, a ciência destas informações permite aos gestores, escolhas mais plausíveis dos modais de colheita, sobretudo, com vistas à otimização operacional e, por conseguinte, a minimização dos custos de produção. Nesta perspectiva, Hiesl e Benjamin (2013) salientam a importância de conhecer a produtividade da máquina e o gerenciamento efetivo de qualquer operação florestal, que tem como premissa as estimativas precisas dos custos, embora o monitoramento dessas variáveis possa ser complexo (HOLZLEITNER; STAMPFER; VISSER, 2011).

Desta maneira, a avaliação da produtividade e dos custos envolvidos na etapa do corte é importante, pois propiciam melhorias no processo produtivo, qualidade do trabalho e maior competitividade entre as empresas. Devido à importância desta etapa na cadeia produtiva, uma das máquinas disponíveis no mercado é a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*. De acordo com Silva, Fenner e Cataneo (2007) e Magagnotti et al. (2012) o *feller-buncher* é uma máquina robusta, composta por rodados de pneus ou esteiras, cabeçote de corte e um braço hidráulico, que realiza o corte mais próximo ao solo, acumula certo número de árvores, em seguida, deposita-as sobre o terreno formando os feixes de madeira que estarão aptos para a extração

A derrubada pode ser afetada por alguns fatores tais como a declividade, solo, máquina, tipo de floresta, volume por árvore, espaçamento, tratamentos silviculturais, sistema de trabalho, operador, finalidade da madeira, tipo de trabalho, entre outros (LOPES et al., 2008; FERNANDES et al., 2009; OLIVEIRA; LOPES; FIEDLER, 2009). Desta maneira, conhecer as reais capacidades produtivas, as possíveis variáveis que interferem na produtividade da máquina e nos custos de produção são de suma importância na tomada de decisão.

Uma vez que os custos de produção na colheita de madeira mecanizada representam uma parcela considerável do custo final da madeira (MACHADO et al., 2014), sendo essencial o seu equilíbrio dentro da cadeia produtiva (CAMBERO; SOWLATI, 2014). No entanto, Machado (1989) ressalta que embora existam muitas técnicas para a estimativa de custos na colheita florestal, nenhuma delas é perfeita,

o que também contribui é o fato de serem divididos em custos de capital e custos operacionais (ACKERMAN et al., 2014). Portanto, uma possível solução é a aplicação da modelagem matemática para descrever e identificar as variáveis que influenciam nos custos das máquinas empregadas na colheita florestal.

A aplicação de modelos matemáticos para a predição da produtividade das máquinas florestais e os respectivos custos, de acordo com Ohman e Eriksson (2010) e Smaltschinski, Seeling e Becker (2012) para as operações de colheita de madeira está relacionada com o planejamento das atividades e otimização do processo de produção. Leite et al. (2014) e Strandgard, Walsh e Mitchell (2015) complementam que a construção destes modelos, deve ser a partir do conhecimento das variáveis mais significativas, que permite a relação das variáveis mais relevantes com a produtividade operacional e custos dos modais de colheita.

Nesta perspectiva, o processo de decisão florestal a partir de modelos matemáticos que representem um sistema real pode consentir aos gestores florestais a interpretação de hipóteses intrínsecas à derrubada de árvores e propiciar um melhor entendimento quantitativo das variáveis envolvidas. Diante disso, objetivou-se a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção a partir de dados experimentais da derrubada de eucalipto com duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, os quais foram avaliados em função das características técnicas distintas das máquinas, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois eitos de operação (3 e 4 linhas) para a predição técnica-econômica de condições operacionais distintas.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado próximo ao município de Botucatu, Estado de São Paulo (22°44' N, 48°34' L). Segundo a classificação de Köppen-Geiger, as características climáticas da região são descritas como Cwa clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C.

Nesta área, a umidade relativa média é de aproximadamente 73,9 %, com precipitação média anual de 1.358,6 mm, com estação seca de junho a setembro. Geograficamente, possui unidades de solo como RQo2 Neossolo Quartzarenico Órtico Argissólico, A moderado ou fraco, distrófico (SANTOS et al., 2018a). As classes de declividades ponderadas no estudo pertenciam a um único talhão, os quais foram separados conforme a classificação brasileira de solos conforme Santos et al. (2018a), quer dizer, classes de declividade (CD), as quais foram caracterizadas em: Classe 1 declividades de 0 a 3 % (plana); Classe 2 declividades de 3,1 a 8 % (suave ondulada), ademais, nestas classes os solos apresentavam acidez (pH 4,7).

A área de estudo possuía uma floresta plantada de *Eucalyptus* destinado à produção industrial de chapas de fibra, com 72 meses de idade, plantado em espaçamento de 3 m x 2 m, com árvores que tinham diâmetro a altura do peito (DAP) médio $14,95 \text{ cm} \pm 3,62 \text{ cm}$, altura média $20,87 \text{ m} \pm 3,28 \text{ m}$ e volume médio individual $0,20 \text{ m}^3$, conduzido sob regime de alto fuste. O volume de madeira foi estimado a partir do inventário florestal, por meio do sorteio de parcelas ao acaso, cada uma constituída de 400 m^2 . Por conseguinte, obteve-se um total de 10 classes diamétricas, isto posto, foi realizada a cubagem de cinco árvores para cada classe diamétrica.

1.2.2 Coleta de dados

O sistema de colheita florestal era de árvores inteiras (*full tree*) e foram avaliadas duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* (MA), caracterizados por:

feller-buncher 1: fabricado por *Caterpillar*, modelo 320 D FM, com 5.197 horas de uso acumulada, 147 hp de potência, rodados de esteira, grua para alcance máximo de 5,90 m e cabeçote de corte de disco do modelo *Quadco*, com capacidade de corte de 457 mm, capacidade de acúmulo de $0,28 \text{ m}^2$ e com um valor de compra de US\$ 301.057,75;

feller-buncher 2: marca *John Deere*, modelo 903 k, com 13.241 horas de uso acumulada, 300 hp de potência, rodados de esteira, grua para alcance máximo de 6,71 m e cabeçote de corte de disco do modelo FS22B, com capacidade de corte de 558,8 mm capacidade de acúmulo de $0,48 \text{ m}^2$ e com um valor de compra de US\$ 395.180,21.

Os eitos de operação (EO) de ambas as máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *fellers-bunchers* foram compostos por: oito um com três linhas de árvores, ou seja, com nove metros de largura (E1); e oito dois com quatro linhas de árvores, assim, com 12 metros de largura (E2). Nos dois eitos de operação, os feixes de árvores foram alocados ao solo em ângulo de 90° em relação ao alinhamento do plantio.

Os dados de tempos de trabalho foram registrados por meio de estudos de tempos e métodos, sem a detenção do cronômetro, isto é, adotou-se o método de cronometragem do tempo contínuo (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2010).

Os ciclos operacionais das máquinas autopropelidas foram constituídos pelos elementos de cortar as árvores, bascular os feixes de árvores, retornar à posição de corte. Para determinar o tamanho da amostra, foram observados 120 ciclos operacionais (Equação 1), conforme proposto por Stevenson (2001), com nível de confiança de 95 % e erro de 5 %

$$n = \left(\frac{z s}{a \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

em que:

n é o tamanho da amostra;

z é a constante obtida a partir do nível de confiança desejado, considerando a distribuição normal padronizada;

s é o desvio padrão da amostra;

a é a precisão final desejada;

$\bar{x}$ é a média da amostra.

1.2.3 Análise técnica

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, segundo Simões, Fenner e Esperancini (2014) é uma relação entre o volume de madeira processado pela máquina, em metros cúbicos e o tempo efetivo de trabalho e foi calculada de acordo com a Equação 2.

$$PHM = \frac{V_{mad}}{T_e} \quad (2)$$

em que:

PHM é a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida ($m^3 h^{-1}$);

V_{mad} é o volume de madeira cortada (m^3);

T_e é o tempo efetivo de trabalho (h).

1.2.4 Análise econômica

Devido ao dólar americano ser considerada uma divisa internacional de referência, os valores monetários foram expressos em US\$, conforme o valor oficial da moeda a preço de venda oficial do Banco Central do Brasil. Isto posto, será considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira medido em unidades e frações da moeda nacional, que era de R\$ 3,3133 em 03 de abril de 2018, conforme dados disponibilizados pelo Banco Central do Brasil (2018).

O custo por hora programada da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi estimado pelo método contábil em consonância à metodologia de controle de custos na colheita de florestal preconizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1992), classificados em custos fixos de depreciação, juros sobre capital, mão de obra, seguros e taxas sobre propriedade. Os custos variáveis compreenderam os valores monetários dos dispêndios com combustível, manutenção e reparos, peças de reposição e óleos lubrificantes e graxas.

A vida econômica das máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi estimada em cinco anos, com valor de revenda de 20 % do preço de compra. Os encargos sociais corresponderam a 134 % sobre o salário do operador da máquina autopropelida. Além disso, para calcular os juros sobre o capital, adotou-se a taxa de juros calculada por meio do *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), devido à participação de capital de terceiros na empresa ponderada no estudo.

De acordo com Copeland e Antikarov (2001) o WACC é a taxa de desconto que compreende uma média ponderada dos custos marginais do capital após o desconto dos impostos que incidem sobre cada fonte de capital (Equação 3).

$$WACC = k_b(1 - IR) \frac{B}{B + S} + k_s \frac{S}{B + S} \quad (3)$$

em que:

k_b é o custo de capital de terceiros;

IR é alíquota de imposto sobre a renda;

B é o valor presente da riqueza dos detentores;

S é o valor presente da riqueza dos acionistas;

k_s é o custo de capital dos acionistas.

Destarte, o k_b foi representado pela expectativa de retorno ajustada ao risco envolvido na operação, logo, o valor será equivalente à taxa de retorno de renda fixa emitida pelo Departamento do Tesouro dos Estados Unidos da América, por ser considerada uma taxa de juros real e isenta de riscos, e ainda, razoavelmente integrada ao mercado de capitais mundiais. De acordo com Assaf Neto et al. (2008) essas taxas são adotadas no cálculo do custo do capital, mesmo que a empresa em avaliação não se localize no país, ou ainda, não pertença a capitais norte-americanos.

De acordo com Baker e English (2011) para calcular o componente do custo de capital próprio do custo total de capital encontrado pelo WACC foi utilizado o método do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) tradicional, expresso pela Equação 4. No entanto, de acordo com Damodaran (2002) propõe que se leve em consideração um prêmio pelo risco do país (α_{Br}) para o cálculo do CAPM.

$$r_p = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad (4)$$

em que :

r_p é o retorno esperado do patrimônio comum da empresa;

r_f é a taxa de retorno livre de risco

β é o coeficiente beta, que representa o fator de risco específico do projeto;

$(r_m - r_f)$ é o prêmio pelo risco de mercado;

r_m é a taxa de retorno da carteira de mercado

α_{Br} é o prêmio de risco do país

O custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* (US\$ m⁻³) é uma relação entre o custo por hora programada da máquina autopropelida e a produtividade por hora efetiva da máquina, isto é, do volume de madeira derrubada por hora efetiva de trabalho (Equação 5).

$$CPM = \frac{CHP}{PHM} \quad (5)$$

em que:

CPM é o custo de produção da máquina autopropelida (US\$ m⁻³);

CHP é o custo por hora programada da máquina autopropelida (US\$ h⁻¹).

1.2.5 Delineamento estatístico

O experimento foi avaliado por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC) em um esquema fatorial 2 x 2 x 2. Portanto, os tratamentos foram as combinações de três fatores descritos por: o primeiro fator em análise foram os dois modelos da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, o segundo fator refere-se às classes de declividade do terreno e o terceiro foram os eitos de operação da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

Os tempos dos elementos do ciclo operacional, a produtividade operacional e o custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* avaliados nos diferentes tratamentos, foram comparados por meio da técnica de análise de variância (*Analysis of Variance* - ANOVA) para o esquema de três fatores, complementada com o teste de *Tukey-Kramer* para comparações múltiplas, considerando um nível de significância de 5 % (MONTGOMERY, 2017).

Os modelos para produtividade e custo de produção foram ajustados por meio da técnica de regressão múltipla com procedimento de seleção de variáveis *stepwise* (DRAPER; SMITH, 1998), ponderando como variáveis explicativas as duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, a classe de declividade, o eito de operação, a hora efetiva e o volume da madeira por ciclo conforme descrito na Equação 6. Os ajustes dos modelos foram avaliados pelo coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) (DRAPER; SMITH, 1998).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \varepsilon \quad (6)$$

em que:

y é a variável resposta (produtividade ou custo de produção);

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5$ são os parâmetros a serem estimados;

x_1 é a variável *dummy* para o modelo da máquina autopropelida *feller-buncher*, com 0 = *feller-buncher 1* e 1 = *feller-buncher 2*;

x_2 é a variável *dummy* para a classe de declividade, com 0 = Classe 1 e 1 = Classe 2;

x_3 é a variável *dummy* para o eito de operação, com 0 = eito composto por três linhas e 1 = eito composto por quatro linhas;

x_4 é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

x_5 é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m³);

ε é o erro aleatório.

Ademais, para os dados coletados constatou-se, por meio dos testes de *Kolmogorov-Smirnov* e de *Bartlett*, que as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias não foram verificadas, contudo, de acordo Teorema Central do Limite (MOOD; GRAYBILL; BOES, 1974; RAO, 2001) qualquer que seja a distribuição da variável de interesse para grandes amostras ($n > 30$), a distribuição das médias amostrais tenderá a uma distribuição normal à medida que o tamanho de amostra crescer. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o *software* R versão 3.5.2 (R Development Core Team, 2018).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Tempos dos elementos do ciclo operacional

Ao considerar a suficiência amostral para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foram observadas 1.011 ciclos operacionais o que resultou no corte de 1.110,40 m³ de madeira e para a máquina autopropelida com implemento florestal *feller-buncher* 2 foram observados 826 ciclos operacionais, o que permitiu o corte de 1.169,80 m³ de madeira. Além disso, foram observadas 10,02 horas de trabalho para a máquina autopropelida com implemento florestal *feller-buncher* 1, o que permitiu um nível de precisão de 1,61 % e 9,11 horas de trabalho para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2, o que permitiu um nível de precisão de 1,53 %.

Na análise da influência do eito de operação para a realização do elemento cortar (Tabela 1.1) foi constatada uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para todas as situações de operação da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*. Além disso, os menores tempos para a realização deste elemento do ciclo operacional foram para o eito de três linhas, isto

é, uma possível explicação é que para esta condição de operação, a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* consumiu menor tempo na busca e corte das árvores, uma vez que, era necessário um menor deslocamento do braço hidráulico para a realização do corte das árvores e como consequência, menor o tempo e a distância com a movimentação do implemento de corte com os feixes já formados quando comparado ao eito de operação composto por quatro linhas de árvores. Desta maneira, o menor tempo consumido com o elemento cortar para a operação no eito de 3 linhas em relação ao eito de 4 linhas pode também ter influenciado no tempo efetivo total do ciclo operacional

Tabela 1.1 - Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional do corte das árvores realizada por uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*

MA	CD	EO	Cortar	Bascular	Virar
1	1	E1	23,62 a A α	5,03 a A α	6,28 a A α
			(4,92)	(1,53)	(1,59)
		E2	25,86 b B α	4,70 a A α	6,30 a A α
			(4,65)	(1,22)	(1,79)
	2	E1	22,94 a A α	5,17 b A α	6,63 a B α
			(4,81)	(1,38)	(1,70)
2	1	E2	24,22 b A α	4,76 a A α	6,49 a A β
			(4,48)	(1,29)	(1,53)
		E1	27,04 a B β	5,30 a A α	6,38 a B α
			(5,60)	(3,26)	(1,96)
	2	E2	29,79 b B β	4,81 b A α	6,09 a A α
			(5,94)	(2,56)	(2,58)
	2	E1	24,06 a A β	5,50 a A α	5,82 a A β
			(5,08)	(3,11)	(1,23)
		E2	25,63 b A β	5,25 a B β	5,94 a A α
			(5,43)	(1,43)	(1,39)

Letras minúsculas comparam os eitos de operação, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam as máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância.

Legenda: M.A: máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 e *feller-buncher* 2; C.D: classe de declividade; E1: eito de operação composto por 3 linhas; E2: eito de operação composto por 4 linhas.

Para este mesmo elemento do ciclo operacional, apenas para o *feller-buncher* 1 no eito de operação E1 não foi possível mostrar diferença estatística significativa ($p>0,05$) para o efeito da classe de declividade, no entanto, foi verificado que para a Classe 2, os tempos para a realização do elemento cortar foram menores em comparação a Classe 1. Ao contrário do que foi constatado por Diniz et al. (2018)

que ao avaliarem a operação de uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* em uma floresta plantada de *Pinus*, verificaram aumento no tempo do elemento cortar, conforme o aumento da classe de declividade. Já ao se considerar as mesmas classes de declividade do presente estudo com as dos autores, o tempo para a realização do elemento cortar foi maior do que a dos autores. Uma possível explicação para o menor tempo para a Classe 2 foi pelo fato do menor número de árvores por ciclo, desta maneira o menor tempo consumido para a realização do elemento.

Considerando o tipo de máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi constatado diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) para todas as condições operacionais, em que o tempo do elemento cortar foi menor para a máquina autopropelida com *feller-buncher* 1, indicando que as características técnicas da máquina, como por exemplo, a capacidade de acúmulo de árvores podem influenciar no tempo para a realização do elemento do ciclo operacional. Desta maneira, foi constatado que o tempo para a realização do elemento foi menor, bem como o número de árvores por ciclo. Já no entendimento de Andersson e Evans (1996) avaliaram a produtividade de três máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* e que ambas foram afetadas pelo volume e pela densidade das árvores.

Com o intuito de analisar a influência do eito de operação na realização do elemento bascular, foi averiguado que na condição operacional com *feller-buncher* 1 e na Classe 2 de declividade e para a condição operacional com *feller-buncher* 2 e na Classe 1 de declividade apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), em que o tempo médio para a realização deste elemento foi menor para o eito de trabalho composto por quatro linhas, fato que pode ser explicado pela menor frequência do deslocamento do *buncher* com os feixes de madeira no momento da deposição dos mesmos sobre o solo. De acordo com Acuna et al. (2011), ao analisarem os elementos do ciclo operacional da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* constataram que o elemento bascular e o elemento posicionamento do implemento foram os que mais consumiram o tempo para a operação de corte em uma floresta plantada de *Pinus*.

Já para o efeito da declividade apenas na condição operacional com *feller-buncher* 2 e no eito de operação E2 foi verificado diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) e que para a Classe 1 o tempo para a realização do elemento

bascular foi menor em comparação a Classe 2, isto é, a declividade pode interferir no tempo para a realização do elemento bascular, uma vez que o terreno físico pode influenciar na estabilidade da máquina, influenciando na realização do elemento bascular e como consequência a produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

Com o finalidade de avaliar a influência do tipo de máquina no tempo para a realização do elemento bascular, apenas na condição de operação para a Classe 2 de declividade e para o eito de operação E2, foi constatado diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$). Embora não foi possível mostrar diferença estatística para todas as condições operacionais para o *feller-buncher* 2, o mesmo apresentou um maior tempo para a realização do elemento bascular, uma possível explicação deve-se pelo fato do número de árvores por ciclo ser maior para o *feller-buncher* 2, conseguinte, maior o tempo para a realização do elemento devido ao peso e do deslocamento do *buncher*.

Ademais, para a análise do tempo para a realização do elemento virar, não foi averiguada nenhuma diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$), isto pode indicar que o eito de operação não exerceu nenhuma influência no elemento virar. Já para o efeito da classe de declividade, constatou-se que na condição de operação para o *feller-buncher* 1 no eito de operação E1 e para a condição de operação para o *feller-buncher* 2 no eito de operação E1 apresentaram diferença estatisticamente significativas ($p < 0,05$), para o *feller-buncher* 1 o tempo para a realização deste elemento foi maior para a Classe 2, já para o *feller-buncher* 2 este fato foi observado para a Classe 1, uma possível explicação para o fato ocorrido deve-se ao coeficiente de variação que foi de 31 %.

Para a análise da influência da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi averiguado diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) na condição de operação para a Classe 2 de declividade no eito de operação E1 e para a condição de operação para a Classe 2 de declividade no eito de operação E2, isto é, pode indicar a influência do tipo de máquina para a realização do elemento virar e que as situações em que ocorreram estas diferenças foram para a Classe 2, com menor tempo para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2, uma possível explicação para o ocorrido pode ser atribuída ao coeficiente de variação que foi de 42 %.

1.3.2 Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida

Dentre as informações técnicas envolvidas na colheita de madeira mecanizada, a informação a respeito da produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida é essencial, pois o conhecimento e domínio desta informação podem influenciar nas decisões e no planejamento do gestor florestal. Desta maneira, ao analisar o efeito do eito de operação (três e quatro linhas) na produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* (Tabela 1.2), não foi possível mostrar diferença estatística significativa ($p>0,05$).

Tabela 1.2 - Produtividade média por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* e desvio padrão ($m^3 h^{-1}$)

M.A	C.D	Eito	
		E1	E2
1	1	112,78 a A α (20,05)	107,83 a B α (14,31)
	2	114,80 a A α (17,74)	113,84 a A α (15,37)
2	1	133,90 a B β (24,96)	136,02 a A β (24,42)
	2	137,44 a A β (18,22)	132,60 a A β (17,31)

Letras minúsculas comparam os eitos de trabalho, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam as máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância.

Legenda: M.A: máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 e *feller-buncher* 2; C.D: classe de declividade; E1: eito de operação composto por 3 linhas; E2: eito de operação composto por 4 linhas.

Embora, não foi possível mostrar diferença estatística significativa para o eito de operação da máquina autopropelida, apenas na condição para o *feller-buncher* 1 na Classe 1 de declividade, a produtividade foi maior para o eito de operação E2, diferindo dos resultados encontrados por Simões, Iamonti e Fenner (2010), em que determinaram que a melhor produtividade foi para o eito de trabalho composto por quatro linhas e disposição dos feixes de madeira a 45 °.

Apesar de outros trabalhos não contemplarem a comparação entre os eitos de operação na produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, de acordo com Fernandes et al. (2011) encontraram valores de produtividade de $40,84 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para um eito de operação de quatro linhas, para uma floresta plantada de *Eucalyptus* e declividade plana. De acordo com Pereira, Lopes e Dias (2015), constataram uma produtividade média de $103,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para uma floresta plantada de *Pinus*, relevo suave ondulado.

Já Nascimento et al. (2011) averiguaram uma produtividade para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* de $48,80 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ para uma floresta plantada de *Eucalyptus*, declividade do terreno plano e eito de operação composto por cinco linhas e Simões, Fenner e Esperancini (2014) encontraram valores de produtividade para o *feller-buncher* de $127,50 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, para uma floresta plantada de *Eucalyptus*, declividade plana e eito de operação composto por três linhas.

Para a análise do efeito da classe de declividade foram constatadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para a condição de operação do *feller-buncher* 1 no eito de operação E2 e para a condição de operação do *feller-buncher* 2 no eito de operação E1, o fato pode ser explicado pelo tempo efetivo e o tempo do elemento cortar serem maiores para a Classe 1 de declividade.

Embora em outras condições operacionais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, a produtividade média foram próximas, o que pode ser explicado pela proximidade do grau de inclinação do terreno, embora sejam designadas em diferentes classes de declividade de acordo com Classificação de Solos. Pois de acordo com Simões e Fenner (2010), Alan, Acuna e Brown (2013); Miyajima et al. (2016), constataram que a declividade é um dos fatores que mais influenciam na produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

Na comparação das duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foram constatadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) da produtividade entre as máquinas autopropelidas em todas as situações, o que pode ser explicado pelo número de árvores médio por ciclo operacional ser superior para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2, uma vez, que esta máquina era capaz de acumular em média 7,08

árvores por ciclo e a máquina autopropelida com com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 em média 5,49 árvores por ciclo operacional

Desta maneira, a quantidade de árvores por ciclo operacional da máquina pode ter influenciado na produtividade e nos custos operacionais. Já Seixas e Batista (2014), ao avaliarem duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte *harvester* com diferentes tipos de rodados, não constatarem diferenças significativas na produtividade entre as máquinas avaliadas.

Na construção do modelo matemático da produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi aplicado o procedimento *stepwise*, em que foram mantidas no modelo de regressão múltipla, apenas variáveis com coeficientes estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) e com um $R_a^2 = 91,34$ %. Desta maneira o modelo matemático pode ser analisado conforme descrito na Equação 7.

$$prod = 111,99 - 0,70 \times E_o - 2,79 \times T_e + 90,49 \times V_{mad} \quad (7)$$

em que:

prod é a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida;

E_o é a variável *dummy* para o eito de operação da máquina autopropelida;

T_e é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

V_{mad} é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m^3).

Ao analisar o modelo matemático para a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, os fatores eito de operação, tempo efetivo e volume de madeira foram significativas. Desta maneira, observou-se que o tempo efetivo possui uma relação inversa com a produtividade e o volume da madeira uma relação direta com a produtividade.

De acordo com Fiedler, Rocha e Lopes (2008) e Rocha et al. (2009) ao analisarem a produtividade de uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, constatarem que as variáveis distância de deslocamento total e volume de madeira foram as mais significativas. No entendimento de Oliveira Junior, Seixas e Batista (2009), averiguaram que a inclinação do terreno e a produtividade da floresta foram os fatores mais significativos.

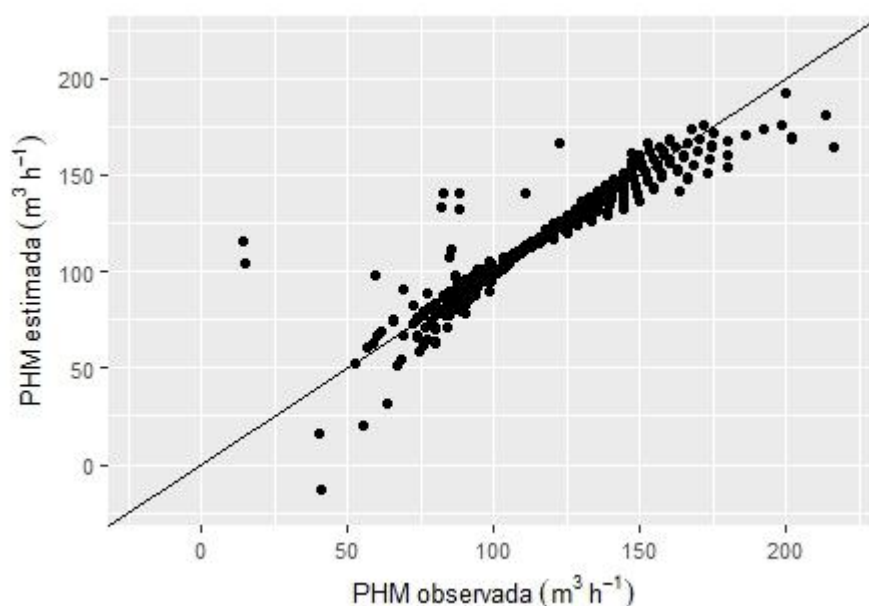
Harrill e Han (2012) averiguaram que para uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* as variáveis mais significativas para a estimativa da produtividade foram número de árvores, volume médio e a distância de

deslocamento. Holtzschler e Lanford (1997); Ghaffariyan, Acuna e Kellog (2012) também averiguaram a influência do volume da madeira como fator mais significativo na produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

Ao analisar a produtividade de uma máquina autopropelida com cabeçote de corte *harvester*, Spinelli, Hartsough e Magagnotti (2010) constataram que a variável que mais influenciou a produtividade da máquina autopropelida foi o volume da árvore e Willians e Ackerman (2016) além desta variável, verificaram que a declividade do terreno e o diâmetro médio a altura do peito também foram significativos no modelo matemático.

A figura 1.1 apresenta a produtividade observada *versus* a produtividade estimada, o que significa que quanto mais próximo os pontos da reta que passa pela origem, mais próximos os valores da produtividade estimada está da produtividade calculada.

Figura 1.1 - PHM observada *versus* PHM estimada



1.3.3 Previsão dos custos

O conhecimento dos custos relacionados às máquinas florestais é fundamental para um planejamento mais adequado e coeso, pois por meio destas informações, como por exemplo, o custo programado da máquina autopropelida, permite minimizar os possíveis erros durante o processo do corte florestal. Desta

maneira a taxa para a remuneração do capital foi calculada por meio do WACC, uma das premissas utilizadas foi à taxa de juros livre de risco de 2,36 % ao ano.

O coeficiente sistemático do ativo foi calculado a partir do beta médio total, que resultou em um beta desalavancado médio de 0,33, e em seguida um beta realavancado de 0,42. Ponderou-se ainda o retorno anualizado da carteira de mercado que foi 5,06 %. E por fim, o prêmio de risco do país foi de 2,37 % calculado por meio da média geométrica do *Emerging Markets Bond Index* – EMBI+Br. Em seguida, obteve-se o CAPM de 6,85 %. Ao considerar o custo de capital de terceiros de 5,96 % e a proporção do ativo financiado por dívida de 40,84 %, o CMPC foi de 9,16 %.

Diante disso, o custo por hora programada da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi de 69.69 US\$ h⁻¹. Dentre os componentes, o custo com combustível foi o mais significativo, representou cerca de 32,40 %, seguido da mão de obra com 19,73 % e da depreciação a qual representou 17,28 %, isto é, representam cerca de 69,40 % do custo por hora programada da máquina.

Para o *feller-buncher* 2 o custo por hora programada foi de 102.03 US\$ h⁻¹, o custo com combustível correspondeu a 42,28 %, a depreciação 15,49 % e a mão de obra cerca de 13,47 % foram os mais significativos para a composição do custo por hora programada, isto é, representaram cerca de 71,25 %.

O custo por hora programada da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller buncher* 1 foi inferior ao valor encontrado por Schweier et al. (2015), que determinaram um custo por hora programada de 82.42 US\$ h⁻¹ da operação de corte com a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* em florestas plantadas de *Thermophile oaks* e *Chestnut* e Simões et al. (2018) que para condições de floresta plantada de *Eucalyptus* e declividade do terreno plana, determinaram valores de 81.74 US\$ h⁻¹. Já para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2 o custo por hora programada foi inferior ao determinado por Santos et al. (2013) que analisaram o desempenho da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* em uma condição semelhante de floresta e declividade.

A variação do custo por hora programada da máquina autopropelida podem ser relacionadas à fatores como tempo e a taxa utilizada para a depreciação da máquina autopropelida, valores monetários despendidos com mão de obra e os

respectivos encargos sociais, os quais são inerentes à cada empresa de base florestal, e ainda, pelas despesas com combustíveis que variam em decorrência de regiões ou de países.

Ao analisar a variável eito de operação nos custos de produção (Tabela 1.3), não foi possível mostrar diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$) para as condições operacionais avaliadas, o que pode indicar que o eito de operação não influenciou no custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

Tabela 1.3 - Custo médio de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* e desvio padrão (US\$ m⁻³)

M.A	C.D	Eito	
		E1	E2
1	1	0.64 a A α (0.11)	0.66 a B α (0.10)
	2	0.62 a A α (0.09)	0.62 a A α (0.08)
2	1	0.80 a B β (0.26)	0.77 a A β (0.17)
	2	0.75 a A β (0.12)	0.78 a A β (0.12)

Letras minúsculas comparam os eitos de trabalho, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam as máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância.

Legenda: M.A: máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 e *feller-buncher* 2; C.D: classe de declividade; E1: eito de operação composto por 3 linhas; E2: eito de operação composto por 4 linhas.

Para a classe de declividade, foram verificadas que para a condição de operação com *feller-buncher* 1 e no eito de operação E2 e para a condição de operação com *feller-buncher* 2 e no eito de operação E1 apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$), nestas condições operacionais, o menor custo de produção foi para a Classe 2 de declividade, fato que pode ser explicado pela maior produtividade constatada para estas condições de operação. Ademais, como intuito de analisar a influência da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi averiguado que para todas as condições de operação apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), com o menor custo de produção para a máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1.

Para a construção da modelagem do custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi aplicado o procedimento *stepwise*, em que foram mantidas no modelo de regressão múltipla, apenas variáveis com coeficientes estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$) e com um $R_a^2 = 91,05 \%$. Desta maneira o modelo matemático pode ser analisado conforme descrito na Equação 8.

Ao analisar o modelo matemático para o custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, os fatores: máquina autopropelida, classe de declividade, eito de operação, tempo efetivo e volume de madeira por ciclo operacional foram significativas.

$$C_{prod} = 0,61 + 0,30 \times M_a - 0,009 \times C_d - 0,003 \times E_o + 0,02 \times T_e - 0,65 \times V_{mad} \quad (8)$$

em que:

C_{prod} é o custo de produção da máquina autopropelida;

M_a é a variável *dummy* para o modelo da máquina autopropelida *feller-buncher* 1 e *feller-buncher* 2;

C_d é a variável *dummy* para a classe de declividade;

E_o é a variável *dummy* para o eito de operação da máquina autopropelida;

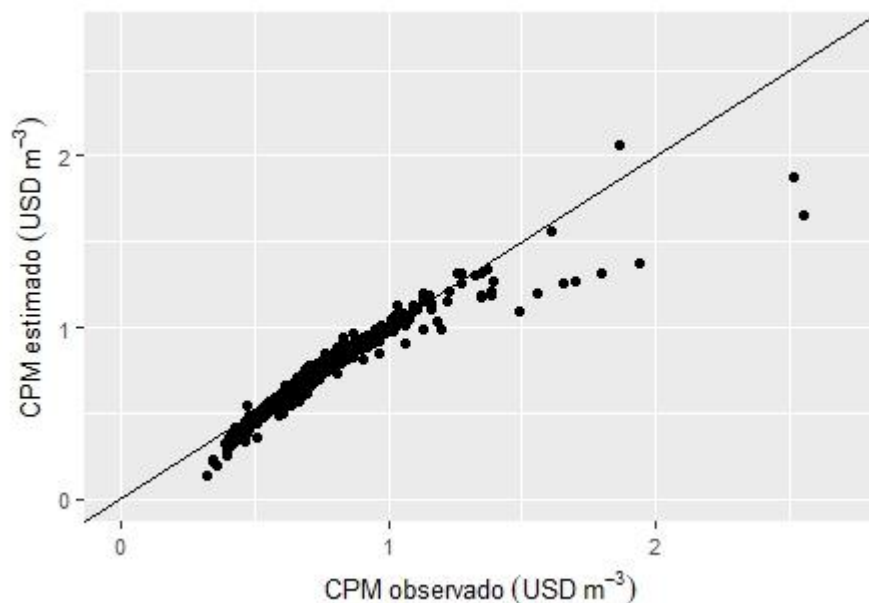
T_e é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

V_{mad} é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m^3).

No estudo de Schettino et al. (2015), o custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* foi influenciado pelo volume da madeira. O mesmo fato foi averiguado por Tolosana et al. (2018), além desta variável, os autores constataram que a espécie e a área basal também foram significativos no modelo matemático. Já Leite et al. (2013), ao avaliarem o custo de produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte *harvester*, constataram que para a condição de operação em aclave e declive os fatores significativos foram a declividade do terreno e o volume da madeira.

Desta maneira, na Figura 1.2 pode ser constatada o custo de produção observado *versus* o custo de produção estimado, conforme o modelo ajustado em que foram consideradas as variáveis mais significativas.

Figura 1.2 - CPM observado versus CPM estimado



1.4 CONCLUSÕES

Dentre os fatores analisados o tempo efetivo possui uma relação inversa e o volume da madeira uma relação direta com a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*.

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi em média 16,77 % inferior a produtividade da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

O custo médio da produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1 foi em média 18,03 % inferior ao custo médio da produção da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The COST model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2014.903711>. Acesso em: 5 de fev 2018.
- ACUNA, M.; SKINNELL, J.; EVANSON, T.; MITCHELL, R. Bunching with self leveling feller-buncher on steep terrain for efficient yarder extraction. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 521-531, 2011. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/72655>. Acesso em: 27 de mar 2019.
- ALAM, M.; ACUNA, M.; BROWN, M. Self-levelling feller-buncher productivity based on lidar derived slope. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 34, n. 2, p. 273-281, 2013. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-34-no-2/>. Acesso em: 12 de mar 2019.
- ANDERSSON, B.; EVANS, C. M. *Harvesting Overmature Aspen Stands in Central Alberta*; Special Report SR-112; **Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC)**: Pointe Claire, PQ, Canada, 1996; p. 42
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 72-83, 2008. Disponível em: http://bdpi.usp.br/single.php?_id=001680989&locale=en_US. Acesso em: 20 de fev 2018.
- BAKER, H. K.; ENGLISH, P. **Capital Budgeting valuation**. New Jersey: Wiley, 2011, 509 p.
- BANCO CENTRAL do BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp>> Acesso em: 05 de jun 2018.
- CAMBERO, C.; SOWLATI, T. Assessment and optimization of forest biomass supply chains from economic, social and environmental perspectives – A review of literature. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 36, p. 62-73, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002688>. Acesso em: 20 de abr 2019.
- COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 368 p.
- DAMODARAN, A. **Investment valuation: tools and techniques for determining the value of any asset**. New Jersey: Wiley, 2002. 1356 p.
- DINIZ, C. C. C.; NAKAJIMA, N. Y.; ROBERT, R. C. G.; DOLÁCIO, C. J. F.; SILVA, F. A. Desempenho de um feller buncher em extrema variação da declividade do

terreno. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 5, n. 3, p. 381-384, 2018.

Disponível em:

<http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/download/5522/pdf>.

Acesso em: 15 de abr 2018.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1998. 736 p.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica de um feller buncher operando em diferentes produtividades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 210-218, 2011. Disponível em:

<https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/issue/view/46/showToc>. Acesso em: 30 de jun 2018.

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**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 19 de maio 2018.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em: 3 de jun 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em:

www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2017.

GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. *Silva Balcanica*, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em:

https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=jObPPR7QGCsAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

HARRILL, H.; HAN, H. S. Productivity and cost of integrated harvesting of wood chips and sawlogs in stand conversion operations. *International Journal of Forestry Research*. Londres, v. 2012, p. 1-11, 2012. Disponível em:

<https://www.hindawi.com/journals/ijfr/2012/893079/>. Acesso em 14 de mar 2019.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. A multi-stem feller-buncher cycle time model in partial harvests in small diameter wood stands. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 24, p. 101-108, 2013. Disponível em:

<https://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>. Acesso em: 22 de set 2018.

HOLZLEITNER, F.; STAMPFER, K.; VISSER, R. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 501–508, 2011. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2398/e884f890cab99dcc46723bad67bf0563dd93.pdf>. Acesso em 11 de mar 2018.

HOLTZSCHER, M. A.; LANFORD, B. L. Tree diameter effects on cost and productivity of cut to length systems. **Forest Products Journal**, Madison, v.43, n. 3, p. 25-30, 1997. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1428>. Acesso em: 12 de mar 2019.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do harvester no corte da madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 205-215, 2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr98/cap06.pdf>. Acesso em: 16 de dez 2018.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622014000500012&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 de jun 2018.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 12 de nov 2018.

MACHADO, C. C. **Sistema brasileiro de classificação de estradas florestais (SIBRACEF)**: desenvolvimento e relação com o meio de transporte florestal rodoviário. 188 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25340/T%20-%20MACHADO%2C%20CARLOS%20CARDOSO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 de mar 2018.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora. UFV, 2014, cap. 1, p. 15-45.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; GULDNER, O.; ERLER, J. Site impact after motor manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 113, p. 140-147, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001183>. Acesso em: 11 de mar 2018.

MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; PASSOS, J. R.; FENNER, P. T. A influência da declividade do terreno e do tempo de experiência dos operadores no rendimento do *feller buncher*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 110, p. 443-451, 2016.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of statistics**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1974. 564p.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2017. 640 p.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com feller-buncher. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/7>. Acesso em 12 de mar 2019.

OHMAN, K.; ERIKSSON, L. O. Aggregating harvest activities in long term forest planning by minimizing harvest area perimeters. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 44, n. 1, p. 77-89, 2010. Disponível em: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf44/sf441077.pdf>. Acesso em: 3 de maio 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do forwarder em extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 28 de ago 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de Feller-Buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/16327/10799>. Acesso em: 14 de abr 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller Buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 7 de set 2018.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, Inc, 2001, 625 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2018. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SANTOS, P.H.A.; SOUZA, A.P.; MARZANO, F.L.C.; MINETTE, L.J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p.

511-518, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n3/a14v37n3.pdf>. Acesso em: 15 de mar 2018.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Correlação entre volumetria de florestas de eucalipto e produtividade e custos de máquinas de colheita de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 39, n. 5, p. 935-942, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622015000500935&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 de mar 2019.

SCHWEIER, J.; SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; BECKER, G. Mechanized coppice harvesting with small scale feller bunchers: Results from harvesting trials with newly manufactured felling heads in Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 72, p. 85-94, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153089303>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Comparação técnica e econômica entre harvesters de pneus e com máquina base de esteiras. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 185-191, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000100185&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 12 de mar 2019.

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com feller buncher em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 649-656, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2423>. Acesso em: 19 de mar 2018.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 38, n. 85, p. 107-114, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr85/cap10.pdf>. Acesso em: 30 de ago 2018.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T.; ESPERANCINI, M. S. T. Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *harvester*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr88/cap07.pdf>. Acesso em: 13 de jul 2018.

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**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de abr 2018.

SIMÕES, D.; MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C. Incorporation of uncertainty in technical and economic analysis of a feller-buncher.

Floresta, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 403-412, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56404>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-Buncher. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 6, n. 1, p. 29-34, 2007. Disponível em: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5356>. Acesso em: 11 de abr 2018.

SPINELLI, R.; HARTSOUGH, B.; MAGAGNOTTI, N. Productivity Standards for Harvesters and Processors in Italy. **Forest Products Journal**, Madison, v. 60, n.3, p. 226–235, 2010. Disponível em: <https://forestprodjournals.org/doi/abs/10.13073/0015-7473-60.3.226>. Acesso em: 12 de mar 2019.

SMALTSCHINSKI, T.; SEELING, U.; BECKER, G. Clustering forest harvest stands on spatial networks for optimized harvest scheduling. **Annals of Forest Science**, Le Ulis, v. 69, p. 651-657, 2012. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00930833/document>. Acesso em: 7 de ago 2018.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; WALSH, D.; MITCHELL, R. Productivity and cost of whole-tree harvesting without debarking in *Eucalyptus nitens* plantation in Tasmania, Australia. **Southern Forests**, África do Sul, v. 77, n. 3, p. 173–178, 2015. Disponível em: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600100809>. Acesso em: 12 de mar 2019.

TOLOSANA, E.; SPINELLI, R.; AMINTI, G.; LAINA, R.; VICENS, I. L. Productivity, Efficiency and Environmental effects of whole-tree harvesting in Spanish coppice stands using a drive to tree disc saw feller-buncher. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 39, n. 2, p. 163-172, 2018. Disponível em: <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4218/tolosana.pdf>. Acesso em: 12 de mar 2019.

WILLIAMS, C.; ACKERMAN, P. Cost-productivity analysis of South African pine sawtimber mechanised cut-to-length harvesting. **Southern Forests**, África do Sul, v. 78, n. 4, p. 267–274, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.2989/20702620.2016.1183096>. Acesso em: 12 de mar 2019.

CAPÍTULO 2

MODELAGEM DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NO ARRASTE DE MADEIRA COM MÁQUINA AUTOPROPELIDA *GRAPPLE SKIDDER*

RESUMO

A máquina autopropelida *grapple skidder* foi projetada para a realização da extração dos feixes de madeira após a operação da derrubada das árvores. Diversos fatores influenciam o desempenho técnico e os seus custos, tais como a declividade do terreno, tempo de experiência do operador, distância de extração, tipo de máquina, e o tamanho dos feixes de madeira para cada ciclo operacional entre outros. Por se tratar de informações essenciais na tomada de decisão, torna-se imprescindível a segurança na obtenção dos valores relacionados a estas informações. Desta maneira, a aplicação da modelagem matemática pode proporcionar a obtenção destes dados com maior precisão, além de ponderar os fatores que possuem influência em termos da produtividade e dos custos da máquina autopropelida *grapple skidder*. O objetivo do estudo foi propor a construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção da máquina autopropelida em função de dois tamanhos de feixes de madeira, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois ramais de extração em uma floresta plantada de *Eucalyptus*. Para análise da produtividade operacional foi empregada o estudo de tempos e métodos e o custo por hora programada foi embasada na metodologia da *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Desta maneira, foi possível constatar que dentre os fatores analisados, o feixe de madeira influenciou na produtividade e no custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder*. Concluiu-se que por meio da modelagem matemática proporcionou relacionar as variáveis de interesse com as variáveis respostas, desta maneira as variáveis que mais influenciaram na produtividade e no custo de produção foram o feixe de madeira, tempo efetivo e o volume de madeira.

Palavras-chaves: Silvicultura. Produtividade operacional. Extração de madeira. Custo de produção. Otimização.

MODELING THE INFLUENCE VARIABLES ON THE WOOD EXTRACTION WITH SELF PROPELLED MACHINE GRAPPLE SKIDDER

ABSTRACT

The self propelled grapple skidder machine was designed to carry out the extraction of the wood bundles after the tree felling operation. Several factors influence the technical performance and costs, such as the terrain slope, operator experience time, extraction distance, type of machine and the size of the wood bundles for each operational cycle, among others. Because it is essential information in decision making, it is imperative that security be obtained in order to obtain the values related to this information. In this way, the application of mathematical modeling can provide the data acquisition with greater precision, besides weighing the factors that have influence in terms of productivity and costs of the self propelled machine grapple skidder. The objective of the study was to propose the construction of mathematical model for the productivity and cost of production of the self propelled machine as a function of two sizes of wood bundles, two classes of terrain slope (flat and smooth corrugated) and two branches of extraction in a planted Eucalyptus forest. For the analysis of the operational productivity was used the study of times and methods and the cost per hour programmed was based on the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. In this way, it was possible to verify that among the analyzed factors, the wood bundles influenced the productivity and the production cost of the self propelled machine grapple skidder. It was concluded that, through mathematical modeling, it was possible to relate the variables of interest to the response variables, so that the variables that most influenced productivity and production cost were the wood bundles, effective time and wood volume.

Keywords: Silviculture. Operational productivity. Timber extraction. Production cost. Optimization.

2.1 INTRODUÇÃO

A mecanização na colheita florestal foi um passo importante para a busca de melhores condições de trabalho para os operadores, aumento da produtividade operacional e redução dos custos. Como consequência, as melhorias relacionadas à colheita florestal mecanizada, proporcionou o conhecimento das informações referentes à produtividade e os custos de uma determinada máquina e ou um sistema, ou seja, a confiabilidade destas duas informações é fundamental para um melhor funcionamento e compreensão do sistema produtivo.

Desta maneira, pode-se observar que a mecanização da atividade de colheita florestal passa por grandes inovações e avanços tecnológicos (SIMÕES; FENNER; ESPERANCINI, 2014), mas para que esta ocorra é importante entender os processos, as etapas e os trabalhos envolvidos neste segmento (LINDROOS; LA HERA; HAGGSTROM, 2017). Embora frequentemente sejam observadas mudanças que culminam na evolução das operações florestais, podem ocorrer diferenças de custos de produção, isto é, decorrentes dos modelos de máquinas ou dos modais de colheita de madeira empregados.

Uma das máquinas florestais utilizadas atualmente é a máquina autopropelida *grapple skidder*, que realiza a retirada dos feixes ou toras de madeira do local em que foi realizado a derrubada, para um pátio florestal ou para as margens dos talhões, onde pode ser realizado o processamento ou somente a alocação da madeira. No entendimento de Behjou et al. (2008) e Lima e Leite (2014) a máquina autopropelida *grapple skidder* realiza o arraste das árvores de uma área de corte até a margem da estrada ou para um pátio intermediário, sua cabine possui um sistema condicionador de ar, sendo uma máquina versátil, pois permite grande mobilidade dentro da área de corte.

De acordo com Oliveira, Lopes e Fiedler (2009), Santos et al. (2013), Seixas e Castro (2014), a extração da madeira é uma das etapas influenciada por fatores como o tipo de máquina, declividade, distância de extração, experiência do operador, finalidade da madeira, tipo de floresta, espaçamento, relevo, clima, tipo de solo, recursos disponíveis entre outros.

Devido às possíveis diferenças de produtividade operacional e dos custos decorrente de fatores técnicos das máquinas florestais e silviculturais, pode ser explicada por meio da aplicação de modelos matemáticos, uma vez que, pondera as

variáveis mais relevantes, com vistas a minimizar divergências que são obtidas para o cálculo do custo de produção da extração de madeira. Ademais, a construção destes modelos, proporciona um melhor entendimento quantitativo das variáveis envolvidas.

Diante disto, o objetivo foi propor à construção de um modelo matemático para a produtividade e para o custo de produção na atividade de extração da madeira com uma máquina autopropelida *grapple skidder* em função de dois tamanhos de feixes de madeira, duas classes de declividade (plana e suave ondulado) e dois ramais de extração em uma floresta plantada de *Eucalyptus*.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma floresta plantada de *Eucalyptus*, localizada nas coordenadas geográficas 22°84'de Latitude Sul e 48°34'de Longitude Oeste, no Estado de São Paulo, Brasil. A floresta possuía um espaçamento de plantio de 3 m x 2 m, com seis anos de idade, destinadas a produção de chapas de fibra de madeira, tendo um diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 14,95 cm $\pm$ 3,62 cm, altura média 20,87 m $\pm$ 3,28 m e volume médio por árvore de 0,20 m³ por meio do inventário pré corte.

As características climáticas da região são classificadas como Cwa clima tropical de altitude, com chuvas no verão e seca no inverno, com a temperatura média do mês mais quente superior a 22° C (ALVARES et al., 2014). O solo da região é classificado como RQo2 Neossolo Quartzarenico Órtico Argissólico, A moderado ou fraco, distrófico (SANTOS et al., 2018).

As classes de declividades ponderadas no estudo foram separadas conforme a classificação brasileira de solos, desta maneira, foram caracterizadas em Classe 1: declividade de 0 a 3 % (plana); Classe 2: declividades de 3,1 a 8 % (suave ondulado), ademais, nestas classes os solos apresentavam acidez (pH 4,7) (SANTOS et al., 2018).

2.2.2 Coleta de dados

O sistema de colheita empregado era o de árvores inteiras (*full tree*), logo, a derrubada era executada por uma máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*. Por conseguinte, a extração da madeira foi realizada por uma máquina autopropelida *grapple skidder*, marca *John Deere*, modelo 848H, 4x4, com motor de 200 hp de potência, rodados pneumáticos, com uma pinça de 1,5 m² de capacidade de acúmulo de carga e com um valor de compra de US\$ 245.601,06.

A máquina autopropelida *grapple skidder* realizava o arraste das árvores do interior para a bordadura do talhão, ou seja, para a margem da estrada. Geralmente, por viagem a máquina autopropelida *grapple skidder* acumulava e carregava dois feixes de madeira previamente formados por duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *fellers buncher* com características técnicas distintas, por conseguinte, os feixes de madeira foram classificados como: Feixe 1 formado pelo *feller-buncher* 1; e Feixe 2 formado pelo *feller-buncher* 2.

Já o ramal de extração da máquina autopropelida *grapple skidder* foi composto por dois ramais, denominados R1: ramal de extração compostos por feixes de madeira em que foram realizados o corte de árvores em um eito de operação de três linhas e R2: ramal de extração composto por feixes de madeira em que foram realizados o corte de árvores em um eito de operação de quatro linhas.

Os dados de tempos foram coletados por meio do estudo de tempos e métodos, pelo método do tempo contínuo. O ciclo operacional da máquina autopropelida *grapple skidder* foi dividido em elementos de trabalho que eram realizados em uma sequência regular. O ciclo operacional foi constituído pelo tempo despendido para a realização dos seguintes elementos: deslocar sem carga (DSC), deslocar com carga (DCC), carga da madeira (CM) e descarga da madeira (DM).

Para determinar o tamanho da amostra, ou seja, para que esta seja representativa, foram observados 120 ciclos operacionais (Equação 1), conforme proposto por Stevenson (2001), com nível de confiança de 95 % e erro de 5 %.

$$n = \left(\frac{z s}{a \bar{x}} \right)^2 \quad (1)$$

em que:

n é o tamanho da amostra;

z é a constante obtida a partir do nível de confiança desejado, considerando a distribuição normal padronizada;
 s é o desvio padrão da amostra;
 α é a precisão final desejada;
 $\bar{x}$ é a média da amostra.

2.2.3 Análise técnica

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder* (Equação 2), é uma relação entre o volume de madeira extraída pela máquina florestal em metros cúbicos e o tempo efetivo de trabalho.

$$PHM = \frac{V_{mad}}{T_e} \quad (2)$$

em que:

PHM é a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida ($m^3 h^{-1}$);

V_{mad} é o volume de madeira extraída (m^3);

T_e é o tempo efetivo de trabalho (h).

2.2.4 Análise econômica

A análise econômica foi fundamentada no dólar americano por se tratar de uma moeda internacional de referência, assim, os valores monetários foram expressos em US\$, de acordo com o valor oficial da moeda a preço de venda oficial do Banco Central do Brasil. Desta maneira, foi considerado como taxa de câmbio o preço da moeda estrangeira medido em unidades e frações da moeda nacional, que era de R\$ 3,3133 em 03 de abril de 2018 em consonância aos dados disponibilizados pelo Banco Central do Brasil (2018).

O custo operacional horário da máquina autopropelida *grapple skidder* foi estimado pelo método contábil em conformidade à metodologia de controle de custos aplicados para a colheita florestal mecanizada preconizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1992), portanto, classificados em custos fixos de depreciação, juros sobre capital, mão de obra, seguros e taxas sobre propriedade. Já os custos variáveis compreenderam os valores monetários

com combustível, manutenção e reparos, peças de reposição e óleos lubrificantes e graxas.

A vida econômica da máquina autopropelida *grapple skidder* foi estimada em cinco anos, com valor de revenda de 20 % do preço de compra. Para os encargos sociais adotou-se um valor de 134 % sobre o salário do operador da máquina autopropelida *grapple skidder*.

Em relação à taxa de retorno requerida para a remuneração do capital, isto é, o custo de oportunidade do financiamento, foi calculado por meio do *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), determinado pelas ponderações do capital próprio e capital de terceiros.

O custo de capital de terceiros foi representado pela expectativa de retorno ajustada ao risco envolvido na operação, logo, o valor será equivalente à taxa de retorno de renda fixa emitida pelo Departamento do Tesouro dos Estados Unidos da América, por ser considerada uma taxa de juros real e isenta de riscos, e ainda, razoavelmente integrada ao mercado de capitais mundiais. Diante disso, foi possível calcular o WACC por meio da Equação 3.

$$WACC = k_b(1 - IR) \frac{B}{B + S} + k_s \frac{S}{B + S} \quad (3)$$

em que:

k_b é o custo de capital de terceiros;

IR é alíquota de imposto sobre a renda;

B é o valor presente da riqueza dos detentores;

S é o valor presente da riqueza dos acionistas;

k_s é o custo de capital dos acionistas.

Diante disso, foi calculado o custo do capital ordinário, que de acordo com Copeland, Murrin e Koller (2002) é o de mais difícil estimativa, porque não pode ser diretamente observado no mercado. Isto posto, foi adotado o *Capital Asset Pricing Model* (CAPM), descrito na Equação 4.

$$k_s = r_f + \beta(r_m - r_f) + \alpha_{Br} \quad (4)$$

em que:

r_f é a taxa de retorno de um ativo livre de risco

β é o coeficiente sistemático do segmento de madeira, papel e celulose;

r_m é a taxa de retorno da carteira de mercado;

$(r_m - r_f)$ é o prêmio pelo risco de mercado.

α_{Br} é o prêmio de risco do país

O custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* (US\$ m⁻³) isto é, do arraste de madeira foi calculado conforme a Equação 5, ou seja, este custo é uma relação entre o custo por hora programada da máquina e a produtividade por hora efetiva da máquina, isto é, o volume de madeira extraído por hora efetiva de trabalho da máquina autopropelida *grapple skidder*.

$$CPM = \frac{CHP}{PHM} \quad (5)$$

em que:

CPM é o custo de produção da máquina autopropelida (US\$ m⁻³);

CHP é o custo por hora programada da máquina autopropelida (US\$ h⁻¹).

2.2.5 Delineamento estatístico

O experimento foi avaliado por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC) em um esquema fatorial 2 x 2 x 2. Portanto, os tratamentos foram as combinações de três fatores descritos por: o primeiro fator em análise foram os feixes de madeira formados pelos dois modelos da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *fellers-buncher*, o segundo fator refere-se às classes de declividade do terreno e o terceiro foram o ramal de extração da máquina autopropelida *grapple skidder*.

Para a análise dos tempos dos elementos que compõem o ciclo operacional, a produtividade efetiva e o custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* avaliados nos diferentes tratamentos, foram comparados por meio da técnica de análise de variância (*Analysis of Variance* - ANOVA) para o esquema de três fatores, complementada com o teste de *Tukey-Kramer* para comparações múltiplas, considerando um nível de significância de 5 % (MONTGOMERY, 2017).

Com o intuito de construir os modelos matemáticos para produtividade e custo de produção foram ajustados por meio da técnica de regressão múltipla com procedimento de seleção de variáveis *stepwise* (DRAPER; SMITH, 1998), ponderando como variáveis explicativas os feixes de madeira formados pelas duas

máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *fellers-buncher*, a classe de declividade, o ramal de extração, o tempo efetivo e o volume da madeira por ciclo, conforme descrito na Equação 6. Os ajustes dos modelos foram avaliados pelo coeficiente de determinação ajustado (R_a^2) (DRAPER; SMITH, 1998).

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 + \varepsilon \quad (6)$$

em que:

y é a variável resposta (produtividade ou custo de produção);

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_5$ são os parâmetros a serem estimados;

x_1 é a variável *dummy* para o feixe de madeira formado pelo *feller-buncher*, com 0 = *feller-buncher* 1 e 1 = *feller-buncher* 2;

x_2 é a variável *dummy* para a classe de declividade, com 0 = Classe 1 e 1 = Classe 2;

x_3 é a variável *dummy* para o ramal de extração em função do eito de operação da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, com 0 = R1 e 1 = R2

x_4 é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

x_5 é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m³);

ε é o erro aleatório.

Ademais, para os dados coletados constatou-se, por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Bartlett, que as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias não foram verificadas, contudo, de acordo Teorema Central do Limite (MOOD; GRAYBILL; BOES, 1974; RAO, 2001) qualquer que seja a distribuição da variável de interesse para grandes amostras ($n > 30$), a distribuição das médias amostrais tenderá a uma distribuição normal à medida que o tamanho de amostra crescer. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o *software* R versão 3.5.2 (R Development Core Team, 2018).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Tempos dos elementos do ciclo operacional

Com o intuito de analisar a suficiência amostral para a máquina autopropelida *grapple skidder* foram observadas 336 ciclos operacionais o que resultou na

extração de 1.616,60 m³ de madeira, com um total de 17 horas e 39 minutos de observação da operação da máquina autopropelida durante o estudo. O que permitiu que o tamanho da amostra fosse superior à quantidade de ciclos mínimos a serem observados com legitimidade estatística que foram de 120 ciclos operacionais, com uma precisão de 2,23 %.

A aplicação do estudo de tempos e métodos na avaliação das máquinas autopropelidas da área florestal é essencial para a determinação da produtividade, o que permite avaliar os elementos que compõem o ciclo operacional, conseguindo a minimização dos erros inerentes ao processo de extração da madeira. Desta maneira, os elementos que foram considerados na operação da máquina autopropelida *grapple skidder* (Tabela 2.1) podem ser constatadas conforme as condições operacionais.

Tabela 2.1 - Tempo médio e desvio padrão dos elementos do ciclo operacional da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida *grapple skidder*

Feixe	C.D	R.E	D.S.C	D.C.C	C.M	D.M
1	1	R1	51,62 a A α (15,93)	54,95 a A α (9,46)	38,00 a A α (13,13)	4,00 a A α (0,78)
		R2	56,51 a A β (11,58)	61,44 a A α (8,65)	36,00 a A α (15,82)	4,23 a A α (1,83)
	2	R1	56,26 a A α (21,82)	87,32 b B β (30,47)	44,03 a A β (16,69)	3,71 a A α (0,58)
		R2	59,78 a A α (20,94)	72,80 a A α (34,58)	45,04 a B α (30,06)	3,91 a A α (0,73)
	1	R1	65,63 a A α (27,06)	91,40 a B β (42,15)	42,55 a B α (25,75)	4,30 a A α (0,56)
		R2	66,96 a A α (26,58)	97,20 a B β (40,22)	39,39 a A α (19,54)	4,22 a A α (0,50)
2	2	R1	56,36 a A α (24,86)	72,00 a A α (23,41)	32,78 a A α (12,03)	4,03 a A α (0,61)
		R2	60,10 a A α (23,19)	84,01 a A α (34,64)	39,45 a A α (15,81)	4,31 a A β (0,56)

Letras minúsculas comparam os ramais de extração, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam os feixes de madeira, segundo o teste de

Tukey-Kramer com 5% de significância. Legenda: Feixe 1: formado pelo *feller-buncher* 1; Feixe 2: formado pelo *feller-buncher* 2. C.D: classe de declividade, 1 (plana); 2 (suave ondulado); R.E: ramal de extração; R1: eito de operação de três linhas, R2: eito de operação de quatro linhas; D.S.C: deslocar sem carga; D.C.C: deslocar com carga; C.M: carga da madeira; D.M: descarga da madeira.

Ao analisar o fator ramal de extração para a realização dos elementos apenas para uma situação foi averiguado diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$), sendo esta diferença observada para o elemento deslocamento com carga para a condição de operação composta por Feixe 1 e Classe 2 de declividade. Ademais não foram verificadas diferenças significativas, isto pode indicar que o ramal de extração composto por feixes de madeira referentes ao eito de trabalho de três e quatro linhas da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* não afetaram a realização dos elementos da máquina autopropelida *grapple skidder* nas diferentes condições operacionais avaliadas.

Com o intuito de analisar o efeito da classe de declividade na realização do elemento deslocar com carga para as condições de operação: Feixe 1 e Ramal de extração 1; Feixe 2 e Ramal de extração 1 e Feixe 2 e Ramal de extração 2; para o elemento carga da madeira para as condições de operação: Feixe 1 e Ramal de extração 2; Feixe 2 e Ramal de extração 1 foram observadas para estas condições operacionais diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), o fato ocorrido não pode explicar a influência da classe de declividade para a realização de todos os elementos, uma possível justificativa é que por serem classes de declividade próximas não foi possível constatar a sua influência, diferentemente dos resultados encontrados por Behjou et al. (2008) e Diniz et al. (2019) ao avaliarem a extração da madeira com a máquina autopropelida *grapple skidder*, submetidas a variação da classe de declividade constataram a influência deste fator no tempo de operação e na produtividade da máquina autopropelida.

A fim de analisar o fator feixe de madeira em algumas condições de operação foram averiguadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), ou seja, para o elemento deslocar sem carga: Classe 1 de declividade e Ramal de extração 2; para o elemento deslocar com carga: Classe 1 de declividade nos Ramais de extração 1 e 2, Classe 2 de declividade e Ramal de extração 1; para o elemento carga da madeira: Classe 2 de declividade e Ramal de extração 1; para o elemento descarga da madeira: Classe 2 de declividade e Ramal de extração 2, para as condições operacionais mencionadas, o feixe de madeira que foi formado na etapa

de corte, por duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *fellers-buncher* distintas, pode ter influenciado a operação de extração, isto é, o número de árvores por feixe pode ser o fator que explique essas diferenças constatadas para estas determinadas condições operacionais e para estes determinados elementos.

Strandgard, Walsh e Mitchell (2015) relataram em seus estudos que a máquina autopropelida *grapple skidder* realizava a carga de dois a três feixes de madeira e que a produtividade da máquina poderia aumentar caso a máquina autopropelida com cabeçote de corte *feller-buncher*, formasse feixes maiores.

2.3.2 Produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder* é uma informação essencial, principalmente do ponto de vista técnico, pois, por meio desta, auxiliará o gestor florestal nas suas tomadas de decisão, seja para a adoção ou rejeição deste tipo de máquina autopropelida conforme as suas necessidades e exigências. Desta maneira, por meio da análise da produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder* (Tabela 2.2), pode ser constatada que para o fator ramal de extração não foi possível mostrar diferença estatística significativa ($p > 0,05$) em nenhuma condição de operação da máquina autopropelida, isto é, a máquina autopropelida realizando a extração dos feixes de madeira formados pela operação de corte, em que esta trabalhou em eitos compostos por três e quatro linhas de árvores não influenciaram na produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder*.

Na análise do fator classe de declividade para as seguintes condições operacionais: Feixe 1 e Ramal de extração 1 e 2, foram constatadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), com a maior produtividade para a Classe 1 de declividade, ambas para a condição operacional em que os feixes foram formados pela máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1, isto pode indicar que a operação de extração pode ter sido afetada pela operação de corte para esta combinação de máquinas e que para estas condições operacionais a classe de declividade pode estar influenciado na produtividade da máquina autopropelida. Pois, Gilanipoor, Nafaji e Heshmat Alvaezin (2012a) e Vusic et al. (2013) constataram a influência das classes de declividade na produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder*. O mesmo não foi constatado para a

condição de operação em que o corte era realizado pela máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 2 e nem o efeito da declividade foi significativo para esta condição de operação.

Para a análise do fator feixes de madeira, nas seguintes condições operacionais: Classe 1 de declividade e Ramal de extração 1, Classe 1 de declividade e Ramal de extração 2 foram averiguadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) com maior produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder* em sinergia com os feixes 1, sendo estes, formados pela máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher* 1, uma possível explicação pode ser atribuída pelo menor tempo efetivo e com menor tempo para a realização dos elementos deslocamento sem carga e deslocamento com carga. No entendimento de Wang, Long e Mcneel (2004) e Hiesl, Waring e Benjamin (2015), consideram o tamanho do feixe uma variável importante que pode influenciar o tempo de operação da máquina autopropelida com *grapple skidder* bem como a sua produtividade.

Tabela 2.2 - Produtividade por hora efetiva da máquina e desvio padrão ($m^3 h^{-1}$) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida *grapple skidder*

Feixe	C.D	Ramal de extração	
		R1	R2
1	1	126,12 a B β	128,51 a B β
		(24,52)	(23,56)
	2	98,56 a A α	103,04 a A α
		(31,29)	(29,68)
2	1	98,37 a A α	91,57 a A α
		(47,63)	(35,89)
	2	108,31 a A α	97,07 a A α
		(34,73)	(32,11)

Letras minúsculas comparam os ramais de extração, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam os feixes de madeira, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância.

Legenda: Feixe 1: formado pelo *feller-buncher* 1; Feixe 2: formado pelo *feller-buncher* 2. C.D: classe de declividade, 1 (plana); 2 (suave ondulado); R.E: ramal de extração; R1: eito de operação de três linhas, R2: eito de operação de quatro linhas.

Na construção do modelo matemático da produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder* foi aplicado o procedimento *stepwise*, em que foram mantidas no modelo de regressão múltipla, apenas variáveis com coeficientes estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), por conseguinte apresentou um $R_a^2 = 88,37 \%$. Desta maneira o modelo matemático pode ser analisado conforme descrito na Equação 7.

$$prod = 107,53 + 4,59 \times F - 3,56 \times C_d - 0,52 \times T_e + 19,18 \times V_{mad} \quad (7)$$

em que:

prod é a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida;

F é a variável *dummy* para os feixes de madeira;

C_d é a variável *dummy* para a classe de declividade;

T_e é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

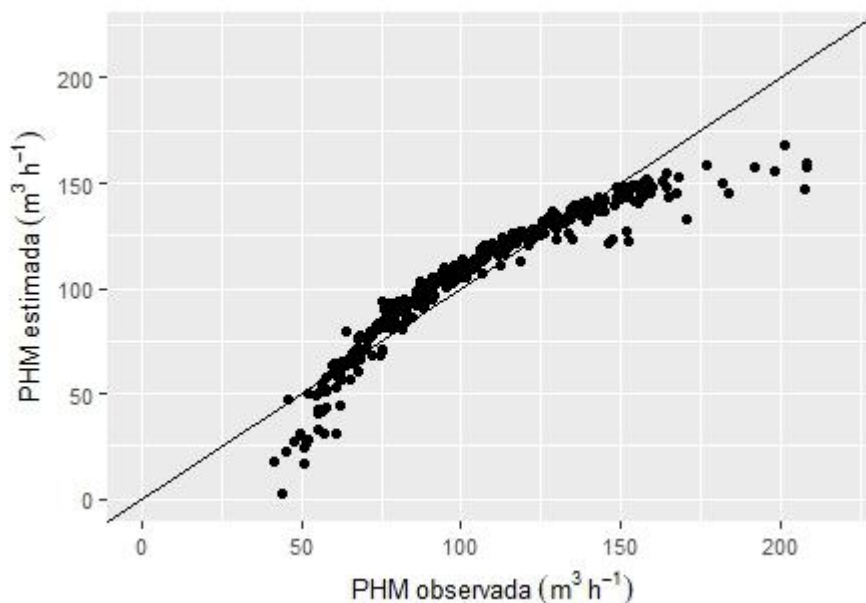
V_{mad} é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m³).

Ao analisar o modelo matemático para a produtividade efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder*, os fatores: feixe de madeira, classe de declividade, tempo efetivo e volume de madeira por ciclo operacional foram significativos. De acordo com Kulak, Stanczykiewicz e Szewczyk (2017) constataram que os fatores, número de árvores por ciclo, volume de madeira por ciclo e distância de extração e as condições do trilho (PROTO et al. 2018) foram os mais significativos na produtividade da máquina autopropelida com implemento florestal *skidder*.

Na avaliação de uma máquina autopropelida *skidder* com cabo de aço, Borz, Ignea e Popa (2014) averiguaram que a distância foi o fator mais relevante para a realização de todos os elementos operacionais e que a declividade do terreno interferiu na operação manual com o cabo de aço. Já no entendimento de Mousavi (2012), o volume da madeira foi o fator mais significativo na produtividade e no tempo do ciclo da máquina autopropelida *skidder* com cabo de aço. O mesmo fato foi observado por Lopes, Oliveira e Sampietro (2014) em que os autores avaliaram a produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder* com diferentes tipos de rodados.

Desta maneira, na Figura 2.1 pode ser constatada a produtividade observada *versus* a produtividade estimada, conforme o modelo ajustado em que foram consideradas as variáveis mais significativas.

Figura 2.1 - PHM observada versus PHM estimada



2.3.3 Previsão dos custos

As informações relacionadas aos custos, seja o custo por hora programada da máquina autopropelida bem como o custo de produção, são essenciais do ponto de vista econômico, pois o conhecimento destas informações auxilia no planejamento da colheita florestal mecanizada seja pela escolha do tipo de máquina autopropelida e até mesmo o modal de colheita. Por conseguinte, a taxa para a remuneração do capital foi calculada por meio do WACC, uma das premissas utilizadas foi à taxa de juros livre de risco de 2,36 % ao ano.

Para o cálculo do coeficiente sistemático do ativo foi realizado a partir do beta médio total, que resultou em um beta desalavancado médio de 0,33, e em seguida um beta realavancado de 0,42. Ponderou-se ainda o retorno anualizado da carteira de mercado que foi 5,06 %. E por fim, o prêmio de risco do país foi de 2,37 % calculado por meio da média geométrica do *Emerging Markets Bond Index – EMBI+Br*. Em seguida, obteve-se o CAPM de 6,85 %. Ao considerar o custo de capital de terceiros de 5,96 % e a proporção do ativo financiado por dívida de 40,84 %, o WACC foi de 9,16 % ao ano.

Desta maneira, o valor do custo por hora programada da máquina autopropelida *grapple skidder* foi de 70.76 US\$ h⁻¹. O valor do presente estudo foi superior ao determinado por Rocha et al. (2009), que para as condições

semelhantes de declividade e floresta, constataram um custo de 57.48 US\$ h⁻¹ e ao estudo realizado por Pereira, Lopes e Fiedler (2015), que encontraram um custo por hora programada da máquina autopropelida de 65.43 US\$ h⁻¹ porém, para uma floresta de *Pinus* e terreno suave ondulado. No entanto, o custo por hora programada da máquina autopropelida do presente estudo foi inferior aos resultados encontrados pelos autores Nikooy, Esmailnezhad e Naghdi (2013) para uma máquina autopropelida *grapple skidder* em um plantio de *Pinus* e Oliveira et al. (2006) para uma máquina autopropelida *clambunk skidder* em uma floresta de *Eucalyptus* e terreno ondulado.

Dentre os componentes, os custos com combustível, mão de obra e depreciação são os que mais oneram com os custos, representando junto um valor de 75,16 % do custo operacional horário do *grapple skidder*. Uma possível explicação para a variação do custo por hora programada da máquina podem ser relacionadas à fatores como tempo e a taxa utilizada para a depreciação da máquina autopropelida, valores monetários despendidos com mão de obra e os respectivos encargos sociais, os quais são inerentes à cada empresa de base florestal, e ainda, pelas despesas com combustíveis que variam em decorrência de regiões ou de países.

Com o intuito de analisar o fator ramal de extração no custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* (Tabela 2.3) não foi possível mostrar diferença estatística significativa ($p > 0,05$), o que pode indicar que o ramal de extração não influenciou no custo de produção da máquina autopropelida, ou seja, os feixes de madeira formados pelas duas máquinas autopropelidas com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*, em operação para os eitos de trabalho composto por três e quatro linhas não influenciaram o custo de produção na etapa de extração.

Para o efeito da classe de declividade, para as seguintes condições operacionais: Feixe 1 e Ramal de extração 1; Feixe 1 e Ramal de extração 2 e para o Feixe 2 e Ramal de extração 2 foram averiguadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$), o que pode explicar essas diferenças, deve-se a produtividade e ao tempo efetivo do ciclo operacional da máquina autopropelida. No entendimento de Gilanipoor, Najafi e Heshmat Alvaezin, (2012b) e Lopes e Diniz (2015) constataram que a declividade influenciou na produtividade e no custo de produção.

Ao analisar o efeito do feixe formado pela máquina autopropelida *feller-buncher*, para as seguintes condições operacionais: Classe 1 de declividade e Ramal de extração 1 e para a Classe 1 de declividade e Ramal de extração 2 foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$), com o menor custo de produção para o feixe 1, o que pode ser explicado pela maior produtividade, menor tempo efetivo na realização do ciclo operacional da máquina autopropelida e pelo número de árvores. O que pode ser corroborado por Hiesl e Benjamin (2015) e Hiesl, Waring e Benjamin (2015) em que observaram que a operação de corte influencia na operação de extração principalmente pelo número de árvores por feixe de madeira.

Tabela 2.3 - Custo médio de produção e desvio padrão (US\$ m⁻³) da extração das árvores realizada por uma máquina autopropelida *grapple skidder*

Feixe	C.D	Ramal de extração	
		R1	R2
1	1	0.59 a A α	0.58 a A α
		(0.15)	(0.16)
	2	0.79 a B α	0.74 a B α
		(0.25)	(0.21)
2	1	0.88 a B β	0.88 a A β
		(0.38)	(0.30)
	2	0.72 a A α	0.81 a A α
		(0.24)	(0.26)

Letras minúsculas comparam os eitos de trabalho, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras maiúsculas comparam as classes de declividade, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância. Letras gregas comparam os feixes de madeira, segundo o teste de *Tukey-Kramer* com 5% de significância.

Legenda: Feixe 1: formado pelo *feller-buncher* 1; Feixe 2: formado pelo *feller-buncher* 2. C.D: classe de declividade, 1 (plana); 2 (suave ondulado); R.E: ramal de extração; R1: eito de operação de três linhas, R2: eito de operação de quatro linhas.

Para a construção da modelagem do custo de produção da máquina autopropelida com *grapple skidder* foi aplicado o procedimento *stepwise*, em que foram mantidas no modelo de regressão múltipla, apenas variáveis com coeficientes estatisticamente significativos ($p \leq 0,05$), a vista disso apresentou um $R_a^2 = 97,60 \%$. Desta maneira o modelo pode ser analisado conforme descrito na Equação 8.

$$c_{prod} = 0,772 - 0,014 \times F - 0,014 \times C_d - 0,007 \times R + 0,004 \times T_e - 0,015 \times V_m \quad (8)$$

em que:

C_{prod} é o custo de produção da máquina autopropelida;

F é a variável *dummy* para o feixe de madeira;

C_d é a variável *dummy* para a classe de declividade;

R é a variável *dummy* para o ramal de extração em função do eito de operação da máquina autopropelida com cabeçote de corte de disco *feller-buncher*;

T_e é a variável *dummy* para o tempo efetivo da operação da máquina autopropelida;

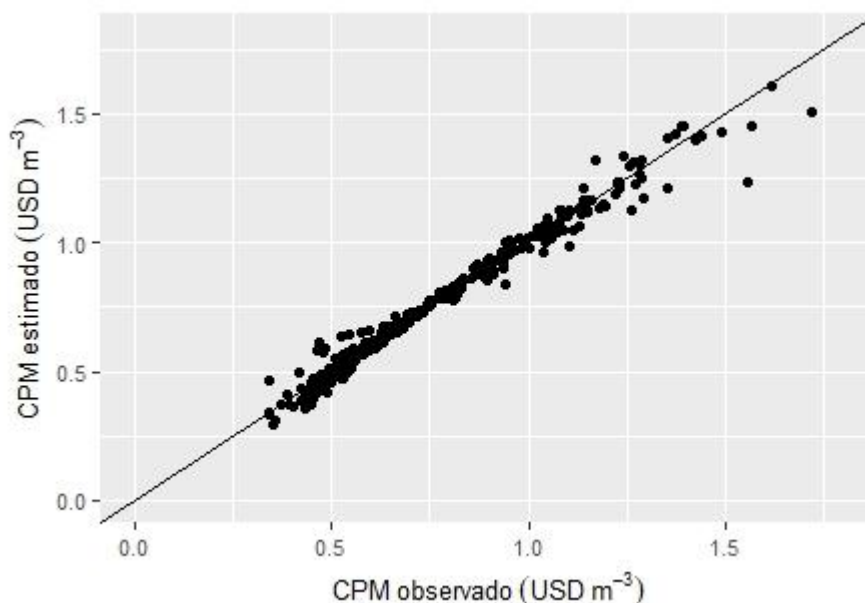
V_{mad} é a variável *dummy* para o volume da madeira em (m³).

Ao analisar o modelo matemático para o custo de produção da máquina autopropelida com *grapple skidder*, os fatores feixe, classe de declividade, tempo efetivo e volume de madeira por ciclo operacional foram significativas. De acordo com HEJAZIAN et al. (2013), o número de árvores por ciclo foi o fator mais significativo para a produtividade e no custo de produção da máquina autopropelida. Ao avaliar a produtividade e os custos de produção de uma máquina autopropelida *forwarder*, Leite et al. (2014) constataram que a classe de declividade, distância de deslocamento e volume de madeira por árvore foram os fatores mais significativos.

Ghaffarian, Acuna e Kellog (2012) e Han et al. (2018) constataram que os custos de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* foi influenciado pela distância de extração, o mesmo fato também foi corroborado por Spinelli e Magagnotti (2012) para a operação da máquina autopropelida *skidder* de cabo de aço.

Desta maneira, na Figura 2.2 pode ser constatada o custo de produção observado *versus* o custo de produção estimado, conforme o modelo ajustado em que foram consideradas as variáveis mais significativas.

Figura 2.2 - CPM observado versus CPM estimado



2.4 CONCLUSÕES

Dentre os fatores analisados, a classe de declividade e o tempo efetivo possuem uma relação inversa, já o feixe de madeira e o volume de madeira uma relação direta com a produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida *grapple skidder*.

A produtividade da máquina autopropelida *grapple skidder* na condição de operação para os feixes de madeira 1 foi 18,84 % maior em relação a condição de operação para o feixe de madeira 2.

O custo de produção da máquina autopropelida *grapple skidder* na condição de operação para os feixes de madeira 1 foi de 25,22 % menor em relação a condição de operação para o feixe de madeira 2.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen`s climate classification map for Brazil. **Meteorologisches Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 5 de mar 2018.
- BANCO CENTRAL do BRASIL. **Conversão de moedas**. Disponível em: <http://www4.bcb.gov.br/pec/conversao/conversao.asp> Acesso em: 05 de jun 2018.
- BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVORAK, J. Time studying and skidding capacity of wheeled skidder timberjack 450c in Caspian forests. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 54, n. 4, p. 183-188, 2008. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01282.pdf>. Acesso em: 13 de abr 2018.
- BORZ, S. A.; IGNEA, G.; POPA, B. Modelling and comparing timber winching performance in windthrow and uniform selective cuttings for two Romanian skidders. **Journal of Forest Research**, Londres, v. 19, p. 473-482, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1007/s10310-014-0439-0>. Acesso em: 15 de mar 2019.
- COPELAND, T. E.; MURRIN, J.; KOLLER, T. **Avaliação de empresas - valuation: calculando e gerenciando o valor das empresas**. 3 ed. São Paulo: Pearson, 2002. 516 p.
- DINIZ, C. C. C.; NAKAJIMA, N. Y.; ROBERT, R. C. G.; DOLÁCIO, C. J. F.; SILVA, F. A.; BALENSIEFER, D. F. Performance of grapple skidder in different ground inclinations. **Floresta**, Curitiba, v. 49, n. 1, p. 41-48, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/55744>. Acesso em: 13 de mar 2019.
- DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 3. ed. New York: Wiley-Interscience, 1998. 736 p.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2018.
- GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. **Silva Balcanica**, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=JObPPR7QGCSAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Productivity and cost of farm tractor skidding. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 58, n. 1, p. 21-26, 2012a. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/56461.pdf>. Acesso em: 13 de mar 2019.

GILANIPOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Optimum combination of animal and farm tractor skidding systems in wood harvesting. **Journal of Forest and Wood Products**, Tehran, v. 65, n. 1, p. 71–82, 2012b (In Persian), Disponível em: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=292025>. Acesso em: 17 de mar 2019.

HAN, H.; CHUNG, W.; SHE, J.; ANDERSON, N.; WELLS, L. Productivity and costs of two beetle-kill salvage harvesting methods in Northern Colorado. **Forests**, Basel, v. 9, p. 1-17, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/9/572>. Acesso em: 17 de mar 2019.

HEJAZIAN, M.; LOTFALIAN, M.; HOSSEINI, S. A.; FALLAH, A. Analysis and evaluation of ground skidder costs of two stands with respect to production per hour and log quality. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v. 2, n. 11, p. 24-29, 2013. Disponível em: http://www.bepls.com/oct_2013/13.pdf; Acesso em: 17 de mar 2019.

HIESL, P.; WARING, T. M.; BENJAMIN, J. G. The effect of hardwood component on grapple skidder and stroke delimeter idle time and productivity – An agent based model. **Computer and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 118, p. 270-280, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169915002859>. Acesso em: 13 de mar 2019.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. Can technology help improve grapple skidder and stroke delimeter interactions? A simulation approach. **International Journal of Forest Engineering**, v. 26, n. 3, p. 171-184, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14942119.2015.1108038?needAccess=true>. Acesso em: 17 de mar 2019.

KULAK, D.; STANCZYKIEWICZ, A.; SZEWCZYK, G. Productivity and time consumption of timber extraction with a grapple skidder in selected pine stands. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 1, p. 55-63, 2017. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-38-no.1/productivity-and-time-consumption-of-timber-extraction-with-a-grapple-skidder-in-selected-pine-stands/>. Acesso em: 14 de mar 2019.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622014000500012&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 4 de jun 2018.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 2, p. 46-73.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-38-no.2/drivers-of-advances-in-mechanized-timber-harvesting-a-selective-review-of-technological-innovation/>. Acesso em 15 de mar 2018.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; SAMPIETRO, J. A. Influence of wheeled types of a skidder on productivity and cost of the forest harvesting. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 53-62, 2014. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/31356>. Acesso em: 12 de mar 2019.

LOPES, E. S.; DINIZ, C. C. C. Produtividade do trator florestal chocker skidder na extração de madeira em terrenos declivosos. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 625-634, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/36409>. Acesso em 12 de mar 2019.

MOOD, A. M.; GRAYBILL, F. A.; BOES, D. C. **Introduction to the theory of statistics**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1974. 564p.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 9. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2017. 640 p.

MOUSAVI, R. Time consumption, productivity, and cost analysis of skidding in the Hyrcanian forest in Iran. **Journal of Forestry Research**, Harbin, v. 23, n. 4, p. 691-697, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-012-0265-1>. Acesso em: 27 de out 2018.

NIKKOY, M.; ESMAILNEZHAD, A.; NAGHDI, R. Productivity and cost analysis of skidding with timberjack 450C in forest plantations in Shafaroud watershed, Iran. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 59, n. 7, p. 261-266, 2013. Disponível em: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/19_2013-JFS.pdf. Acesso em: 14 de mar 2019.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com clambunk skidder, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 267-275, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a14v30n2>. Acesso em: 2 de dez 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de tora de pinus. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 7 de abr 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 981-989, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 14 de mar 2018.

PROTO, A. R.; MACRI, G.; VISSER, R. RUSSO, D.; ZIMBALATTI, G. Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A case study in Southern Italian forests. **Forests**, Basel, v. 9, n. 61, p. 1-12, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/2/61>. Acesso em: 21 de mar 2019.

RAO, C. R. **Linear statistical inference and its applications**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, Inc, 2001, 625 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2018. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 02 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SANTOS, P.H.A.; SOUZA, A.P.; MARZANO, F.L.C.; MINETTE, L.J. Produtividade e custos de extração de madeira de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 3, p. 511-518, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v37n3/a14v37n3.pdf>. Acesso em: 15 de mar 2018.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 4, p. 106-161.

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**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 3 de out 2018.

SPINELLI, R. MAGAGNOTTI, N. Wood extraction with farm tractor and sully: estimating productivity, cost and energy consumption. *Small scale forestry*, v. 11, n. 1, p. 73-85, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11842-011-9169-8>. Acesso em: 21 de mar 2019.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; WALSH, D.; MITCHELL, R. Productivity and cost of whole-tree harvesting without debarking in *Eucalyptus nitens* plantation in Tasmania, Australia. **Southern Forests**, África do Sul, v. 77, n. 3, p. 173–178, 2015. Disponível em:

<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600100809>. Acesso em: 12 de mar 2019.

VUSIC, D.; SUSNJAR, M.; MARCHI, E.; SPINA, R.; ZECIC, Z.; PICCHIO, R. Skidding operations in thinning and shelterwood cut of mixed stands-work productivity, energy inputs and emissions. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 61, p. 216-223, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857413003984>. Acesso em: 12 de mar 2019.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J. Production and cost analysis of a feller-buncher and grapple skidder in central Appalachian hardwood forests. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, p. 159-167, 2004. Disponível em: <http://eds.a.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=00157473&AN=15518812&h=FahdTDrDbV7mEenV0TImLboQ6NIAt5VDnXIU8h2i%2bS43QHZ9uziUt%2bnt6CCjwS%2fqJtTeiSanGPdxI2LvqKuGCg%3d%3d&crl=f&resultLocal=ErrCrlNoResuIts&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00157473%26AN%3d15518812>. Acesso em: 20 de fev 2018.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE TÉCNICA-ECONÔMICA DO GRAPPLE PROCESSOR: UMA ABORDAGEM ESTOCÁSTICA

RESUMO

O processamento de toras de *Eucalyptus* é uma atividade intrínseca ao sistema *full tree* de colheita florestal mecanizada, realizado comumente por *grapple processors*, portanto, é uma atividade que possui incertezas associadas, sobretudo aos fatores técnicos e silviculturais. Destarte, objetivou-se a aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras com dois modelos distintos de *grapple processor*. Os dados de campo foram obtidos em uma área que havia uma floresta plantada com *Eucalyptus*, localizada no Estado de São Paulo, Brasil. Para a análise técnica aplicou-se o protocolo do estudo dos tempos, pelo método de leitura contínua dos elementos do ciclo operacional que resultaram em produção. Quanto aos cálculos das estimativas do custo por hora programada da máquina autopropelida fundamentou-se na metodologia preconizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. A incorporação das incertezas foi por meio da aplicação do método de simulação de Monte Carlo com a geração de 100.000 valores pseudo aleatórios. Os resultados demonstraram que o movimento vazio da grua é o elemento operacional que mais impacta no tempo total do processamento das toras; as variáveis que mais influenciam na produtividade por hora da máquina autopropelida são específicas para cada modelo de *grapple processor*. Conclui-se que o custo de produção para a *grapple processor* com área útil de 0,58 m² foi 6,67 % inferior a *grapple processor* com área útil de 0,85 m².

Palavras-chave: Colheita florestal. Eucalipto. Custos de produção. Monte Carlo. Produtividade por hora máquina.

TECHNICAL-ECONOMIC ANALYSIS OF THE GRAPPLE PROCESSOR: A STOCHASTIC APPROACH

ABSTRACT

The processing of Eucalyptus logs is an intrinsic activity to the full tree system of mechanized forest harvesting, commonly performed by grapple processors, therefore, it is an activity that has associated uncertainties, especially the technical and silvicultural factors. The purpose of this study was the application of the Monte Carlo method for determination of probabilistic technical-economical coefficients of the log processing with two different grapple processor models. The field data were obtained in an area that had a forest planted with Eucalyptus, located in the São Paulo State, Brazil. For the technical analysis, the time study protocol was applied by the method of continuous reading of the elements of the operational cycle that resulted in production. Regarding the calculations of the estimated scheduled hourly cost of the self propelled machine, it was based on the methodology recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations. The incorporation of the uncertainties was through application of the Monte Carlo simulation method with the generation of 100,000 random values. The results showed that the empty crane movement is the operational element that most impacts the total time of processing of the logs; the variables that most influence the hourly productivity of the self propelled machine are specific to each grapple processor model. It concludes that the production cost for the grapple processor with a useful area of 0.58 m² was 6.67 lower than the grapple processor with a useful area of 0.85 m².

Keywords: Forest harvesting. Eucalyptus. Production costs. Monte Carlo. Productivity per hour machine.

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o plantio comercial de espécies florestais, principalmente do gênero *Eucalyptus* sp. é importante do ponto de vista econômico, devido a geração de empregos diretos e indiretos (3,7 milhões), contribuindo com aproximadamente 1 % do produto interno bruto (PIB) do país, e ainda, ocupam uma área de 5,7 milhões de hectares (IBÁ, 2017). Nesta perspectiva, a otimização da operação de colheita florestal mecanizada, a qual é comumente empregada no Brasil, torna-se de suma importância devido à aplicação de capital demandado para a aquisição das máquinas autopropelidas demandadas por cada atividade florestal.

Neste sentido, no entendimento de Enache et al. (2015), Lindroos, La Hera e Haggstrom (2017) e Norihiro et al. (2018), como premissa, é importante a compreensão dos fatores técnico-econômicos, com vistas ao adequado dimensionamento das máquinas autopropelidas e implementos florestais, com vistas a sustentabilidade financeira de toda a cadeia florestal produtiva. No Brasil, dentre os sistemas de colheita florestal mais utilizado, destaca-se o sistema *full tree* (MALINOVSKI et al., 2014).

Neste sistema, o processamento das árvores inteiras é realizado após a etapa da extração, portanto, visa o seccionamento das toras em comprimentos que variam principalmente em consonância ao modal de transporte e aos processos industriais. De acordo com Spinelli, Ebone e Gianella (2014) esta operação pode ser realizada por um *grapple processor*. O qual é definido como uma máquina autopropelida com um implemento florestal acoplado que realiza o destopamento das árvores, delimita o comprimento e processa os feixes de árvores e, ainda, tipicamente são equipados com sensores que aferem comprimento e diâmetro (KELLOG; BETTINGER, 1994).

A atividade de processamento de toras é parte essencial do modal de colheita de madeira mecanizada, logo, deve ser avaliada sob o aspecto técnico-econômico, sobretudo, ponderando as incertezas associadas com vistas à mensuração das probabilidades de ocorrências das variáveis de interesse. Assim, uma das possibilidades é a adoção de modelos probabilísticos, que de acordo com Jastad et al. (2018) são os mais adequados à realidade, porque levam em consideração o fator incerteza, bem como as relações entre as variáveis que o compõem.

Para Raadgever et al. (2011) as incertezas podem ser definidas como uma situação em que não ocorre a compreensão de forma única e completa de um

determinado sistema a ser gerenciado, sendo essencial a identificação dos riscos, suas fontes e o seu impacto no projeto em análise (MERKOVA; DRÁBEK, 2015). Uma das técnicas que associam essas incertezas é a aplicação da simulação pelo método de Monte Carlo, que segundo Vajargah e Salimpour (2017) é um método aplicado para calcular o valor esperado de uma variável aleatória, proporcionando uma abordagem de cenários mais complexos com maior grau de confiabilidade (CHIACCHIO et al., 2016). Ressalta-se ainda, que este método pode ser aplicado em diversas áreas, como por exemplo, para uma série de dados, a fim de obter projeções de produtividade de um determinado sistema de colheita florestal mecanizado (ROBINSON; McLARIN; MOSS, 2016).

Diante deste contexto, pode-se assumir que a atividade do processamento de toras possui incertezas associadas, e a não consideração destas incertezas podem conduzir os gestores florestais à decisões equivocadas, o que justifica a construção de modelos com a abordagem estocástica desta atividade. Por conseguinte, objetivou-se a aplicação do método de Monte Carlo para a determinação de coeficientes técnico-econômico probabilísticos do processamento de toras de *Eucalyptus* com dois modelos de *grapple processor* que possuíam características técnicas distintas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Dados de campo

A área do estudo estava localizada nas coordenadas geográficas: 22°84'de Latitude Sul e 48°34'de Longitude Oeste, no Estado de São Paulo, Brasil. Nesta região, a temperatura média anual é de 19,7° C, com chuvas no verão e seca no inverno (ALVARES et al., 2014), e a precipitação anual é de aproximadamente 1428,4 mm distribuída ao longo do ano (CUNHA; MARTINS, 2009). Ademais, o solo é classificado como RQo2 Neossolo Quartzarenico Órtico Argissólico, A moderado ou fraco, distrófico (SANTOS et al., 2018), e com solos que apresentavam acidez forte (pH 4,7).

Logo, havia uma floresta plantada com *Eucalyptus* em uma primeira rotação, em espaçamento de plantio de 3 m x 2 m, com seis anos de idade. Pautados em dados do inventário pré-corte, a altura média das árvores era altura média 20,87 m ±

3,28 m, com diâmetro a altura do peito (DAP) médio de 14,95 cm $\pm$ 3,62 cm e volume médio por árvore de 0,20 m³.

3.2.2 Produtividade da operação

Para o desenvolvimento do estudo, considerou-se um único operador, o qual possuía 18 meses de experiência na operação de processamento de toras. Destarte, foi ponderada uma máquina autopropelida equipada com um *grapple processor*. Esta máquina era da marca *John Deere*, modelo 2154 D, com 13.514 horas de uso acumulada, 159 hp de potência nominal, rodados de esteira e com massa de 25.744 Kg. Na extremidade dianteira da máquina havia uma grua hidráulica com 8,90 m, na qual estava acoplado o *grapple processor* da marca J de Souza e velocidade de corte de 4,55 m s⁻¹. O *grapple processor* realizava o movimento dos feixes das árvores no sentido longitudinal em direção à serra transversal para processamento de toras com 7,20 m de comprimento junto às margens das estradas florestais.

Isto posto, foram avaliadas duas condições operacionais, isto é, com *grapple processor* que diferiram em relação a abertura máxima das garras, os quais foram caracterizados como: *grapple processor* 1 que é caracterizado pelas garras que permitiam a abertura máxima de 2.150 mm, desta maneira com uma área útil de 0,58 m², uma serra de 45", massa total de 940 Kg, adquirida por US\$ 30.858,26; e *grapple processor* 2 que é caracterizado pelas garras que permitiam a abertura máxima de 2.400 mm, isto é, com uma área útil de 0,85 m², com uma serra de 52", massa total de 1.150 Kg, comprada por US\$ 40.167,21.

Para investigar a produtividade por hora efetiva da máquina (PHM) autopropelida (m³ PHM⁻¹), ou seja, a relação do volume de toras processadas em metros cúbicos pelo tempo horário efetivo de trabalho da máquina autopropelida, aplicou-se o protocolo do estudo dos tempos, usando um cronômetro digital pelo método de leitura contínua dos elementos do ciclo operacional que resultaram em produção, em consonância à Strandgard, Mitchell e Wiedemann (2019), quer dizer, excluindo os atrasos. Assim, os elementos do ciclo operacional (ECO) foram divididos em: pegar feixes de madeira (PFM); carregar feixes de madeira (CFM); processamento das toras (PTO) e movimento vazio da grua (MVG).

De acordo com Howard (1989) os estudos de tempos geralmente são feitos usando técnicas de amostragem. Neste sentido, para o cálculo do número mínimo

de ciclos operacionais, foram observados 60 ciclos operacionais para uma estimativa preliminar do tamanho da amostra, considerando os tempos médios dos ECO ($\bar{x}$) e o desvio padrão da amostra (s), conforme Stevenson (2001), com um grau de precisão de 95 % e erro de 5 %.

3.2.3 Custos inerentes a operação

Os cálculos das estimativas do custo por hora programada da máquina (CHP) autopropelida (US\$ CHP⁻¹), conforme Vangansbeke et al. (2015) e Klepac e Mitchell (2016), com base no número de horas que uma máquina está programada para funcionar em um ano e na taxa de utilização da máquina, fundamentou-se na metodologia de controle de custos da colheita florestal mecanizada preconizada pela *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1992).

Os custos fixos, os quais independem da utilização da máquina incluíram os dispêndios com os seguintes elementos de custo (EC): depreciação, juros sobre o capital aplicado, mão de obra, seguros e taxas sobre a máquina autopropelida. Em relação aos custos variáveis, logo, dependentes do grau de utilização de máquina, abrangeram os valores monetários dispendidos com os elementos de custo: combustível, manutenção e reparos, peças de reposição e óleos lubrificantes e graxas.

A máquina autopropelida foi comprada por US\$ 238.796 em 2015 e estava com 13.514 horas de uso acumuladas, e a vida econômica prevista foi de cinco anos, com valor residual de US\$ 47.759. Ademais, o salário do operador era de US\$ 3.06 por hora de trabalho, ao qual foi acrescido 134 % referente aos encargos sociais.

Quanto aos juros que representaram a remuneração do capital aplicado, foi adotado o *Weighted Average Cost of Capital* (WACC), devido à empresa proprietária da máquina autopropelida possuir a participação do capital de terceiros, isto é, a contração de dívidas. Isto posto, fundamentalmente fez-se necessário o cálculo da estimativa do custo do capital próprio, obtido por meio do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM).

À vista disso, o custo de produção da máquina (CPM) autopropelida (US\$ m³) empregada para o processamento de toras foi estimado assumindo a perspectiva tradicional, que se refere, a razão entre o custo por hora programada da máquina

autopropelida (US\$ h⁻¹) e a produtividade por hora efetiva da respectiva máquina (m³ h⁻¹).

3.2.4 Simulando a incerteza

Indubitavelmente, o protocolo do estudo dos tempos aplicados à colheita de madeira é uma premissa para o dimensionamento dos modais, conseguinte, para a determinação dos custos de produção, no entanto, este protocolo não consente ponderar as incertezas associadas aos parâmetros envolvidos, sobretudo devido às estimativas dos tempos serem calculadas para condições específicas. Além disto, o custo por hora programada da máquina foi estimado de forma direta, logo, determinístico, caracterizando-o em condições de incertezas.

Assim, foram definidos como parâmetros de entrada (*inputs*) as seguintes variáveis: elementos de custo, aos quais foram atribuídas distribuições de probabilidade triangular em consonância à Stein e Keblis (2009), Simões et al. (2018), Fazlollahtabar (2019), pautado nos cálculos dos valores-base, considerando uma variação de $\pm 15,0\%$. Aos dados de campo dos ECO e ao volume de madeira processado por ciclo (VMP) foram ajustadas distribuições de probabilidades e, calculada a *Spearman's rank* entre os ECO devido ao pressuposto de influência no tempo total do ciclo operacional.

De modo consequente, aplicou-se o método de simulação de Monte Carlo com a geração de 100.000 números pseudo aleatórios, realizados por meio do software @Risk Copyright © 2018 Palisade Corporation (2018). O gerador de números foi o *Mersenne Twister*, fixando-se o parâmetro inicial para os modelos matemáticos. A partir dos dados amostrais contínuos obtidos nos resultados simulados, realizou-se a análise das variáveis de saída (*outputs*), que foram a PHM, o CHP e o CPM. Nesta perspectiva, para a PHM foram calculadas as contribuições da variância de cada *input* (ECO e VMP), quer dizer, o quanto cada *input* explicou da variância deste *output*. Para o CHP e CPM foram adotados o *Spearman's rank* (ZHANG et al., 2016; KUMAR; ABIRAMI, 2018; WANG; WANG; WANG, 2019) com vistas a identificar a força da relação monotônica entre as variáveis dependentes e independentes.

Por fim, considerando tanto os *inputs* quanto os *outputs*, a seleção de distribuições de probabilidades foi realizada por meio do *Bayes Information Criterium*

(BIC) (BURNHAM; ANDERSON; HUYVAERT, 2011; MEHRJOU; HOSSEINI, ARAABI, 2016; CAMPOS et al. 2018) e, para o diagnóstico do pressuposto de normalidade foi aplicado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (KS) ao nível de 1 % de significância (XIAO, 2017; BASELICE et al., 2019; FANG; CHEN, 2019).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Análise dos tempos do ciclo operacional dos *grapple processors*

Ao considerar a suficiência amostral, foram analisados 134 e 286 ciclos operacionais, respectivamente para o *grapple processor* 1 e *grapple processor* 2. Neste sentido, respectivamente, a precisão da amostra foi de 3,87 % e 3,11 %, pautado no tamanho mínimo da amostra que foi de 60 ciclos operacionais. Outrossim, o tempo total de duração do estudo foi de 13 horas e 20 minutos, o que possibilitou o processamento de 1.466,80 metros cúbicos de madeira.

Ao sopesar o *grapple processor* 1, constatou-se que o tempo médio do ciclo operacional foi de 96,94 segundos, decorrente de 5,3 segundos demandados para o PFM, 26,3 segundos consumidos com o CFM, 15,6 segundos para o PTO e 39 segundos requerido para o MVG. Portanto, o MVG foi o ECO que mais interviu no tempo do processamento das toras, corroborando com Minette et al. (2008) e Ghaffariyan, Acuna e Kellog (2012) em estudos sobre a PHM do *grapple processor*.

Sendo assim, na Tabela 3.1 são apresentadas informações das distribuições de probabilidade para os quatro ECO que compuseram a operação do *grapple processor* 1, geradas a partir das condições reais, constatando que os dados de campo de cada elemento seguiram distribuições de probabilidades, o que quer dizer, que possuem comportamentos específicos. Em análise do PFM o melhor ajuste de distribuição foi por meio da distribuição de probabilidade Exponencial, a qual de acordo com Lemonte (2013) trata-se de um modelo estatístico popular e provavelmente um dos modelos paramétricos com aplicação em diversas áreas de conhecimento.

Quanto ao CFM e o PTO os melhores ajustes obtidos foram a distribuição de probabilidade Gaussiana inversa que no entendimento de Lin e Wu (2011) e Wu e LI (2012) é uma distribuição utilizada como ferramenta de modelagem útil para ajustar dados com assimetria à direita e positivos. Deste modo, estes ECO possuem uma

distribuição assimétrica e leptocúrtica e tendem a se aproximar de uma distribuição Normal, que no entendimento de Ming, Yi e Shihua (2019) e Guan et al. (2019) podem representar as incertezas e pelo fato da obtenção de pequeno desvio padrão. Com referência ao MVG o melhor ajuste de distribuição de probabilidade foi a distribuição Gamma, que segundo Saitou (2013) e Tarbush (2018) é definida pelos parâmetros de forma ($\alpha > 0$) e escala ($\beta > 0$), a qual possui cauda direita mais fina. Assim, o comportamento do MVG foi descrito por meio de dois parâmetros tendo como pressuposto um conjunto de dados com um intervalo de valores conhecidos.

Tabela 3.1 - Parâmetros das distribuições dos *inputs* do *grapple processor* 1

ECO	Distribuições	α	β	μ	λ
PFM	Exponencial	-	2,29	-	-
CFM	Gaussiana inversa	-	-	13,85	19,40
PTO	Gaussiana inversa	-	-	9,87	15,80
MVG	Gamma	1,28	17,30	-	-

Com o intuito de analisar o tempo dos elementos do ciclo operacional referentes ao *grapple processor* 2, constatou-se que o tempo médio do ciclo operacional foi de 110,70 segundos, desta maneira, o tempo médio dos elementos foram de: 6,7 segundos para o PFM, 30,6 segundos para o CFM, 19,5 segundos para o PTO e, de 49,4 segundos para o MVG. Portanto, condição análoga ao *grapple processor* 1, isto é, o elemento MVG foi o que exigiu maior tempo do ciclo operacional, o que também foi confirmado por Fernandes et al. (2009) ao analisarem *grapple processors*.

Desta maneira, ao analisar os ECO do ciclo operacional do *grapple processor* 2 (Tabela 3.2), reconheceu-se que para o PFM o melhor ajuste de distribuição foi por meio da distribuição Exponencial, a qual segundo Balakrishnan e Davies (2013) e Ristic e Kundu (2015) uma das características desta distribuição é a sua aplicação em diversas áreas de estudo. Além disto, para o CFM e PTO os melhores ajustes foram obtidos para as distribuições de probabilidades Triangular considerada uma classe bem conhecida de distribuições e frequentemente utilizada em situações em que a variável aleatória não pode ser determinada (GLICKMAN; XU, 2008; NGUYEN; MCLACHLAN, 2016). Sobre o MVG, o melhor ajuste de distribuição de probabilidade foi por meio da distribuição Gamma, que segundo Gomes, Combes e

Dussauchoy (2008) e Boeck et al., (2011) esta distribuição é frequentemente usada para modelar dados com assimetria a direita.

Tabela 3.2 - Parâmetros das distribuições dos *inputs* do *grapple processor* 2

ECO	Distribuições	Min.	Prov.	Max.	α	β
PFM	Exponencial	-	-	-	-	3,68
CFM	Triangular	15,34	19,57	57,39	-	-
PTO	Triangular	6,21	11,00	41,12	-	-
MVG	Gamma	-	-	-	1,25	25,05

Ao explorar os tempos médios dos ECO, foi possível constatar que as características técnicas das máquinas influenciaram no tempo total da operação, considerando que as demais variáveis que poderiam intervir sobre os tempos dos ciclos operacionais foram mantidas constantes. Portanto, a diferença da massa dos implementos florestais (210 kg) decorrente da área útil e, conseguinte, da quantidade de árvores por ciclo, exigiu a intensificação de força mecânica no braço hidráulico da máquina autopropelida, o que demandou maior tempo para a realização dos elementos, principalmente pelo MVG, pois foi o ECO que exigiu maior movimentação do implemento florestal.

3.3.2 Análise estocástica da produtividade por hora efetiva

A produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida com implemento *grapple processor* pode ser considerada como o *cost drivers* mais importante da atividade de colheita florestal, em outras palavras, a partir deste coeficiente técnico é possível estabelecer o custo de produção da operação.

À vista disso, como premissa, constatou-se que para o *grapple processor* 1 os dados da PHM não seguem uma distribuição Normal ($KS=0,0061$). Assim sendo, a PHM teve o melhor ajuste ($BIC=1.090.122,11$) por meio da distribuição de probabilidade Gamma com parâmetro de forma $\alpha=4,30$ e parâmetro de escala $\beta=29,29$, com assimetria forte e positiva (0,96) e grau de curtose platicúrtica (4,39). Em conformidade com Timpson et al. (2018) e Bobotas (2019), esta distribuição de probabilidade é um modelo importante na teoria e prática estatística, por considerar os parâmetros forma e a dispersão dos dados em torno da média. Isto posto, a PHM média foi de $144,33 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e desvio padrão de $\pm 61,17 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

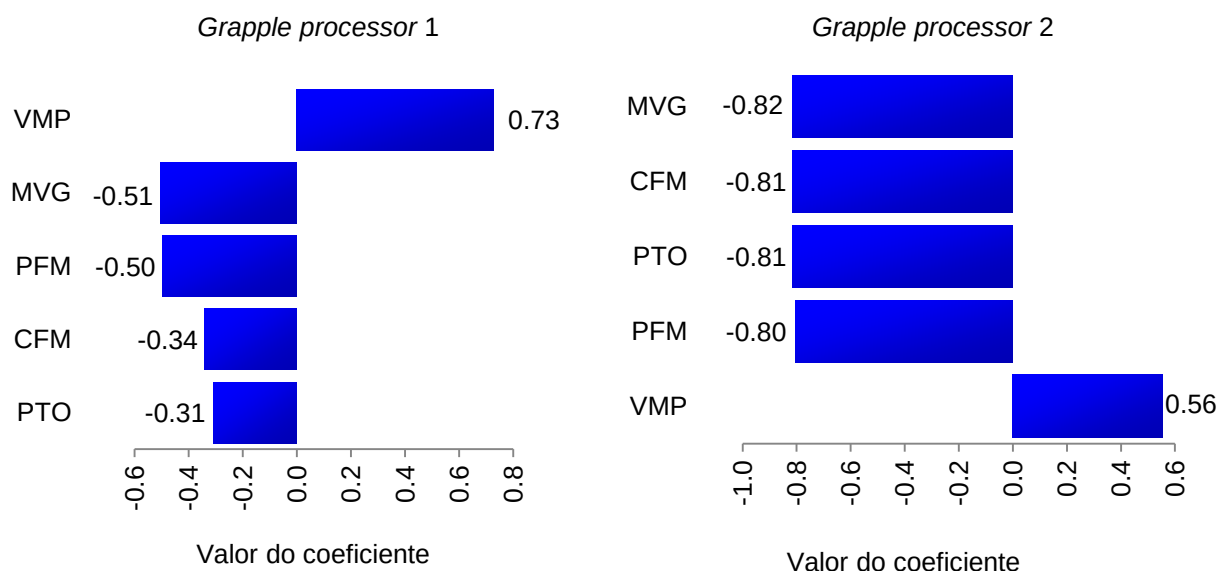
No que diz respeito ao *grapple processor* 2 os dados da PHM também não seguiram uma distribuição Normal ($KS=0,0098$) e, similarmente ao *grapple processor* 1, o melhor ajuste ($BIC=1.122.784,92$) foi por meio do modelo de distribuição de probabilidade Gamma ($\alpha=2,85$ e $\beta=44,61$). Ao observar os coeficientes de assimetria e curtose, os quais de acordo com Zhou (2002) auxiliam na quantificação dos desvios da distribuição, aferiu-se para a distribuição ajustada uma assimetria forte e positiva (1,18) com grau de curtose platicúrtica (5,10). Assim, a PHM média foi de $147,04 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e desvio padrão de $\pm 75,36 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, ou seja, valores superiores aos determinados por Fiedler, Rocha e Lopes (2008) que constataram uma PHM média de $84 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, todavia, esta diferença pode ser atribuída à área útil do *grapple processor*, seguido do VMP conforme relato destes autores.

Caracterizando a associação dos ECO e do VMP com a PHM, observa-se na Figura 3.1 que para o *grapple processor* 1 o VMP possui uma correlação não linear moderada positiva ($\rho_s=0,73$), quer dizer, com o aumento do VMP, há uma tendência no aumento da produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida. Esta condição é corroborada pelos estudos realizados por Lopes et al. (2008) e Strandgard, Alan e Mitchell (2014), os quais salientam que o volume das árvores foi o fator que mais influenciou na PHM dos *grapple processors*.

Em relação ao MVG e PFM a correlação não linear pode ser considerada moderada negativa ($0,50 < |\rho_s| < 0,51$) e para o CFM e PTO foi possível caracterizar uma correlação não linear fraca negativa ($0,31 < |\rho_s| < 0,34$).

No que concerne o *grapple processor* 2 constatou-se a existência de correlações que podem ser consideradas fortes negativas ($0,80 < |\rho_s| < 0,82$) entre a PHM e os ECO, outrossim, uma correlação moderada positiva ($\rho_s=0,56$) entre o VMP e a PHM, ou seja, existe uma relação direta. Portanto, quanto maior VMP por ciclo operacional ocorrerá o aumento da produtividade por hora efetiva da máquina autopropelida.

Figura 3.1 - Spearman's rank das cinco variáveis dependentes que mais influenciaram a PHM



3.3.3 Análise estocástica dos custos da operação

Os cálculos das estimativas do custo por hora programada da máquina autopropelida não é uma incumbência simples e, diante disso, têm sido uma temática polêmica tanto no meio científico quanto nas empresas de base florestal, sobretudo, devido à precisão das informações que pode ser considerada uma utopia. Justificando esta condição, foi possível por meio da geração dos valores aleatórios, constatar que os dados do CHP do *grapple processor 1* não seguem uma distribuição Normal ($KS=0,0028$), e nesta situação, o melhor ajuste ($BIC=374,640.72$) foi obtido pelo modelo de distribuição Beta com parâmetros de forma contínuos ($\alpha_1, \alpha_2 > 0$) $\alpha_1=13.53$ e $\alpha_2=10.20$.

Jung, Shin e Park (2019) e Du et al. (2019) evidenciam que a distribuição Beta permite flexibilidade de modelar diversos ambientes de dispersão. Quanto à assimetria (-0.11) que pode ser considerada fraca e negativa, para Milanesi (2013), este valor corrobora que a distribuição de probabilidade não segue uma distribuição Normal, além disso, com um grau de curtose platicúrtica (2.79). É oportuno evidenciar que a curtose refere-se ao grau de achatamento ou elevação relativa de uma distribuição (CHU, 2011; MIGUEL et al., 2014).

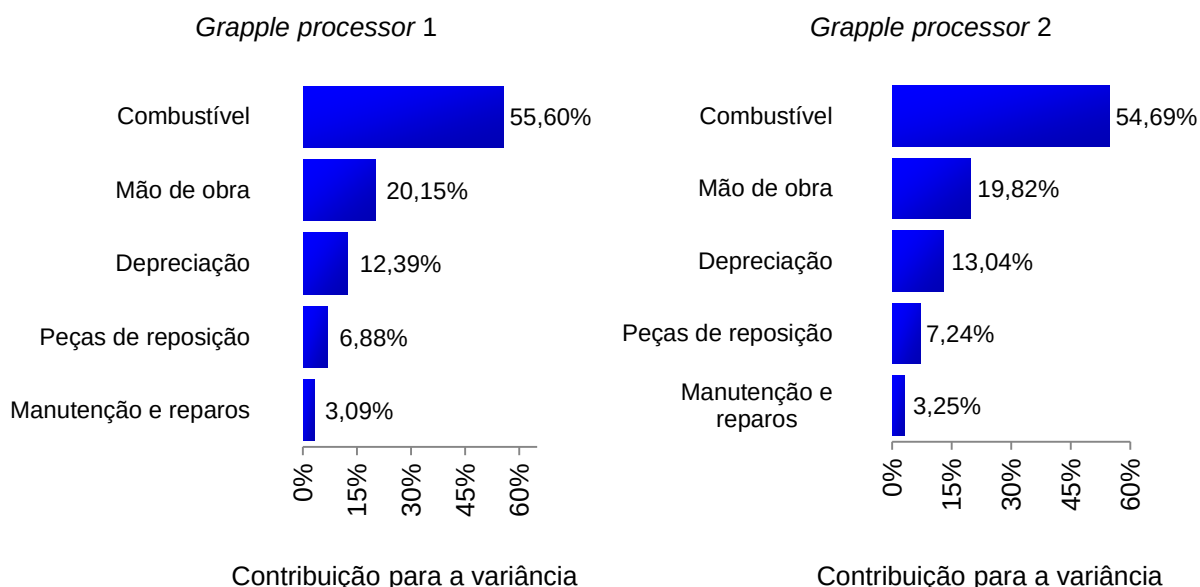
Isto posto, o CHP médio do *grapple processor* 1 foi 67.11 US\$ h⁻¹ e desvio padrão de ± 1.58 US\$ h⁻¹, considerando-se o valor mínimo de 58.07 US\$ h⁻¹. Estes valores monetários foram superiores às estimativas de cálculos realizadas por Rocha et al. (2009), os quais obtiveram o valor de 58.47 US\$ h⁻¹ para as condições semelhantes de floresta. Cabe ressaltar que as diferenças das estimativas de cálculos do CHP podem ser explicadas pelos cálculos adotados, ou melhor, por meio das metodologias diretas que possuem fatores técnicos distintos, ou ainda, calculados por meio do consumo de recursos.

Dentre os EC que compuseram o CHP na operação do *grapple processor* 1 (Figura 3.2), o dispêndio monetário com combustível foi o que mais contribuiu (55,60 %) para a variância do valor médio do CHP, ou seja, o CHP médio alternou-se entre 65.01 US\$ h⁻¹ e 69.04 US\$ h⁻¹. Outro EC que presumiu-se ser determinante foi a mão de obra que contribuiu com 20,15 % para a variância do CHP, exprimindo uma variação do CHP entre 65.83 US\$ h⁻¹ a 68.26 US\$ h⁻¹.

Ao analisar o CHP do *grapple processor* 2 foi constatado que os dados não seguem uma distribuição Normal (KS=0,0026), sendo que o melhor ajuste (BIC=376,302.95) foi obtido pelo modelo de distribuição Beta com parâmetros de forma contínuos $\alpha_1=13.90$ e $\alpha_2=10.47$. Desta maneira, o CHP médio foi de 68.11 US\$ h⁻¹ e desvio padrão de ± 1.59 US\$ h⁻¹, considerando-se o valor mínimo de 58.87 US\$ h⁻¹. O CHP médio foi US\$ 15.25 inferior ao CHP obtido por Magagnotti et al. (2013), os quais aplicaram a metodologia proposta por Miyata (1980).

Ao observar os respectivos EC, também verificou-se que o gasto monetário com combustível foi o que mais impactou no valor da variância do CHP, ou seja, representou 54,69 %, da variância do valor médio do CHP, isto é, o valor médio alternou-se entre 66.01 US\$ h⁻¹ e 70.03 US\$ h⁻¹. Logo em seguida, a mão de obra contribuiu com 19,82 % para a variância do CHP, revelando uma variação do CHP entre 66.83 US\$ h⁻¹ e 69.25 US\$ h⁻¹. Deste modo, o dispêndio monetário com combustível para ambos os *grapple processors* é o que mais impacta o CHP, corroborando Simões, Fenner e Esperancini (2014) ao analisarem os custos de produção de um *grapple processor* durante o processamento de toras de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden com 6 metros de comprimento.

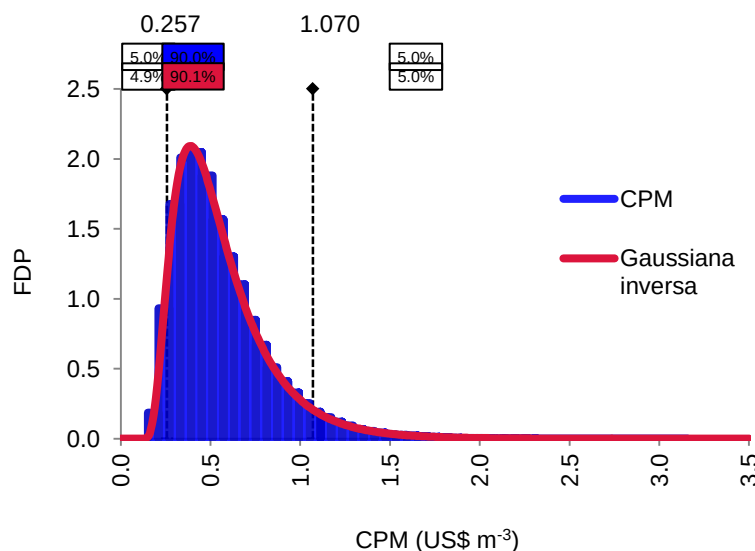
Figura 3.2 - Contribuição dos elementos de custo (US\$ h⁻¹) para a variância do CHP



Ao considerar-se o CPM com *grapple processor 1*, comprovou-se que este não segue uma distribuição Normal ($KS=0,0027$) e, diante disso, o melhor ajuste ($BIC=-21,888.61$) foi obtido pelo modelo de distribuição Gaussiana inversa, que no entendimento de Ye e Chen (2014) e Lu (2016) este tipo de distribuição baseia-se em dois parâmetros de distribuições de probabilidade contínuas e por ser flexível ao incorporar efeitos aleatórios e variáveis explicativas são amplamente aplicadas, ainda, com assimetria forte e positiva (1.64) e grau de curtose platicúrtica (7.46). Desta maneira, o CPM médio foi $0.56 \text{ US\$ m}^{-3}$ e desvio padrão de $\pm 0.26 \text{ US\$ m}^{-3}$, e ainda com os percentis 5 e 95 demonstrados na Figura 3.3, significando que 95 % dos valores aleatórios gerados para o CPM estão entre US\$ 0.26 e US\$ 1.07.

Para a análise dos *inputs* que mais influenciaram o CPM, ou seja, os *Spearman's rank* do *grapple processor 1* em relação à variável de interesse, apurou-se que o VMP foi o *input* que mais influenciou negativamente o CPM, devido à correlação forte negativa ($\rho_s=-0.72$), seguido do MVG e PFM, os quais apresentaram coeficientes moderado positivo ($\rho_s=0.50$). Embora estas classificações possam ter um caráter ambíguo, as interpretações foram pautadas de acordo com Daniel (1978).

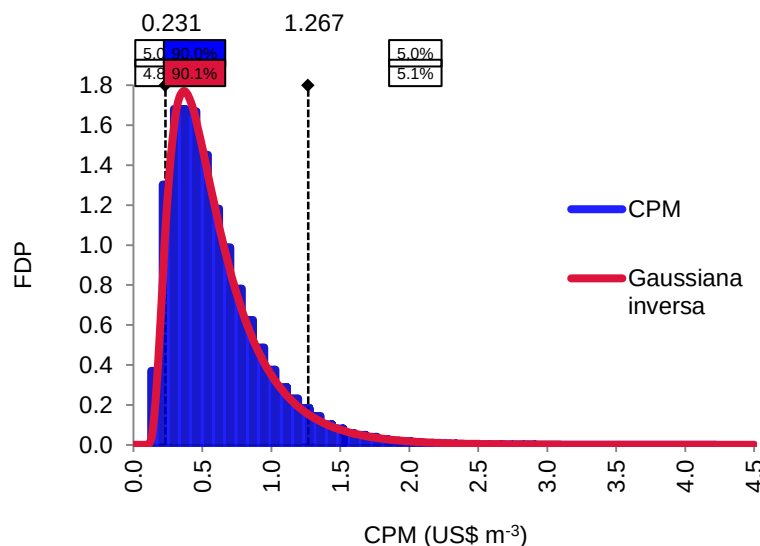
Figura 3.3 - Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o *grapple processor* 1



Para a análise do CPM com *grapple processor* 2, os dados não seguem uma distribuição Normal ($KS=0,0068$), desta maneira, o melhor ajuste ($BIC=22,139.23$) foi obtido pelo modelo de distribuição Gaussiana inversa, com assimetria forte e positiva (1.87) e grau de curtose platicúrtica (8.80). De acordo com Hou e Wentzell (2011) e Liu et al. (2018), uma curtose platicúrtica tem como característica distribuições largas e planas. Desta maneira, resultou em um custo de produção de $0.60 \text{ US\$ m}^{-3}$ e desvio padrão de $\pm 0.35 \text{ US\$ m}^{-3}$ e ainda com os percentis 5 e 95 demonstrados na Figura 3.4, ou seja, 5 % dos valores aleatórios gerados do CPM são menores que US\$ 0.23 e 5 % são maiores que US\$ 1.27.

Já ao considerar-se os *inputs* mais significativos para o CPM com *grapple processor* 2, foi constatado um coeficiente de correlação de *Spearman* para os elementos MVG, CFM, PTO e PFM forte positivo ($\rho_s=0.80$). Ao analisar o CPM para o *grapple processor* 1 e para o *grapple processor* 2, os valores foram inferiores quando comparados ao estudo realizado por Bolding, Kellog e Davis (2009) para a operação de um *grapple processor* em floresta plantada de coníferas.

Figura 3.4 - Função Densidade de Probabilidade (FDP) dos custos de produção da operação de processamento de toras para o *grapple processor* 2



3.4 CONCLUSÕES

O movimento vazio da grua representa em média 48,86 % do tempo total do ciclo operacional, sendo o elemento operacional que mais impacta no tempo total do processamento das toras.

A diferença de massa entre os implementos florestais contribuiu no tempo de movimento vazio da grua durante o processamento de toras de *Eucalyptus* com *grapple processor*.

A variável mais relevante para a determinação da produtividade por hora da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,58 m² é o volume de madeira processado e, para a máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,85 m² é o movimento vazio da grua.

O custo de produção da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,58 m² foi 6,67 % inferior ao custo de produção da máquina autopropelida com *grapple processor* com área útil de 0,85 m².

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen`s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. Disponível em: http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Alvares_etal_2014.pdf. Acesso em: 5 de mar 2018.
- BALAKRISHNAN, N.; DAVIES, K. F. Pitman closeness results for type-I censored data from exponential distribution. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, v. 83, n. 112, p. 2693-2698, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715213002964>. Acesso em: 02 de abr 2019.
- BASELICE, F.; FERRAIOLI, G.; PASCAZIO, V.; SORRISO, A. Denoising of MR images using Kolmogorov-Smirnov distance in a non local framework. **Magnetic Resonance Imaging**. Amsterdam, v. 57, p. 176-193, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0730725X18302698>. Acesso em: 24 de mar 2019.
- BOBOTAS, P. Improved estimation of the smallest scale parameter of gamma distributions. **Journal of the Korean Statistical Society**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 97-105, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226319218300668>. Acesso em: 05 de mar 2019.
- BOECK, B.; THAS, O.; RAYNER, J. C. W.; BEST, D. Smooth tests for the gamma distribution. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, New York, v. 81, n. 7, p. 843-855, 2011. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00949650903520936?needAccess=true>. Acesso em: 02 de abr 2019.
- BOLDING, M. C.; KELLOGG, L. D.; DAVIS, C. T. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. **Forest Products Journal**, Madison, v.59, p. 35–46, 2009. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093193522>. Acesso em: 17 de jan 2018.
- BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R.; HUYVAERT, K. P. AIC model selection and multimodel inference in behavioral ecology: some background, observations, and

comparisons. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, New York, v. 65, n. 1, p. 23-35, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00265-010-1029-6>. Acesso em: 24 de mar 2019.

CAMPOS, C. P.; SCANAGATTA, M.; CORANI, G.; ZAFFALON, M. Entropy based pruning for learning Bayesian networks using BIC. **Artificial Intelligence**, Amsterdam, v. 260, p. 42-50, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1707.06194>. Acesso em: 24 de mar 2019.

CHIACCHIO, F.; URSO, D. D.; MANNO, G.; COMPAGNO, L. Stochastic hybrid automaton model of a multi-state system with aging: Reliability assessment and design consequences. **Reliability Engineering & System Safety**, Barking, v. 149, p. 1-13, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015003592>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CHU, X. Evolution of an airy beam in turbulence. **Optics Letters**, New York, v. 36, n. 14, p. 2701-2703, 2011. Disponível em: <https://www.osapublishing.org/ol/abstract.cfm?uri=ol-36-14-2701>. Acesso em: 5 de mar 2019.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000074&pid=S0103-8478201200010000900007&lng=pt. Acesso em: 18 de mar 2019.

DEVORE, J. L. **Probability and statistics for engineering and the sciences**. 8. ed. Belmont: Brooks/Cole, 2011. 776 p.

DANIEL, W. W. **Applied nonparametric statistics**. Boston: Houghton-Mifflin, 1978, 503 p

DU, D.; JIAN, X.; HU, L.; TAN, Y.; ZENG, X.; TAN, X. Angular beta distribution for 3D vehicle to vehicle channel modeling. **Future Generation Computer Systems**, Amsterdam, v. 91, p. 238-242, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X18316832>. Acesso em: 05 de mar 2019.

ENACHE, A.; KÜHMAIER, M.; VISSER, R.; STAMPFER, K. Forestry operations in the european mountains: A study of current practices and efficiency gaps. **Scandinavian journal of forest research**, Stockholm, v. 31, n. 4, p. 412–427, 2015. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827581.2015.1130849?src=recsys>. Acesso em: 19 de mar 2019.

FANG, F.; CHEN, Y. A new approach for credit scoring by directly maximizing the Kolmogorov-Smirnov statistic. **Computacional Statistics and Data Analysis**, Amsterdam, v. 133, p. 180-194, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947318302494>. Acesso em: 24 de mar 2019.

FAZLOLLAHTABAR, H. Triple state reliability measurement for a complex autonomous robot system based on extended triangular distribution. **Measurement**, Amsterdam, v. 139, p. 122-126, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224119301344>. Acesso em: 24 de mar 2019.

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**. Piracicaba, v.37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 5 de mar 2018.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do Estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em 10 de abr 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 16 de jan 2018.

GHAFFARIYAN, M. R.; ACUNA, M.; KELLOG, L. Productivity of roadside processing system in Western Australia. **Silva Balcanica**, v. 13, n. 1, p. 49-60, 2012. Disponível em: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42917250/Disease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1552400953&Signature=jObPPR7QGCsAQsOY9aAX13vtrWQ%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDisease_caused_by_Beauveria_bassiana_Ba20160221-10211-1bx27qw.pdf#page=49. Acesso em: 12 de mar 2018.

GLICKMAN, T. S.; XU, F. The distribution of the product of two triangular random variables. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, 78, n. 16, p. 2821-2826, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715208002071>. Acesso em: 02 de abr 2019.

GOMES, O.; COMBES, C.; DUSSAUCHOY, A. Parameter estimation of the generalized gamma distribution. **Mathematics and Computers in Simulation**, Amsterdam, v. 79, n. 4, p. 955-963, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378475408001043>. Acesso em: 02 de abr 2019.

GUAN, J.; YUAN, P.; HU, X.; QING, L.; YAO, X. Statistical analysis of concrete fracture using normal distribution pertinent to maximum aggregate size. **Theoretical and Applied Fracture Mechanics**, Amsterdam, v. 101, p. 236-253, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167844219300011>. Acesso em: 30 de mar 2019.

HOU, S.; WENTZELL, P. D. Fast and simple methods for the optimization of kurtosis used as a projection pursuit index. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 704, p. 1-15, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267011010804>. Acesso em: 5 de mar 2019.

HOWARD, A. F. A sequential approach to sampling design for time studies of cable yarding operations. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 19, n. 8, p. 973-980, 1989. Disponível em:

<https://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/x89-149>. Acesso em: 19 de mar 2019.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatório Anual 2017. 80p. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf Acesso em: 14 de mar 2019.

JASTAD, E. O.; MUSTAPHA, W. F.; BOLKESJO, T. F.; TROMBORG, E.; SOLBERG, B. Modelling of uncertainty in the economic development of the Norwegian forest sector. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 32, p. 106-115, 2018.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689917300909>. Acesso em 28 de nov 2018.

JUNG, K.; SHIN, J. Y.; PARK, D. A new approach for river network classification based on the beta distribution of tributary junction angles. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 572, p. 66-74, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419301982>. Acesso em: 30 de mar 2019.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 5, n. 2, p. 43-52, 1994. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08435243.1994.10702659>. Acesso em: 24 de fev 2017.

KLEPAC, J.; MITCHELL, D. Comparison of four harvesting systems in a loblolly pine plantation. **Professional Agricultural Workers Journal**, Tuskegee, v. 4, n. 1, p. 1-14. 2016. Disponível em:

https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2016/ja_2016_mitchell_005.pdf. Acesso em: 19 de mar 2019.

KUMAR, A.; ABIRAMI, S. Aspect based opinion ranking framework for product reviews using a Spearman's rank correlation coefficient method. **Information Sciences**, New York, v. 460, p. 23-41, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002002551830358X>. Acesso em: 24 de mar 2019.

LEMONTE, A. J. A new exponential-type distribution with constant, decreasing, increasing, upside-down bathtub and bathtub-shaped failure rate function.

Computational Statistics and Data Analysis, Amsterdam, v. 62, p. 149–170, 2013.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947313000261>. Acesso em: 01 de abr 2019.

LIN, S. H.; WU, I. M.; On the common mean of several inverse Gaussian distributions based on a higher order likelihood method. **Applied Mathematics and Computation**, Amsterdam, v. 217, p. 5480-5490, 2011. Disponível em: <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/9296/1/000286969000032.pdf>. Acesso em 02 de abr 2019.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/190922>. Acesso em: 7 de mar 2018.

LIU, S.; HOU, S.; HE, K.; YANG, W. L-Kurtosis and its application for fault detection of rolling element bearings. **Measurement**, Amsterdam, v. 116, p. 523-532, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117307595>. Acesso em: 5 de mar 2019.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 12 de maio 2018.

LU, D. Certain approximations to achieve sharp lower and upper bounds for the Mills ratio of the inverse Gaussian distribution. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, New York, v. 444, n. 1, p. 737-744, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022247X16302967>. Acesso em: 05 de mar 2019.

MAGAGNOTTI, N.; PICCHI, G.; SPINELLI, R. A versatile machine system for salvaging small-scale forest windthrow. **Biosystem Engineering**, Londres, v. 115, p. 381-388, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013000779>. Acesso em: 2 de fev 2018.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 6, p. 179-205.

MEHRJOU, A.; HOSSEINI, R.; ARAABI, B. N. Improved Bayesian information criterion for mixture model selection. **Pattern Recognition Letters**, Amsterdam, v. 69, p. 22-27, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016786551500344X>. Acesso em: 24 de mar 2019.

MERKOVA M.; DRÁBEK J. Use of risk analysis in investment measurement and management. **Procedia Economics and Finance**, Amsterdam, v. 34, p.656-662,

2015. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115016822>. Acesso em: 26 de mar 2018.

MIGUEL, E. P.; LEAL, F. A.; ONO, H. A.; LEAL, U. A. S. Modelagem na predição do volume individual em plantio de *Eucalyptus urograndis*. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v. 32, n. 4, p. 584-598, 2014. Disponível em: <<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ>>. Acesso em: 5 mar. 2019.

MILANESI, G. S. Asimetría y curtosis en el modelo binomial para valorar opciones reales: caso de aplicación para empresas de base tecnológica. **Estudios Gerenciales**, Amsterdam, v. 29, n. 128, p. 368-378, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S012359231400014X>. Acesso em: 07 de abr 2019.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; FREITAS, K. E.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. P. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 6, p. 659-665, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662008000600014&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 10 de abr 2018.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. 1. ed. Minnesota: Editora USDA Forest Service General Technical Report NC-55. St Paul, Minnesota: US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1980. 16 p.

MING, G. Z.; YI, J.; SHIHUA, B. Detection probability for moving ground target of normal distribution using infrared satellite. **International Journal for Light and Electron Optics**, Munique, v. 181, p. 63-70, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0030402618319430>. Acesso em: 30 de mar 2019.

NGUYEN, H. D.; McLACHLAN, G. J. Maximum likelihood estimation of triangular and polygonal distributions. **Computational Statistics and Data Analysis**. Amsterdam, v. 102, n. 23-36, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947316300561>. Acesso em: 01 de abr 2019.

NORIHIRO, J.; ACKERMAN, P.; SPONG, B. D.; LANGIN, D. Productivity model for cut to length harvester operation in South African eucalyptus pulpwood plantations. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 39, n. 1, p. 1-13, 2018. Disponível em: <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4117/norihiro.pdf>. Acesso em: 12 de mar 2019.

Palisade Corporation. *@Risk*. V. 7.5.2 Newfield: Palisade Corporation, 2018.

RAADGEVER, G.T.; DIEPERINK, C.; DRIESSEN, P. P. J.; SMIT, A. A. H.; RIJSWICK, H. F. M. W. Uncertainty management strategies: Lessons from the regional implementation of the water framework directive in the Netherlands. **Environmental Science & Policy**, Carouge, v. 14, p. 64-75, 2011. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901110001437>. Acesso em: 11 de jun 2018.

RISTIC, M. M.; KUNDU, D. Marshall-Olkin generalized exponential distribution. **Metron**, Roma, v. 73, p. 317-333, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs40300-014-0056-x.pdf>. Acesso em: 02 de abr 2019.

ROBINSON, A. P.; McLARIN, M.; MOSS, I. A simple way to incorporate uncertainty and risk into forest harvest scheduling. *Forest Ecology and Management*, v. 359, p. 11-18, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715005228>. Acesso em: 26 de mar 2019.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S. GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**. Lavras, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009. Disponível em: <http://www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/195>. Acesso em: 8 de abr 2018.

SAITOU, N. **Gamma distribution**. Brenner s Encyclopedia of Genetics, 2 ed, 2013, 157p.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília: Editora EMBRAPA, 2018, 353 p.

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**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de abr 2018.

SIMÕES, D.; MIYAJIMA, R. H.; TONIN, R. P.; FENNER, P. T.; BATISTELA, G. C. Incorporation of uncertainty in technical and economic analysis of a feller-buncher. **Floresta**, Curitiba, v. 48, n. 3, p. 403-412, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/56404>. Acesso em: 1 de dez 2018.

SPINELLI, R.; EBONE, A.; GIANELLA, M Biomass production from traditional coppice management in northern Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 62, p. 68–73, 2014. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143139298>. Acesso em: 20 de abr 2019.

STEIN, W.; KEBLIS, M. A new method to simulate triangular distribution. **Mathematical and Computer Modelling**, Oxford, v. 49, p. 1143-1147. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717708002665>. Acesso em: 24 de mar 2019.

STEVENSON, W. J. **Administração das operações de produção**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001, 701 p.

STRANDGARD, M.; ALAM, M.; MITCHELL, R. Impact of slope on productivity of a self leveling processor. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 35, n. 2, p. 193-200, 2014. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/127002>. Acesso em: 10 de abr 2019.

STRANDGARD, M.; MITCHELL, R.; WIEDEMANN, J. Comparison of productivity, cost and chip quality of four balanced harvest systems operating in a eucalyptus globulus plantation in Western Australia. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 40, n. 1, p. 39-48, 2019. Disponível em: <http://www.crojfe.com/site/assets/files/4267/strandgard.pdf>. Acesso em: 19 de mar 2019.

TARBUSH, B. Hotelling competition and the gamma distribution. **Games and Economic Behavior**, Amsterdam, v. 111, p. 222-240, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0899825618301143>. Acesso em: 16 de mar 2019.

TIMPSON, A.; GILLIS, R. E.; MANNING, K.; THOMAS, M. G. Modelling caprine age at death profiles using the gamma distribution. **Journal of Archaeological Science**, New York, v. 99, p. 19-26, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440318304904>. Acesso em: 05 de mar 2018.

VAJARGAH, B. F, SALIMIPOUR A. Evaluating wave random path using multilevel Monte Carlo. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, Mokpo, v. 7, p.1-10, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405535217300165>. Acesso em: 18 de maio 2018.

VANGANSBEKE, P.; OSSELAERE, J.; VAN DAEL, M.; DE FRENNE, P.; GRUWEZ, R.; PELKMANS, L.; GORISSEN, L.; VERHEYEN, K. Logging operations in pine stands in Belgium with additional harvest of woody biomass: yield, economics, and energy balance. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 45, n. 8, p. 987-997, 2015. Disponível em: <https://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/cjfr-2014-0521#.XJDtB9VKjIU>. Acesso em: 19 de mar 2019.

WANG, B.; WANG, R.; WANG, Y. Compatible matrices of Spearman's rank correlation. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, v. 151, p. 67-72, 2019.

WU, L.; LI, H. Variable selection for joint mean and dispersion models of the inverse Gaussian distribution, **Metrika**, New York, v. 75, n. 6, p. 795-808, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00184-011-0352-x>. Acesso em: 02 de abr 2019.

XIAO, Y. A fast algorithm for two dimensional Kolmogorov-Smirnov two sample tests. **Computational Statistics & Data Analysis**, Amsterdam, v. 105, p. 53-58, 2017.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167947316301785>. Acesso em: 24 de mar 2019.

YE, Z. S.; CHEN, N. The inverse Gaussian process as a degradation model.

Technometrics, Washington, v. 56, n. 3, p. 302-311, 2014. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00401706.2013.830074>. Acesso em: 05 de mar 2018.

ZHANG, W. Y.; WEI, Z. W.; WANG, B. H.; HAN, X. P. Measuring mixing patterns in complex networks by Spearman rank correlation coefficient. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 451, p. 440-450, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437116001023>. Acesso em: 24 de mar 2019.

ZHOU, A. Modeling the volatility of the Heath–Jarrow–Morton model: a multifactor GARCH analysis. **Journal of Empirical Finance**, Amsterdam, v. 9, n. 1, p. 35–56, 2002. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927539801000445>. Acesso em: 5 de mar 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da técnica de modelagem matemática foi positiva, pois proporcionou para o estudo relacionar as mais diversas variáveis que podem ou não influenciar a produtividade e os custos de produção das máquinas florestais, bem como o sistema de colheita florestal.

A aplicação do método de Monte Carlo pode ser considerada uma ferramenta interessante, principalmente no aspecto dos custos operacionais e de produção, pois permite simular diversos cenários, sendo extremamente importantes estas informações para o gestor florestal, pois auxiliam nas tomadas de decisão.

É importante ressaltar que a determinação de forma quantitativa da produtividade e dos custos das máquinas utilizadas na colheita florestal mecanizada, pode ser complementada com a aplicação da modelagem matemática, proporcionando uma segurança nos dados obtidos para as decisões dos tomadores de decisão.

Uma das principais dificuldades constatadas pode ser atribuída as metodologias de cálculo dos custos, bem como os valores e coeficientes adotados em relação aos elementos que compõem o custo operacional das máquinas autopropelidas.

REFERÊNCIAS

- ABELI, W. S. Optimal road spacing for manual skidding skidways. **Journal of Tropical Forest Science**, Kuala Lumpur, v. 6, p. 8-15, 1992. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/43581710>, Acesso em: 15 de mar 2018.
- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The COST model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 25, n. 1, p. 75-81, 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2014.903711>. Acesso em: 5 de fev 2018.
- ADEBAYO, A. B.; HAN, H. S.; JOHNSON, L. Productivity and cost of cut to length and whole tree harvesting in a mixed conifer stand. **Forest Products Journal**, Madison, v. 57, n. 6, p. 59-69, 2007. Disponível em: <https://www.thefreelibrary.com/Productivity+and+cost+of+cut-to-length+and+whole-tree+harvesting+in+a...-a0166092802>. Acesso em: 25 de abr 2018.
- AKAY, A. E.; ERDAS, O.; SESSIONS, J. Determining productivity of mechanized harvesting machines. **Journal of Applied Sciences**, Dubai, v. 4, n. 1, p. 100-105, 2004. Disponível em: <https://scialert.net/archivedetails.php?issn=1812-5654&issueno=32>. Acesso em: 6 de maio 2018.
- ANDERSSON, B.; EVANS, C. M. **Harvesting over mature aspen stands in Central Alberta**; Special Report SR-112; Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC): Vancouver, 1996; 42 p. Disponível em: http://www.cfs.nrcan.gc.ca/bookstore_pdfs/19364.pdf. Acesso em: 16 de ago 2018.
- ANERUD, E.; VON HOFSTEN, H.; ELIASSON, L. An alternative supply system for stump biomass – coarse grinding combined with sieving of the produced hog fuel. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 27, n. 3, p. 109–114, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14942119.2016.1166917>. Acesso em: 9 dez 2018.
- ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 383-391, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622004000200007&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 de mar 2018.
- AUGUSTYNICZIK, A. L. D. **Planejamento florestal otimizado considerando áreas mínimas e máximas operacionais de colheita**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/38703>. Acesso em 14 de mar 2018.
- BARBOSA, J. C. Modelagem e modelos matemáticos na educação científica. **Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, Florianópolis**, v. 2, n. 2, p. 69-85, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/alexandria/article/view/37949/28977>. Acesso em: 15 de jan 2018.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida de trabalho. 6. ed. São Paulo: Edgard Blüchen, 1977, 635 p.

BASSANEZI, R. C. Modelagem como estratégia metodológica no ensino da matemática. Boletim de Educação da SBMAC. São Paulo: IMECC/Unicamp, 1994.

BEHJOU, F. K.; MAJNOUNIAN, B.; NAMIRANIAN, M.; DVORAK, J. Time studying and skidding capacity of wheeled skidder timberjack 450c in Caspian forests. **Journal of Forest Science**. Praga, v. 54, n. 4, p. 183-188, 2008. Disponível em www.agriculturejournals.cz/web/jfs.htm?type=volume&volume=54#No.%204. Acesso em: 2 de jul 2018.

BENTES-GAMA, M. M.; SILVA, M. L.; VILCAHUAMAN, L. J. M.; LOCATELLI, M. Análise econômica de sistemas agroflorestais na Amazônia ocidental, Machadinho D` Oeste-RO. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 401-411, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a07v29n3>. Acesso em: 14 de nov 2018.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem Matemática no ensino**. 1 ed. São Paulo: Contexto, 2000, 128 p.

BJORHEDEN, R.; GULLBERG, T.; JOHANSSON, J. Systems analyses for harvesting small trees for forest fuel in urban forestry. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 24, p. 389-400, 2003. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20033068975>. Acesso em: 21 de mar 2018.

BOLDING, M. C.; KELLOGG, L. D.; DAVIS, C. T. Productivity and costs of an integrated mechanical forest fuel reduction operation in southwest Oregon. **Forest Products Journal**, Madison, v.59, p. 35–46, 2009. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093193522>. Acesso em: 17 de jan 2018.

BORGONOVO, E.; CAPPELLI, V.; MACCHERONI, F.; MARINACCI, M. Risk analysis and decision theory: a bridge. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 264, p. 280-293, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717306008>. Acesso em: 22 de maio 2018.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. **Gestão de custos e formação de preços**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2013. 575 p.

CANTO, L. L.; MACHADO, C. C.; GONTIJO, F. M.; JACOVINE, L. A. G. Colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no Espírito Santo. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 6, p. 981-988, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n6/a14v30n6>. Acesso em 18 de mar 2018.

CACOT, E. Chantier de St. Vitte sur Briançe- Abattage mécanisé des peuplements feuillus par une tête a guillotine. **AFOCEL Flash Chantier CO68**, Paris, 2004.

CASTRO, R. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. C.; OLIVEIRA, M. L. R. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, 2007. Disponível em:

www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/637/537. Acesso em: 27 de ago 2018.

CHIACCHIO, F.; URSO, D. D.; MANNO, G.; COMPAGNO, L. Stochastic hybrid automaton model of a multi-state system with aging: Reliability assessment and design consequences. **Reliability Engineering & System Safety**, Barking, v. 149, p. 1-13, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832015003592>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CHICHORRO, J. F.; BAUER, M. O.; PEREIRA, D. P. Viabilidade econômica e mercados para as florestas de produção em pequenas propriedades. In: SILVA, E. N. et al. (Ed) **Florestas de Produção**. Viçosa, MG: Suprema, 2014. p. 183-210.

COELHO JÚNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; COIMBRA, L. A. B.; SOUZA, A. N. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378, 2008. Disponível em:

www.cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/download/649/548. Acesso em : 27 out de 2018.

CONSTANTINO, M.; MARTINS, I. Branch and cut for the forest harvest scheduling subject to clearcut and core area constraints. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 265, p. 723-734, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/journal/european-journal-of-operational-research/vol/265/issue/2>. Acesso em: 12 de jan 2018.

CONWAY, S. **Logging practices. principles of timber harvesting systems**. São Francisco. Miller Freeman Publication, 1976. 416 p.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. Rentabilidade e risco de investimento na produção de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes Kunth*). **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 53-59, 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602010000100006&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 2 de dez 2018.

COSTA, H. R.; GHEDIN, E. Epistemologia do Ensino de Matemática. Em: Universidade Luterana do Brasil (Org.), **Anais**, 4º Congresso Internacional de Ensino de Matemática (pp.01-08), Rio Grande do Sul: Universidade Luterana do Brasil de Canoas (RS), 2007.

COSTA, H. R. A modelagem matemática através de conceitos científicos. **Ciências & Cognição**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 13, p. 114-133, 2009. Disponível em: http://www.cienciasecognicao.org/pdf/v14_3/m197.pdf. Acesso em 17 de abr 2018.

COSTA JUNIOR, E. L. **Gestão em processos produtivos**. 1. ed. Curitiba: InterSaberes, 2012. 160 p.

DANIEL, C. J.; TER-MIKAELIAN, M. T.; WOTTON, B. M.; RAYFIELD, B.; FORTIN, M. J. Incorporating uncertainty into forest management planning: Timber harvest, wildfire and climate change in the boreal forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 400, p. 542-554, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717306412>. Acesso em: 24 de ago 2018.

DIAS, P. R. V. **Engenharia de custos de obras e serviços de engenharia**. 1. ed. Rio de Janeiro: IBEC, 2004. 77 p.

EVANS J. R.; OLSSON D. L. **Introduction to simulation and risk analysis**. 2 ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2002. 279 p.

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, P. S. Avaliação técnica e econômica de um feller buncher operando em diferentes produtividades. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 3, p. 210-218, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/issue/view/46/showToc>. Acesso em: 30 de jun 2018.

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**. Piracicaba, v.37, n. 83, p. 225-232, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr83/cap01.pdf>. Acesso em: 5 de mar 2018.

FIEDLER, N. C.; ROCHA, E. B.; LOPES, E. S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 577-586, 2008. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/13153/8900>. Acesso em: 19 de maio 2018.

FLATBERG, T.; NORSTEBØ, V. S.; BJØRKELO, K.; ÅSTRUP, R.; SOVDE, N. E. A mathematical model for infrastructure investments in the forest sector of coastal Norway. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 92, p. 202-209, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S138993411730401X>. Acesso em 4 de fev 2018.

FLECK, L.; TAVARES, M. H. F.; EYGN, E. Especificidades e importância de modelos matemáticos de qualidade da água. **Revista Eixo**, Brasília, DF, v. 2, n. 1, p. 106-119, 2013. Disponível em: <http://revista-eixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/102>. Acesso em: 22 de abr 2018.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Cost control in forest harvesting and road construction**. Rome, Forestry Paper 99, 1992. 121 p. Disponível em: www.fao.org/forestry/harvesting/86024/en. Acesso em: 30 de mar 2018.

FONTANA, G.; SEIXAS, F. Avaliação ergonômica do posto de trabalho de modelos de "forwarder" e "skidder". **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 1, p. 71-81, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v31n1/09.pdf>. Acesso em: 16 de jan 2018.

FREITAS, L. C.; MARQUES, G. M.; SILVA, M. L.; MACHADO, R. R.; MACHADO, C. C. Estudo comparativo envolvendo três métodos de cálculo de custo operacional do caminhão bitrem. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 855-863, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v28n6/23986.pdf>. Acesso em: 16 de jan 2017.

GABRIELLE, B.; BAMIERE, L.; CALDES, N.; DECARA, S.; DECOCQ, G.; FERCHAUD, F. Paving the way for sustainable bioenergy in Europe: technological options and research avenues for large-scale biomass feedstock supply. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 33, p. 11-25, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114000616>. Acesso em: 2 de out 2017.

GILANIPOOOR, N.; NAJAFI, A.; HESHMAT ALVAEZIN, S. M. Productivity and cost of farm tractor skidding. **Journal of Forest Science**, Praga, v. 58, n. 1, p. 21-26, 2012. Disponível em: <https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/56461.pdf>. Acesso em: 8 de jul 2017.

GOERLANDT, F.; KHAKZAD, N.; RENIERS, G. Validity and validation of safety related quantitative risk analysis: a review. **Safety Science**, Amsterdam, v. 99, p. 127-139, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753516301795>. Acesso em: 23 de jan 2018.

GONÇALVES, A. C.; DIAS, A. B.; AFONSO, A.; PEREIRA, D. G.; PINHEIRO, A.; PEÇA, J. O. Mechanical versus manual harvest of *Pinus pinea* cones. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 143, p. 50-60, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511016000039>. Acesso em: 6 de out 2017.

GONÇALVES, J. C.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, S. P. C.; GOMIDE, L. R. Análise Econômica da rotação Florestal de povoamentos de eucalipto utilizando a simulação de Monte Carlo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27 n. 4, p. 1339-1347, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/30215>. Acesso em: 20 de nov 2018.

GOYCHUK, D. KILGORE, M. A.; BLINN, C. R.; COGGINS, J. KOLKA, R. K. The effect of timber harvesting guidelines on felling and skidding productivity in Northern Minnesota. **Forest Science**, Oxford, v. 57, n. 5, p. 393-407, 2011. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/47068>. Acesso em 16 de jan 2018.

GRAÇA, L. R.; RODIGHIERI, H. R.; CONTO, A. J. **Custos florestais de produção: conceituação e aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 32 p.

HANSSON, S. O.; AVEN, T. Is risk analysis scientific? **Pub Med**, Maryland, v.34, p. 1173–1183, 2014. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24919396>. Acesso em: 19 de nov 2018.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. Applicability of international harvesting equipment productivity studies in Maine, USA: a literature review. **Forests**, Basel, v. 4, p. 898-921, 2013a. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/4/4/898>. Acesso em: 3 de abr 2018.

HIESL, P.; BENJAMIN, J. G. A multi-stem feller-buncher cycle time model in partial harvests in small diameter wood stands. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 24, p. 101–108, 2013b. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14942119.2013.841626>. Acesso em: 11 de jun 2018.

HOLZLEITNER, F.; STAMPFER, K.; VISSER, R. Utilization rates and cost factors in timber harvesting based on long-term machine data. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 32, p. 501–508, 2011. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2398/e884f890cab99dcc46723bad67bf0563dd93.pdf>. Acesso em: 14 de mar 2018.

JACOBS, F. R.; CHASE, R. B. **Administração de operações e da cadeia de suprimentos**. 13. ed. Porto Alegre: McGrawHill, 2012, 750 p.

JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 391-400, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n3/a06v29n3>. Acesso em: 2 de jul 2018.

JASTAD, E. O.; MUSTAPHA, W. F.; BOLKESJO, T. F.; TROMBORG, E.; SOLBERG, B. Modelling of uncertainty in the economic development of the Norwegian forest sector. **Journal of Forest Economics**, Amsterdam, v. 32, p. 106-115, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689917300909>. Acesso em: 28 de nov 2018.

JOUR GHOLAMI, M.; MAJNOUNIAN B. Productivity and cost of wheeled skidder in Hyrcanian Forest. **International Journal of Natural and Engineering Sciences**, Ankara, v. 2, p. 99–103, 2008. Disponível em: <http://dergipark.gov.tr/download/article-file/618438>. Acesso em: 1 de set 2018.

KALLIO, A. M. I. Accounting for uncertainty in a forest sector model using Monte Carlo simulation. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 9-16, 2010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934109001439>. Acesso em: 14 de abr 2017.

KELLIHER, C. F.; MAHONEY, L. S. Using Monte Carlo Simulation to improve long-term investment decisions. **The Appraisal Journal**, Chicago, v. 68, n. 1, p. 41-56, 2000. Disponível em:

https://www.myappraisal institute.org/taj/current_toc.aspx?yr=2000&qtr=Winter. Acesso em: 22 de maio 2017.

KELLOGG, L.D.; BETTINGER, P. Thinning productivity and cost for mechanized cut-to-length system in the Northwest Pacific coast region of the USA. **Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 5, n. 2, p. 43-52, 1994. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08435243.1994.10702659>. Acesso em: 24 de fev 2017.

KHORASANI, M. M.; SAEB, M. R.; MOHAMMADI, Y.; AHMADI, M. The evolutionary development of chain microstructure during tandem polymerization of ethylene: A Monte Carlo simulation study. **Chemical Engineering Science**, Oxford, v. 111, p. 211-219, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250914000761>. Acesso em: 20 de fev 2018.

LEONE, G. S. G. **Custos: planejamento, implantação e controle**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 520 p.

LEVERS, C.; VERKERK, P. J.; MULLER, D.; VERBURG, P. H.; BUTSIC, V.; LEITÃO, P.J.; LINDNER, M.; KUEMMERLE, T. Drivers of forest harvesting intensive patterns in Europe. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 315, p. 160-172, 2014. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713008335>. Acesso em 17 de nov 2018.

LI, Y.; WANG, J.; MILLER, G.; MCNEEL, J. Production economics of harvesting small diameter hardwood stands in central Appalachia. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, p. 81-86, 2006. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/14735>. Acesso em: 11 de dez 2018.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 2, p. 46-73.

LINDROOS, O.; LA HERA, P.; HAGGSTROM, C. Drivers of Advances in Mechanized timber harvesting a selective review of technological innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 38, n. 2, p. 243-258, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/190922>. Acesso em: 7 de mar 2018.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007, 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/796/texto%20completo.pdf?sequence=1>. Acesso em: 11 de nov 2018.

LOPES, S. E.; FERNANDES, H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 79, p. 215-222, 2008. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr79/cap05.pdf>. Acesso em: 23 de abr 2018.

MACDONAGH, P.M. **Avaliação técnico-econômica da extração de Pinus spp. Utilizando tratores com garra no sul do Brasil**. 1994. 156f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)-Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/29017>. Acesso em: 2 de set 2018.

MACHADO, C. C. **Exploração Florestal**, 6ed. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 1989. 34 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 2002. 468 p.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In. MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora. UFV, 2014, cap. 1, p. 15-45.

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R.; GULDNER, O.; ERLER, J. Site impact after motor manual and mechanised thinning in Mediterranean pine plantations. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 113, p. 140-147, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001183>. Acesso em: 11 de fev 2018.

MAGAGNOTTI, N.; PICCHI, G.; SPINELLI, R. A versatile machine system for salvaging small-scale forest windthrow. **Biosystem Engineering**, Londres, v. 115, p. 381-388, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511013000779>. Acesso em 22 de nov 2018.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A. **Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na região sul do Brasil**. Curitiba. FUPEF, 1998. 138 p.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In. MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Imprensa Universitária, 2002, p. 145-167.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. cap. 6, p.161-184.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 6, p. 179-205.

MARTINS, E. **Contabilidade de custos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 376 p.

MARTINS, V. W. B.; SANTOS, N. C. B.; SILVA, N. C. L.; SOARES, D. C.; LIMA JUNIOR, P. S.; Análise da capacidade produtiva de uma indústria de blocos pré-moldados utilizando o estudo de tempos cronometrados. **Iberoamerican Journal of Industrial Engineering**, Florianópolis, v. 6, n. 11, p. 311-327, 2014. Disponível em:

<http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/2493>. Acesso em: 7 de jan 2018.

MARTINS, V. W. B.; LIMA, I. D. A.; SILVA, J. C. K.; PIOL, K. D. B.; DINIZ, M. F. S.; Utilização do estudo de tempos cronometrados para determinação da capacidade produtiva de um salão de beleza. **Produção em Foco**, Joinville, v. 5, n.1, p. 123-144, 2015. Disponível em: <http://producaoemfoco.org/producaoemfoco/article/view/176>. Acesso em: 6 de jan 2018.

MELO, M.; NICKEL, S.; SALDANHA da GAMA, F. Facility location and supply chain management – a review. **European Journal. Operational. Research**, Amsterdam v. 196, p. 401–412, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708004104>. Acesso em: 29 de mar 2018.

MENDES, M. H.; SOUZA, R. C. **Análise quantitativa de risco: um guia para modelagem pela simulação de Monte Carlo**. Rio de Janeiro: PUC-RJ, 2007. 35 p.

MERKOVA, M.; DRÁBEK, J. Use of risk analysis in investment measurement and management. **Procedia Economics and Finance**, v. 34, p. 656-662, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115016822>. Acesso em: 1 de jun 2018.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento estratégico**. 2005. 100p. Tese (Livre Docência)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. 1. ed. Minnesota: Editora USDA Forest Service General Technical Report NC-55. St Paul, Minnesota: US Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. 1980. 16 p.

MITCHELL J. 2000. Productivities and costs of harvesting small openings in the Cariboo Forest Region. **FERIC**, Vancouver, BC: Advantage, v. 1, n. 22, p. 8, 2000.

MOLIN, J.P.; MILAN, M. **Adequação do trator ao implemento e ao tipo de solo (compact disc)**. In. SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DE SOLO PARA O PLANTIO DE FLORESTAS. Piracicaba. Resumos. Piracicaba. IPEF, 2000. p. 9-16.

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; SILVA, K. R. Avaliação operacional e econômica do Feller-Buncher em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-67622004000200006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 13 de fev 2018.

MOUSAVI, R. Time consumption, productivity, and cost analysis of skidding in the Hyrcanian forest in Iran. **Journal of Forestry Research**, Harbin, v. 23, n. 4, p. 691-697, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-012-0265-1>. Acesso em: 27 de out 2018.

NASCIMENTO, A. C.; LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; FREITAS, L. C. Avaliação Técnica e Econômica da colheita florestal com feller buncher. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602011000100002&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 8 de dez 2017.

NUUTINEN, Y.; PETTY, A.; BERGSTRÖM, D.; RYTKÖNEN, M.; DI FULVIO, F.; TIIHONEN, I.; LAUREN, A.; DAHLIN, B. Quality and productivity in comminution of small-diameter tree bundles. **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 27, n. 3, p. 179–187, 2016. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14942119.2016.1223926?journalCode=tife20>. Acesso em: 13 de fev 2017.

NURMINEN T.; KORPUNEN H.; UUSITALO J.; Time consumption analysis of the mechanized cut-to-length harvesting system. **Silva Fennica**, Helsinki, v. 40, p. 335–363, 2006. Disponível em: <http://www.metla.fi/silvafennica/full/sf40/sf402335.pdf>. Acesso em: 19 de jul 2018.

OLIVEIRA, A. C.; PEREIRA, B. L. C.; SALLES, T. T.; CARNEIRO, A. C. O.; LANA, A. Q. Análise de risco econômico de dois sistemas produtivos de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 24, p. 2-11, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/floram/v24/2179-8087-floram-24-e20160265.pdf>. Acesso em: 4 de abr 2018.

OLIVEIRA, R. J.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G. Avaliação técnica e econômica da extração de madeira de eucalipto com clambunk skidder, **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 267-275, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a14v30n2>. Acesso em: 17 de maio 2018.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder em extração de toras de pinus. **Scientia forestalis**. Piracicaba, v.37, n.84, p.525-533, 2009. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap20.pdf>. Acesso em: 12 de fev 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de Feller-Buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/16327/10799>. Acesso em: 2 de abr 2018.

PARISE, D. J. **Influência dos requisitos pessoais especiais no desempenho de operadores de máquinas de colheita florestal de alta performance**. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/2223>. Acesso em: 30 de mar 2018.

PALTRINIERI, N.; RENIERS, G. Dynamic risk analysis for Seveso sites. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, Amsterdam, v. 49, p. 111-119, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423017303108>. Acesso em: 3 de jan 2018.

PEREIRA, A. L. N.; LOPES, E. S.; DIAS, A. N. Análise técnica e de custo do feller buncher e skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1-11, 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982015000400981&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 14 de abr 2018.

POMPERMAYER, C. B.; LIMA, J. E. P. **Gestão de Custos**. In: Finanças empresariais/FAE Business School. Curitiba: Associação Franciscana de Ensino Senhor Bom Jesus, v. 4, p. 49-68, 2002.

PULKKI, R.E. **Glossary of forest harvesting terminology**. Disponível em: http://flash.lakeheadu.ca/~repulkki/REP_terminology.pdf Acesso em 30 de abril de 2016.

ROBERT, R. C. G.; ANDREATA, H. K. Sistemas de colheita de madeira. In ROBERT, R. C.G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. 1 ed. Curitiba: Editora Imprensa UFPR, 2012. 112 p.

ROBINSON, A. P.; MCLARIN, M.; MOSS, I. A simple way to incorporate uncertainty and risk into forest harvest scheduling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 359, p. 11-18, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715005228>. Acesso em: 17 de nov 2018.

ROVAI, R. L.; CATTINI JUNIOR, O.; PLONSKI, G. A. Gestão de riscos em projetos de inovação através da abordagem contingencial: análise conceitual e proposição de modelo estruturado para redução de incertezas em projetos complexos, **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v. 10, n. 3, p. 269-295, 2013. Disponível em: <http://bdpi.usp.br/bitstream/handle/BDPI/43347/GEST%C3%83O%20DE%20RISCO%20EM%20PROJETOS%20DE%20INOVA%C3%87%C3%83O%20ATR%C3%81VES%20DA%20ABORDAGEM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 de fev 2018.

SABBAG, O. M.; COSTA, S. M. A. L. Análise de custos da produção de leite: aplicação do método de Monte Carlo. **Revista Extensão Rural**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 125-145, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/extensaorural/article/view/14153>. Acesso em: 4 de mar 2018.

SALMERON, A. Pesquisa sobre mecanização florestal para abastecimento industrial de resíduo visando a produção de energia. **IPEF**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. B.1 – B. 12, 1980. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr02/cap02.pdf>. Acesso em: 11 de set 2018.

SAMPIETRO, J. A.; LOPES, E. S. Compactação de um cambissolo e neossolo submetidos a diferentes intensidades de tráfego de Feller buncher e Skidder. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 265-272, 2011. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap14.pdf>. Acesso em: 19 de maio 2018.

SAMSUDIN, M. D. M.; DON, M. M. Assessment of bioethanol yield by *S. cerevisiae* grown on oil palm residues: Monte Carlo simulation and sensitivity analysis. **Bioresource Technology**, Essex, v. 175, p. 417-423, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241401548X>. Acesso em: 5 de jul 2018.

SANT'ANNA, C. M. Corte. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 3, p. 74-105.

SCHWEIER, J.; SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; BECKER, G. Mechanized coppice harvesting with small scale feller bunchers: Results from harvesting trials with newly manufactured felling heads in Italy. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 72, p. 85-94, 2015. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20153089303>. Acesso em: 6 de dez 2018.

SEIXAS, F.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Compactação do solo devido ao tráfego de máquinas de colheita de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 60, p. 73–87, 2001. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr60/cap06.pdf>. Acesso em: 13 de ago 2018.

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008. cap. 4, p. 97-145.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. cap. 4, p.106-161.

SILVA, A. L. P. **Custo de produção, colheita e transporte de madeira de eucalipto proveniente do programa produtor florestal no sul do Espírito Santo**. 2012. 47 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFES_b99b5fa13c7353421a2ec9998ff7b00f. Acesso em: 2 de mar 2018.

SILVA, C. S. J.; OLIVEIRA, A. D.; COELHO JUNIOR, L. M.; SCOLFORO, J. R. S.; SOUZA, A. N. Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropapus*), em condições de risco. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 113-122, 2014b. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602014000100015&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 24 de jul 2018.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; FIEDLER, N. C.; FERNANDES, H. C.; PAULA, M. O.; CARMO, F. C.; MOREIRA, G. R.; COELHO, F. E. Avaliação de custos de dois modelos de harvester no corte de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 741-748, 2014a. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/3972>. Acesso em: 1 de jun 2018.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-Buncher. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 6, n. 1, p. 29-34, 2007. Disponível em: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5356>. Acesso em: 11 de abr 2018.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002. 178 p.

SIMIONI, F.J.; BUSCHINELLI, C.C.A.; MOREIRA, J.M.M.A.P.; PASSOS, B.M.; GIROTTO, S.B.F.T. Forest biomass chain of production: Challenges of small scale forest production in Southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 174, p. 889-898, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617326379>. Acesso em: 4 de ago 2018.

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**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 621-630, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982014000300621&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 15 de jan 2018.

SIMÕES, D.; MOSQUERA, G. A. D.; BATISTELA, G. C.; PASSOS, J. R. S.; FENNER, P. T. Quantitative analysis of uncertainty in financial risk assessment of road transportation of wood in Uruguay. **Forests**, Basel, v. 7, p. 1-11, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/7/7/130>. Acesso em: 21 de nov 2018.

SIMÕES, D.; DINARDI, A. J.; SILVA, M. R. Investment uncertainty analysis in eucalyptus bole biomass production in Brazil. **Forests**, Basel, v. 9, p. 1-11, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/7/384>. Acesso em: 11 de fev 2018.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2009. 728 p.

SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTI, L. J.; JACOVINE, L. A. G. Perspectivas na Área de Colheita e Transporte Florestal. **Revista Madeira**, Curitiba, n. 51, p. 52-62, 2000.

SOUZA, M. A.; PIRES, C. B. Colheita florestal: mensuração e análise dos custos incorridos na atividade mecanizada de extração. **Custos e agronegócio**, Recife, v. 5, n. 2, p. 104-132, 2009. Disponível em: <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero2v5/colheita%20florestal.pdf>. Acesso em: 12 de abr 2018.

SOUZA, M. A.; DIEHL, C. A. **Gestão de custos**: uma abordagem integrada entre Contabilidade, Engenharia e Administração. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 312 p.

SOUZA, M. A.; PIRES, C. B.; SILVEIRA, F. C. Análises de custos de prestação de serviços de colheita florestal mecanizada. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 270-289, 2011. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/3749/analise-de-custos-de-prestacao-de-servicos-de-colheita-florestal-mecanizada>. Acesso em: 16 de jul 2018.

SPINELLI R.; OWENDE P.M.; WARD S.M. Productivity and cost of CTL harvesting of *Eucalyptus globulus* stands using excavator based harvesters. **Forest Products Journal**, Madison, v. 52, p. 67–77, 2002. Disponível em: <https://search.proquest.com/docview/214650412?pq-origsite=gscholar>. Acesso em: 12 de nov 2018.

SPINELLI, R.; CUCHET, E.; ROUX, P. A new feller-buncher for harvesting energy wood: Results from a European test programme. **Biomass Bioenergy**, Oxford, v. 31, p. 205–210, 2007. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20073078433>. Acesso em: 3 de abr 2018.

SPINELLI, R.; MAGAGNOTTI, N.; DI FULVIO, F.; BERGSTROM, D.; DANELON, M.; ALBERTI, G. Comparison of cost efficiency of mechanized fuel wood thinning systems for hardwood plantations on farmland. **Croatian Journal of Forest Engineering**, Zagreb, v. 35, p. 111-123, 2014. Disponível em: <http://www.crojfe.com/archive/volume-35-no-2/comparison-of-cost-efficiency-of-mechanized-fuel-wood-thinning-systems-for-hardwood-plantations-on-farmland/>. Acesso em: 5 de ago 2018.

TARNOWSKI, B. C.; SCHNEIDER, P. R.; MACHADO, C. C. Produtividade e custos do processador trabalhando em povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 103-115, 1999. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cflo/v9n2/1980-5098-cflo-9-02-00103.pdf>. Acesso em: 18 de jun 2018.

TAVANKAR, F.; BONYAD, A. E.; MAJNOUNIAN, B. Affective factors on residual tree damage during selection cutting and cable-skidder logging in the Caspian forests, Northern Iran. **Ecological Engineering**, Oxford, v. 83, p. 505-512, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857415301245>. Acesso em: 9 de maio 2018.

TIERNAN D.; ZELEKE G.; OWENDE P. M. O.; KANALI C. L.; LYONS J.; WARD S. M. Effect of working conditions on forwarder productivity in cut-to-length timber harvesting on sensitive forest sites in Ireland. **Biosystems Engineering**, Londres, v. 87, p.167–177, 2004. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511003002174>. Acesso em: 21 de mar 2018.

TISAKA, M. **Orçamento na construção civil**: consultoria, projeto e execução. 1. ed. São Paulo: Editora Pini, 2006. 366 p.

VAJARGAH, B. F.; SALIMIPOUR, A. Evaluating wave randon path using multilevel Monte Carlo. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**,

Mokpo, v. 7, p. 1-10, 2017. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405535217300165>. Acesso em: 7 de fev 2018.

VALVERDE, S. R.; MACHADO, C. C.; REZENDE, J. L. P.; SOUZA, A. P.; ANTIQUERA, A. C. Análise técnica e econômica do arraste com “Skidder” no sistema de colheita de árvores inteiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 1, p. 101-109, 1996. Disponível em:
<https://books.google.com.br/books?id=RXWaAAAAIAAJ>. Acesso em: 6 de fev 2018.

VANCE, E. D.; PRISLEY, S. P.; SCHILLING, E. B.; TATUM, V. L.; WIGLEY, T. B.; LUCIER, A. A.; DEUSEN, P. C. V. Environmental implications of harvesting lower value biomass in forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 407, p. 47-56, 2018. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717308228>. Acesso em: 15 de set 2018.

VICECONTI, P.; NEVES, S. **Contabilidade de custos**: um enfoque direto e objetivo. 11. ed. São Paulo: Saraiva, 2013. 280 p.

VIECILI, C. R. C. **Modelagem matemática: uma proposta para o ensino da matemática**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Matemática) Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <http://repositorio.pucrs.br/dspace/handle/10923/3029>. Acesso em: 13 de jan 2018.

WANG, J.; LONG, C.; MCNEEL, J. Production and cost analysis of a feller-buncher and grapple skidder in central Appalachian hardwood forests. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, p. 159-167, 2004. Disponível em:
<http://eds.a.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=00157473&AN=15518812&h=FahdTDrDbV7mEenV0TImLboQ6NIAt5VDnXIU8h2i%2bS43QHZ9uziUt%2bnt6CCjwS%2fqJtTeiSanGPdxl2LvqKuGCg%3d%3d&crl=f&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d00157473%26AN%3d15518812>. Acesso em: 20 de fev 2018.

WEISE, A. D.; BOLSSON, D.; MEDEIROS, F. S. B.; BOLIGON, J. A. R. Um estudo sobre o tempo-padrão no processo produtivo de recapagem de pneus em uma concessionária de veículos. **Gestão e Desenvolvimento**, Rio Grande do Sul, v. 10, n. 1, p.113-124, 2013. Disponível em:
<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/1033>. Acesso em: 8 de abr 2018.

WESTER, F.; ELIASSON, L. Productivity in final felling and thinning for a combined harvester forwarder (Harwarder). **International Journal of Forest Engineering**, Londres, v. 14, p. 45-50, 2003. Disponível em:
<https://journals.lib.unb.ca/index.php/ijfe/article/view/9870/10025>. Acesso em: 15 de mar 2018.

WU, S.; WANG, Y.; BOLABOLA, J. Z.; QIN, H.; DING, W.; WEN, W.; NIU, J. Incorporating motion analysis technology into modular arrangement of predetermined time standard (MODAPTS). **International Journal of Industrial Ergonomics**, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 291-298, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169814116300142>. Acesso em: 16 de abr 2018.

ZHAO, L.; HUCHZERMEIER, A. Operations finance interface models: a literature review and framework. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 244, p. 905-917, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715001125>. Acesso em: 2 de ago 2018.