

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

ALINE VIANNA BELISARIO

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE TORA DE EUCALIPTO NA
PRODUTIVIDADE DA COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL
MECANIZADO

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2017

ALINE VIANNA BELISARIO

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE TORA DE EUCALIPTO NA
PRODUTIVIDADE DA COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL
MECANIZADO

Monografia apresentada ao Departamento de
Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo,
como requisito parcial para obtenção do título
de Engenheira Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO

ESPÍRITO SANTO

2017

ALINE VIANNA BELISARIO

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DE TORA DE EUCALIPTO NA
PRODUTIVIDADE DA COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL
MECANIZADO

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da
Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do
título de Engenheiro Florestal.

Aprovada em 27 de julho de 2017.

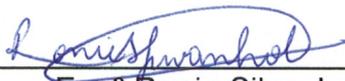
COMISSAO EXAMINADORA



Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler
DCFM / CCAE / UFES
Orientador



Prof. Dr. Flávio Cipriano Assis do Carmo
UFCG – Campos Patos – PB



Engº Ronie Silva Juvanhol
Doutorando em Ciências Florestais – UFES



Engº Leandro Christo Berude
Mestrando em Ciências Florestais – UFES

A minha mãe, Lúcia Helena Vianna, por acreditar e apoiar todas as minhas iniciativas durante esses anos.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível. ”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua compaixão, pela sua graça, pela sua bondade, que estão sempre presentes, sustentando-me nos momentos mais difíceis. Ao Espírito Santo por iluminar cada passo e decisão de minha vida, mostrando-me o caminho certo a seguir.

A minha mãe, Lúcia Helena Vianna, pelo amor e dedicação, a minha irmã Gresiele Maria Caçandre e aos meus sobrinhos Guilherme Caçandre Lorençon e Gabriele Caçandre Lorençon, pela compreensão e por fazerem sentido à palavra família.

Ao meu orientador Prof^o. Dr. Nilton Cesar Fiedler, pelos ensinamentos, pela paciência, pela amizade e apoio ao longo da Graduação.

Aos trabalhadores da Empresa prestadora de serviços onde foram coletados os dados desta pesquisa, pela disposição em ajudar na realização deste trabalho.

A Universidade Federal do Espírito Santo e aos professores do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, por toda contribuição profissional e pessoal nesta etapa de Graduação, em especial ao Professor Aderbal Gomes da Silva.

Às amigas que fiz durante a Graduação e minha estadia em Alegre, à família de cada um que tive o privilégio de conhecer. Cada momento vai estar guardado comigo por onde quer que eu vá. Obrigado por contribuírem para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

À turma 2012/1 do Curso de Engenharia Florestal, por além de me fornecerem instrução técnica, me proporcionaram uma nova maneira de ver o mundo e oportunidades de fazer grandes amigos.

Ao Roger Willians Spadeto Filho pelo companheirismo, compreensão nos momentos de ausência, pela paciência e principalmente pelo seu amor em todos os momentos.

A todos que contribuíram para que até aqui eu chegasse, mesmo não sendo fácil, meu muito obrigada.

RESUMO

No setor florestal, a colheita e o transporte florestal são as etapas que exigem especial atenção do ponto de vista econômico, em virtude a sua alta participação, com mais de 50% de influência no custo final da madeira. A seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução de custos operacionais na colheita e transporte florestal. Este trabalho teve por objetivo realizar uma análise técnica das atividades de colheita e transporte florestal em dois diferentes comprimentos de toras de eucalipto (6 e 7m). Foram avaliados os ciclos operacionais do Harvester, Forwarder e veículo conjugado tritrem em áreas de colheita de madeira no município de Mucuri, sul da Bahia, região nordeste do Brasil. A análise técnica foi realizada por meio de estudos de tempos e movimentos, determinando a eficiência operacional e a produtividade das máquinas empregadas nos sistemas de colheita e transporte. Pode-se notar que, o elemento processamento consumiu a maior parte do ciclo operacional do harvester, enquanto no forwarder, o maior tempo foi consumido pelos elementos carregamento e descarregamento. Em ambos os sistemas, a produtividade pode ser estimada empregando as variáveis volume e tempo do ciclo. Com isso, a produtividade do harvester, forwarder com toras de eucalipto de 6 e 7m foi de 35,2 e 45,2 m³.he⁻¹; e 42,84 e 75,42 m³.he⁻¹, apresentando uma redução na produtividade do *harvester* de 28% e na produtividade do *forwarder* de 48%. No transporte florestal foram analisados três modelos de tritrem, cada um com dimensões de caixa de carga diferente, que variavam em largura e altura. Dentre os modelos citados, o que apresentou melhor resultados tanto na análise feita com comprimento de 6 m como com de 7m, foi o de dimensões com 2,35 m de largura e 2,85 de altura. Ele resultou em um Peso Bruto Total - PBT de 63,52 t para toras com comprimento de 6m e 69,17 t para toras de 7m, com um desempenho de 8,17% maior do que quando utilizado toras de 6m. De acordo com os resultados encontrados pode-se concluir que o aumento do comprimento das toras aumenta a produtividade e o desempenho do transporte florestal.

Palavras chave: Técnicas e operações florestais; produtividade florestal; transporte florestal

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 Objetivos | 11 |
| 1.1.1 Objetivos específicos..... | 12 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 13 |
| 2.1. O Setor Florestal Brasileiro | 13 |
| 2.2. Áreas de Produção Florestal com Eucalipto..... | 14 |
| 2.3. Colheita Florestal..... | 15 |
| 2.4. Principais Máquinas e Equipamentos utilizados na colheita florestal | 15 |
| 2.4.1. Harvester | 16 |
| 2.4.2. Forwarder | 17 |
| 2.5 TRANSPORTE DE MADEIRA..... | 17 |
| 2.5.1 Veículo de transporte Tritrem | 19 |
| FIGURA 1 – Desenho esquemático do veículo Tritrem..... | 20 |
| 3. METODOLOGIA | 22 |
| 3.1. Área de estudo | 22 |
| FIGURA 2 - Mapa de localização da área de estudo no sul do estado, Mucuri – | |
| BA..... | 22 |
| TABELA 1 – Características do povoamento florestal..... | 22 |
| 3.2. Sistema de Colheita de Madeira | 23 |
| FIGURA 3 – Esquema representativo da operação do harvester..... | 23 |
| 3.3 Características das Maquinas Avaliadas..... | 24 |
| TABELA 2 – Principais características do modelo de harvester, forwarder e | |
| tritem. | 24 |
| FIGURA 4 – Harvester utilizado na pesquisa. | 25 |
| FIGURA 5 – Trator florestal autocarregavel (Forwarder) utilizado na pesquisa. | |
| | 25 |
| FIGURA 6 – Veículo “tritrem” utilizado no transporte florestal..... | 25 |
| 3.4 Coleta de Dados..... | 26 |
| FIGURA 7 - Imagem 3D gerada pelo equipamento Logmeter® 4000 do Tritrem. | |
| | 26 |
| 3.5 Análise Técnica | 26 |
| 3.5.1. Operações e fases estudadas | 26 |
| TABELA 3 – Caracterização do ciclo operacional das máquinas avaliadas..... | 27 |

| | |
|---|-----------|
| TABELA 4 – Disposição dos tipos de tratamento realizados no transporte florestal. | 28 |
| 3.5.2 Produtividade das Máquinas | 29 |
| 3.6 Análise estatística..... | 29 |
| 3.6.1 Número mínimo de amostragem | 29 |
| 3.6.2 Procedimentos estatísticos..... | 30 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 31 |
| 4.1. Análise Operacional | 31 |
| 4.1.1 Elementos do ciclo operacional | 31 |
| TABELA 5 – Amostras coletadas, números mínimo necessário, ciclo médio e percentual obtidos pelos métodos contínuos para o modelo analisado de harvester e forwarder. | 31 |
| TABELA 6 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do Harvester. | 32 |
| TABELA 7 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do Forwarder. | 32 |
| 4.2 Mensuração da Produtividade..... | 34 |
| 4.2.1 Harvester..... | 34 |
| TABELA 8 – Produção e produtividade do harvester no processamento de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento. | 34 |
| FIGURA 8 – Tempos da colheita de árvore de eucalipto pela máquina Harvester. | 35 |
| 4.2.2 Forwarder | 36 |
| TABELA 9 – Produtividade (m³.h⁻¹) do forwarder na extração de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento. | 36 |
| 4.3 Desempenho do transporte florestal..... | 37 |
| TABELA 10 – Peso Bruto Total – PBT com toras de eucalipto com 6 e 7 metros de comprimento. | 37 |
| 5. CONCLUSÕES | 39 |
| 6. REFERÊNCIAS | 41 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| TABELA 1 - Características do povoamento florestal. | 22 |
| TABELA 2 – Principais características do modelo de harvester, forwarder e tritem. | 24 |
| TABELA 3 – Caracterização do ciclo operacional das máquinas avaliadas. | 27 |
| TABELA 4 – Disposição dos tipos de tratamento realizados no transporte florestal. | 28 |
| TABELA 5 – Amostras coletadas, números mínimo necessário, ciclo médio e percentual obtidos pelos métodos contínuos para o modelo analisado de harvester e forwarder. | 31 |
| TABELA 6 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do Harvester. | 32 |
| TABELA 7 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do Forwarder. | 32 |
| TABELA 8 – Produção e produtividade do harvester no processamento de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento. | 34 |
| TABELA 9 – Produtividade ($m^3.h^{-1}$) do forwarder na extração de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento. | 36 |
| TABELA 10 – Peso Bruto Total – PBT com toras de eucalipto com 6 e 7 metros de comprimento. | 37 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – Desenho esquemático do veículo Tritrem..... | 20 |
| FIGURA 2 - Mapa de localização da área de estudo no sul do estado, Mucuri – BA. | 22 |
| FIGURA 3 – Esquema representativo da operação do harvester. | 23 |
| FIGURA 4 – Harvester utilizado na pesquisa. | 25 |
| FIGURA 5 - Trator florestal autocarregavel (Forwarder) utilizado na pesquisa. | 25 |
| FIGURA 6 – Veículo “tritrem” utilizado no transporte florestal..... | 25 |
| FIGURA 7 - Imagem 3D gerada pelo equipamento Logmeter® 4000 do Tritrem..... | 26 |
| FIGURA 8 - Tempos da colheita de árvore de eucalipto pela máquina Harvester. | 35 |

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal brasileiro tem como seus principais produtos, celulose e papel, painéis de madeira industrializada, carvão vegetal, *pellets*, madeira serrada, lenha e biomassa para geração de energia. A área total plantada com árvores no Brasil atingiu 7,8 milhões de hectares em 2015, crescimento de 0,8% na comparação com os 7,74 milhões de hectares de 2014. Sendo 5,6 milhões de hectares com eucalipto, 1,6 milhões de hectares com pinus e 0,59 milhões de hectares com outras espécies (IBÁ, 2016).

No setor florestal, entre as atividades necessárias para a produção de madeira, a colheita e o transporte florestal são as etapas que exigem especial atenção do ponto de vista econômico, em virtude a sua alta participação no custo final do produto e os riscos de perdas envolvidos nessas atividades. Juntas, podem representar mais de 50% do custo da madeira posta em indústria (BAGIO e STOHR, 1978). Portanto, faz-se necessária e urgente a busca de técnicas que tornem a colheita e o beneficiamento da madeira mais racionais, visando o maior aproveitamento do material lenhoso (JACONINE et al., 2001).

A partir da década de 1990, com o crescimento da economia brasileira, e conseqüentemente uma crescente demanda pelos produtos de origem florestal, o setor florestal brasileiro sofreu várias mudanças que resultaram na implementação e modernização de máquinas e equipamentos, visando um aumento de produtividade. Isso acarretou em um aumento da demanda por madeira e a redução da disponibilidade de mão-de-obra, principalmente nas regiões mais industrializadas, onde a mecanização das atividades de colheita passou a ser mais estudada, pois apresenta um potencial de aumentar a produtividade, reduzindo os custos e melhorando as condições de trabalho (MOREIRA, 2000).

Com relação ao processo de mecanização, a seleção de máquinas e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução de custos e dependência de mão-de-obra nas operações de colheita e transporte florestal (EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX, 1997).

Mesmo a mecanização sendo um processo em crescimento, a escolha do sistema adequado caberá individualmente a cada empresa, de acordo com análises técnicas e econômicas criteriosas, levando em conta também os fatores sociais e

ambientais. Além disso, devem ser considerados ainda aspectos referentes à equipamentos, infraestrutura de apoio ao equipamento, como peças de reposição, oficinas, a racionalização das operações, treinamento dos operadores e valorização da mão de obra (CANTO, 2006).

Os sistemas de colheita podem variar de acordo com diversos fatores, dentre eles a topografia do terreno, o rendimento volumétrico do povoamento, tipo de floresta, uso final de madeira, máquinas, equipamentos e recursos disponíveis, volume a ser produzido entre outros (MACHADO, 2014).

Levando em consideração o comprimento da madeira, sistemas de árvores de maiores comprimentos têm recebido muita atenção no Brasil. Muitas empresas gradualmente estudam as vantagens da colheita de toras compridas e de árvores inteiras, dada a redução do processamento dessas, resultando numa economia de tempo de trabalho e custos operacionais (VALVERDE, 1995).

Andrade (1998) em seu estudo, teve como resultado que o custo da colheita no sistema de toras de 2,40 m foi 3,90% maior que no sistema de 5,50 m e que este tem um potencial de ganho muito superior ao de 2,40 m, uma vez que a empresa estava iniciando com o novo sistema. Já a EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX (1997), destacou que a mecanização das operações de colheita e transporte passa necessariamente pelo aumento do comprimento da madeira, pois aquelas com comprimento de até 2,50 m aumentam os custos operacionais. Estudos indicaram que a colheita de madeira de 6,0 m apresenta os melhores rendimentos operacionais e os menores custos de produção.

Muitas empresas utilizam uma variedade de comprimento de toras, de acordo com os seus objetivos. Entretanto, buscando sempre a redução dos custos operacionais, as empresas têm estudado alternativas na variação do comprimento das toras, visando um melhor aproveitamento do produto, ganho no transporte, aumento da produtividade e redução dos custos operacionais.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a influência do comprimento de toras de eucalipto na colheita e transporte florestal mecanizados entre os sistemas de toras com comprimentos de 6,0 e 7,0 m no sul da Bahia.

1.1.1 Objetivos específicos

- Descrever e comparar o processo de colheita e transporte com toras de eucalipto nos comprimentos de 6,0 e 7,0 m, e qual a influência da padronização no ciclo operacional.
- Analisar os fatores que influenciam e interferem na alteração do processo.
- Analisar o volume de madeira transportado pelos veículos tritrem com os diferentes comprimentos de tora.
- Determinar e comparar a produtividade das operações nos dois métodos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O Setor Florestal Brasileiro

O setor florestal começou a se destacar no Brasil após a aprovação da legislação de incentivos fiscais ao reflorestamento em 1966, o que possibilitou às empresas abaterem até 50% do valor do imposto de renda devido para aplicar em projetos florestais. Em decorrência da legislação (Lei nº 5.106, de set. 1966), o crescimento da área reflorestada no país situou-se na faixa de 100 a 250 mil hectares anuais entre 1968 e 1973, elevando-se para 450 mil hectares anuais entre 1974 e 1982. Em 1976, o Brasil era um dos quatro países que mais incentivavam a produção florestal no mundo, depois da China, União Soviética e Estados Unidos. Ressalta-se ainda que os projetos vinculados à política de incentivos fiscais totalizaram, aproximadamente, 6,2 milhões de hectares entre 1967 e 1986 (LEÃO, 2000).

O setor florestal vem se destacando não somente no aspecto econômico, mas também no social e ambiental. As plantações florestais, em especial do gênero *Eucalyptus* são fontes de matéria-prima importantes para diversos segmentos industriais da cadeia produtiva da madeira, industrialização e comercialização, como celulose e papel, siderurgia, energia, painéis, móveis, madeira sólida, além de outros produtos, tendo participação expressiva e estratégica na economia nacional e na geração de empregos (SCHUCHOCSKI, 2003).

Até o final da década de 60, a exploração florestal era quase que exclusivamente de florestas nativas. A implantação de florestas de rápido crescimento deu novo impulso ao setor florestal, com a criação da política governamental de incentivos fiscais (MACHADO et al, 2008).

O setor de florestas plantadas no Brasil vem passando por uma expressiva expansão desde a última década, com uma taxa de crescimento anual de 1,7% e possuindo, uma área ocupada de plantios na ordem de 7,74 milhões de hectares, com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Além disso, deve-se destacar a sua importância para a sociedade em termos econômicos, sociais e ambientais, sendo responsável, em 2014, pela geração de 4,23 milhões de empregos diretos e indiretos (IBÁ, 2015).

2.2. Áreas de Produção Florestal com Eucalipto

De acordo com Navarro de Andrade, os eucaliptos possivelmente chegaram na América do Sul pelo Chile, em 1823, por mudas lá deixadas por um veleiro inglês. É difícil precisar como e quando os eucaliptos ingressaram pela primeira vez no Brasil. Há controvérsias sobre o tema: teria sido no Rio de Janeiro, em 1855, ou 1865, ou no Rio Grande do Sul, em 1868. As primeiras espécies plantadas no País teriam sido de *E. globulus* e/ou *E. gigantea*. No início, as árvores eram plantadas com fins decorativos, como quebra-ventos e para obtenção de seu óleo essencial. Entretanto, em outros países, elas já se destacavam como produtoras de madeira, devido ao seu rápido crescimento e rusticidade.

A formação de povoamentos florestais com fins econômicos ocorreu com a introdução do gênero *Eucalyptus* na região de Rio Claro – SP. Edmundo Navarro de Andrade, técnico da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, que em 1903 trouxe as primeiras sementes de eucalipto, árvore originária da Austrália, para plantio, seu objetivo era encontrar uma solução para a produção de dormentes, postes e lenha para a ferrovia e as locomotivas (ANDRADE, 1961).

Desde o início do século XX, o consecutivo crescimento da população e o crescente aumento na demanda de madeira foram responsáveis pelo surgimento do interesse e da necessidade do uso de espécies de eucalipto para a produção de produtos como madeira, lenha, moirões e dormentes em muitos países. A partir de 1945, a crescente demanda de madeira para fins de produção de celulose, compensados, chapas, assim como o rápido desenvolvimento tecnológico verificado, resultou em aumento adicional na área plantada com eucalipto. O eucalipto rapidamente, adquiriu a característica marcante de ser a espécie florestal mais plantada no mundo, acusando condições de crescer e se desenvolver onde quer que as condições climáticas fossem tais que a temperatura mínima do solo não fosse limitante (PRYOR, 1976).

Até 1973, a área total plantada nesses países alcançava cerca de 4 milhões de hectares. Em 1987, a estimativa total atingia cerca de 6 milhões de hectares, com uma produtividade potencial da ordem de 30 milhões de metros cúbicos de madeira por ano (baseado numa produção média de 10 a 15 m³ /ha.ano, e numa densidade básica média de 400 kg/m³ (ELDRIGE; CROMER, 1987).

A importância da cultura do eucalipto para o Brasil pode ser avaliada pela participação do setor florestal na economia do país. Inicialmente, apoiado por

incentivos fiscais ao reflorestamento, e também pelos Programas Nacionais de Siderurgia a Carvão Vegetal e de Celulose e Papel, o setor responde por 4% do PIB (produto interno bruto), gera 700 mil empregos diretos e dois milhões de empregos indiretos. Adicionalmente, a contínua expansão do setor florestal brasileiro, baseado em plantações, principalmente com eucaliptos, possibilita a exportação de US\$ 2 bilhões por ano (SILVA, 1997).

2.3. Colheita Florestal

Segundo Tanaka (1986), a colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações realizadas em um maciço florestal, visando preparar e transportar a madeira do local de corte até o seu local de utilização, mediante o emprego de técnicas e padrões estabelecidos, tendo por finalidade transformá-la em produto final.

A colheita florestal, também pode ser compreendida como um conjunto de operações que tem como objetivo cortar e extrair árvores do local de derrubada até as margens das estradas ou cursos d'água (MACHADO, 2014). É uma atividade complexa, dada a ocorrência de vários fenômenos climáticos, biológicos e relacionamentos ao sistema homem-máquina que podem influenciar na produtividade das máquinas e, conseqüentemente, nos custos de produção.

Existem múltiplos métodos e sistemas de colheita e processamento de madeira no campo, de acordo com a espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita. Portanto, o sistema de colheita e processamento a ser utilizado será uma função de um conjunto de fatores condicionantes. Para cada grupo de condições específicas, existe um método e um sistema de colheita mais indicado, a serem selecionados para que se proceda a colheita e o beneficiamento da madeira (SILVA et al., 2003).

2.4. Principais Máquinas e Equipamentos utilizados na colheita florestal

O processo de evolução da mecanização das operações de colheita de madeira no Brasil teve início na década de 1960, sendo marcado pelo uso de equipamentos adaptados dos setores agrícolas e industriais, bem como pelo amplo emprego de sistemas manuais e semimecanizados devido à falta de alternativas e à grande disponibilidade de mão-de-obra. Neste período, houve um significativo emprego de motosserras, tratores agrícolas com guincho e gruas para o

carregamento. Somente na década de 80 é que a mecanização florestal começou a tomar impulso, com o início do uso dos tratores para o corte de árvores, como feller bunchers de tesoura e de sabre para o corte, e tratores adaptados para o arraste de árvores, como os Mini-skidders (MACHADO, 1994; MACHADO et al., 2008).

Entretanto, o grande salto rumo à modernização da colheita de madeira ocorreu a partir do início da década de 1990, com a abertura do mercado brasileiro à importação. Nesta época, muitas empresas fabricantes nacionais e internacionais disponibilizaram máquinas e equipamentos de alta tecnologia e produtividade, originadas dos países escandinavos e norte-americanos. Neste período, surgiram então os *harvester*, *forwarder*, *skidder*, processadores e carregadores florestais, que trouxeram vários benefícios às empresas florestais, como redução da dependência por mão de obra, melhoria das condições de trabalho, fornecimento regular e crescente de madeira, aumento de produtividade e redução de custos de produção (MACHADO, 1994; MACHADO et al., 2014).

Entretanto, apesar do grande avanço tecnológico das máquinas e equipamentos de colheita de madeira existente nas empresas florestais brasileiras e os significativos ganhos de produtividade e redução de custos, ainda há a necessidade de novos estudos para melhor entendimento e otimização das operações florestais. Uma vez que no processo de gestão das operações ainda existem diversos problemas operacionais que necessitam ser resolvidos, para que cada vez mais ocorra aumento de produtividade, redução de custos, melhoria na qualidade, minimização de impactos ambientais e a sustentabilidade da produção florestal.

Tal afirmação é confirmada por Machado et al. (2014), que citam que nas maiores empresas produtoras de madeira do Brasil são utilizadas as mais modernas tecnologias para a colheita de madeira. Porém, para dar continuidade ao emprego dessas tecnologias, ainda existem certas lacunas que necessitam ser preenchidas e alguns parâmetros que precisam de melhor balizamento para que se concretize o desenvolvimento sustentável da área florestal.

2.4.1. Harvester

O colhedor florestal *harvester* pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e pré-extração por meio do enleiramento ou empilhamento da madeira. O *harvester* é composto por uma

máquina base de pneus ou esteira e um cabeçote. No caso de one grip *harvester*, o cabeçote derruba, desgalha e traça, e, em se tratando de two grip *harvester*, o cabeçote somente derruba, sendo o desgalhamento e o traçamento feitos em implementos localizados sobre o eixo traseiro da máquina-base (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

O *harvester* dependendo da atividade que se destina pode possuir configurações de material rodante com esteira ou pneus, sendo que na configuração de pneu podemos ter a existência de máquinas nos seguintes tipos de trações 4x4, 6x6 ou 8x8. A potência nominal pode variar de 157 a 300 hp, com um peso operacional entre 24,0 a 35,6 t. O cabeçote *harvester* vem ainda com um sistema informatizado de mensuração e sistema para corte programado de sortimentos. Pode ainda vir configurada para descascar ou não madeira com mais ou menos “facas” para esse fim (MACHADO et al., 2008).

2.4.2. Forwarder

O *forwarder* é um trator florestal auto carregável articulado que realiza a extração da madeira do interior do talhão na forma de “baldeio” até a margem ou pátio intermediário. Pode ser equipado com rodados de pneus em eixos *tandem* ou esteiras com tração 4x4, 6x6 ou 8x8, possuindo chassi articulado, que possibilita a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão. A máquina também é equipada com uma plataforma de carga e uma grua hidráulica para realizar o carregamento da madeira processada para o baldeio, sendo a capacidade de carga de 10 a 19t e a potência do trator varia de 134 a 204 hp.

Segundo Seixas (2007), a velocidade não é uma característica essencial desse trator, pois a maior parte de seu tempo é empregada no carregamento e descarregamento, destacando-se em razão de superar as condições adversas encontradas no campo.

2.5 TRANSPORTE DE MADEIRA

O transporte florestal consiste na movimentação de madeira dos pátios ou das margens das estradas até o local de consumo. No Brasil, pode ser realizado por diversos tipos de veículo, em função da distância de transporte, do volume de madeira a ser deslocado, das condições locais da região, da capacidade de carga do veículo e dos tipos de equipamentos de carregamento e descarregamento (MACHADO et al., 2000).

Desta forma, observa-se que no transporte, diversos parâmetros devem ser levados em consideração, a fim de que se estabeleça um nível de serviço desejável. Em razão desses parâmetros é necessário a escolha de um modal de transporte ou do serviço oferecido dentro de um modal (RIBEIRO; FERREIRA, 2002).

Os principais modais de transporte são: rodoviário, ferroviário, aeroviário, hidroviário (fluvial e marítimo) e os dutoviários. Ressalta-se que a escolha de cada modal reflete na qualidade e necessidade específica sobre o produto a ser distribuído, o ritmo de distribuição e o custo logístico.

No Brasil, a grande maioria do transporte florestal é realizada pelo modal rodoviário, que corresponde a 59% da carga transportada, enquanto o transporte ferroviário detém 24%, devido ao histórico e tendência nacional. Além disso, alguns fatores que contribuem para esta situação: extensa malha viária, oferta de diferentes tipos de veículos, baixo valor de instalação quando comparado a outros modais existentes (MACHADO et al., 2009).

Os veículos utilizados no transporte florestal rodoviário podem ser classificados de acordo com a capacidade de carga. Portanto, têm-se os veículos leves (que têm capacidade de carga que não ultrapassa 10 toneladas); veículos pesados (que suportam de 30 a 40 toneladas de carga); e veículos extrapesados (com capacidade de carga acima das 40 toneladas). Como exemplo de veículos extrapesados, tem-se o bitrem (um cavalo mecânico e dois semi-reboques), tritrem (um cavalo mecânico e três semi-reboques), treminhão (um caminhão e dois reboques) e o rodotrem (um veículo articulado e um reboque) (MACHADO et al., 2009).

Essa facilidade de escolha de veículos com diferentes capacidades de cargas e rotas permitidas pelo modal rodoviário passa a tornar-se um problema, quando não se faz a escolha do veículo e planejamento adequado da operação. No caso específico de veículos de transporte florestal, um dos fatores que mais contribuem para o aumento dos custos operacionais é o desgaste prematuro das estradas florestais, por acarretar maior consumo de pneus e peças, e contribuir de forma negativa à velocidade de deslocamento (BURLA, 2001). Nesse sentido Valente (2008) cita que grandes empresas têm buscado a otimização logística na administração de suas operações"

Além do desgaste prematuro das estradas florestais, outro fator limitante para o tráfego dessas composições são as condições das estradas, quanto à inclinação vertical e horizontal, largura e condições da superfície da pista de rolamento.

Outro ponto de observação é a terceirização na colheita e transporte florestal, tendendo a crescer cada vez mais. Leite (1999) acredita que no Brasil, mais de 70% dos serviços de plantios, reformas, manutenção, colheita, transporte e trabalhos técnicos especializados sejam executados por meio de terceiros. Esses dados evidenciam a expansão e a aceitação da terceirização dentro do setor. No entanto, existem registros, de casos em que, por várias razões, os resultados deixam a desejar, criando, então, situações indesejáveis entre as empresas envolvidas.

Segundo Machado (2014), existe uma tendência mundial de aumento do consumo de madeira. No Brasil, a taxa de crescimento anual deverá ser de 3%. Caso permaneça essa intenção, aumenta-se a importância de se ter um sistema de suprimento de madeira eficiente que requeira alternativas de formas de colheita que levem à sustentabilidade técnica, econômica e ambiental.

Há uma tendência de uso de guas cada vez maiores e com maior capacidade de carga e descarga, visando aumentar a produtividade da mesma e diminuir o tempo de espera dos caminhões. Alguns fabricantes já estão oferecendo garras que têm a capacidade de agarrar toda a madeira de um vão do caminhão e fazer o descarregamento de uma só vez. O uso de composições cada vez maiores para o transporte de madeira também se enquadra como uma tendência atual. Para que essa tendência realmente seja concretizada é preciso que se tenham estradas que permitam o deslocamento dessas composições.

2.5.1 Veículo de transporte Tritrem

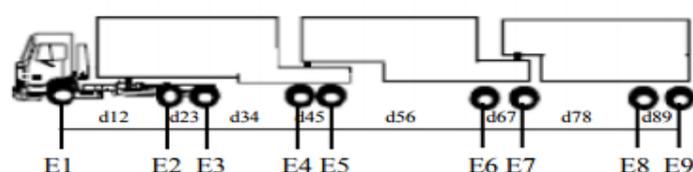
Os tipos de veículos existentes para transporte de madeira variam de acordo com o seu tamanho e capacidade de carga. São compostos, basicamente, por uma unidade tratora com um ou mais implementos rebocados, que podem ser reboques ou semirreboques, formando uma Combinação Veicular de Carga – CVC.

Porém, a indicação da combinação ótima depende principalmente das condições operacionais em que serão realizadas as operações e a legislação vigente na região. As CVC que normalmente apresentam o menor custo por unidade transportada, são as que conseguem carregar maior quantidade de carga, mas cada qual apresenta restrições operacionais ligadas ao tipo de pavimento e rampa

máxima que conseguem vencer, tanto vazio como carregado, as quais limitam sua utilização em certas condições.

Segundo Velloso et al. (1997), o “tritrem” é uma combinação especial de transporte de madeira constituído por três semi-reboques de dois eixos, acoplados entre si e com a unidade tratora possuindo “quinta-roda”, tracionados por um cavalo mecânico 6x4, com 340 c.v. de potência, podendo variar a potência. Este conjunto tem Peso Bruto Total Combinado - PBTC de 74 t, capacidade de carga líquida de aproximadamente, 48,8 t e comprimento máximo de 30 m (Figura 1).

FIGURA 1 – Desenho esquemático do veículo Tritrem.



CAVALO MECÂNICO TRUCADO +
TRÊS SEMIRREBOQUES
TRITREM

E1 – 6 t
E2E3 – 17 t
E4E5 – 17 t
E6E7 – 17 t
E8E9 – 17 t
d12, d34, d56, d78 > 2,40 m
1,20 m < d23,d45,d67,d89 < 2,40 m

Fonte: Adaptado de BRASIL,2012

Através da Resolução nº 211 de 13 de novembro de 2006, o CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN, regulamentou os requisitos necessários à circulação de Combinações veiculares de cargas (CVC) nos artigos 97,99 e 313 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB), conforme BRASIL, 2013.

I – As CVC com mais de duas unidades, incluída a unidade tratora, com peso bruto total (PBT) acima de 57t ou com comprimento total acima de 19,80 m, só poderão circular portando Autorização Especial de Trânsito (AET).

II – A AET pode ser concedida às CVC's pelo órgão Executivo Rodoviário da União, dos estados, dos Municípios ou do Distrito Federal, mediante atendimento aos seguintes requisitos:

- a) PBTC igual ou inferior a 74 toneladas (t);

- b) Comprimento superior a 19,80 m e máximo de 30 m, quando o PBTC for inferior ou igual a 57 t;
- c) Comprimento mínimo de 25 m e máximo de 30m, quando o PBTC for superior a 57 t;
- d) Limites legais de Peso por Eixo fixados pelo CONTRAN;
- e) Compatibilidade da Capacidade Máxima de Tração – CMT da unidade tratora, determinada pelo fabricante;
- f) Estar equipadas com sistemas de freios conjugados entre si e com a unidade tratora, atendendo o disposto na Resolução nº 777/93 – CONTRAN;
- g) O acoplamento dos veículos rebocados deverá ser do tipo automático, conforme a Norma Brasileira – NBR 11410/11411, e estarem reforçados com correntes ou cabos de aço de segurança;
- h) O acoplamento dos veículos articulados deverá ser do tipo pino – rei e quinta roda e obedecer ao disposto na NBR NM/ISO 337;
- i) Possuir sinalização especial na forma do Anexo II do referido documento e estar provida de lanternas laterais colocadas a intervalos regulares de no máximo 3 metros entre si, que permitam a sinalização do comprimento total do conjunto.

Além da resolução nº 211/06 homologada pelo CONTRAN (BRASIL,2013), anteriormente mencionada, a Resolução nº 211/06, emitida pelo mesmo órgão, e a Portaria 86/06 (BRASIL,2012) do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) regulamentaram os limites para dimensões peso por eixo, PBT e PBTC, que devem ser observados para todos os veículos de carga que circulam nas vias terrestres. Aos limites legais estabelecidos, conforme a Lei 7.408/85, deve ser acrescida uma tolerância de 5% ao limite de PBT/PBTC (BRASIL, 2013).

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em áreas pertencentes a uma empresa florestal localizada no município de Mucuri, sul do estado da Bahia, região nordeste do Brasil (FIGURA 2), entre os paralelos de latitude $18^{\circ}13'32.75''\text{S}$ e longitude $39^{\circ}42'3.05''\text{W}$, com a altitude média de 7m.

O clima da região, segundo a classificação de KÖPPEN e GEIGER é definido como Af, tropical úmido, sendo a temperatura média do mês de julho o mais frio do ano de $22,1^{\circ}\text{C}$. A temperatura média do mês mais quente que é fevereiro é de $26,5^{\circ}\text{C}$, com chuvas regulares e precipitação média anual de 1583 mm.

O relevo é caracterizado como plano e suave ondulado, o solo que predomina nas áreas de estudo, de acordo com informações da empresa, é argisolo, com textura média argilosa.

FIGURA 2 - Mapa de localização da área de estudo no sul do estado, Mucuri – BA.



Os dados referentes às características dendrométricas do povoamento florestal da área de estudo estão descritos na Tabela 1.

TABELA 1 - Características do povoamento florestal.

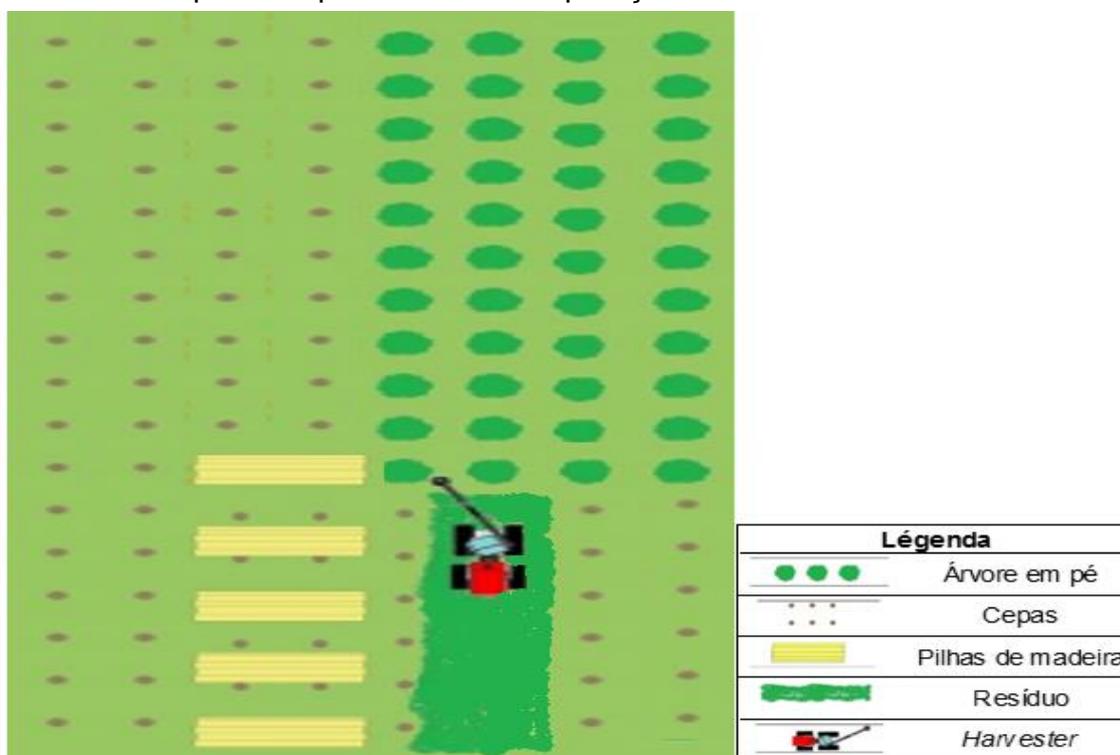
| Espécie | <i>Eucalyptus Sp.</i> |
|---|-----------------------|
| Idade de corte (anos) | 5,27 |
| Espaçamento (m) | 3 x 2 |
| DAP médio (cm) | 15 |
| Altura média (m) | 21,77 |
| Volume médio individual (m ³) | 0,19 |

3.2. Sistema de Colheita de Madeira

O sistema de colheita de madeira utilizado na empresa é denominado de toras curtas (cut-to-length), onde as operações de derrubada, processamento e empilhamento são realizadas pelos colhedores florestais (“*harvester*”) e a extração das toras até a margem da estrada é realizada com uso do trator florestal auto carregável (“*forwarder*”). Na operação de transporte são utilizados veículos de carga articulados tipo tritrem, compostos por uma frota com três transportadores diferentes com capacidade bruta que varia de 44,5 a 46,6 toneladas.

O *harvester*, executa as atividades de derrubada, descascamento, desgalhamento e destopamento em toras de eucalipto de 6,0 e 7,0 m de comprimento nesse estudo. Sua sequência de trabalho é constituída pelo corte, derrubada e processamento do fuste. O eito de trabalho do *harvester* foi constituído por quatro fileiras de árvores. Os toretes eram depositados à esquerda do sentido de deslocamento da máquina (FIGURA 3). Em todos os subsistemas estudados, a colheita foi efetuada com a mesma máquina e o mesmo operador.

FIGURA 3 – Esquema representativo da operação do *harvester*.



O *forwarder* (tratores florestal autocarregável), executa a atividade de extração e empilhamento da madeira na margem das estradas florestais de acordo com os pontos indicados no mapa de microplanejamento. Os operadores de *forwarder* realizavam o carregamento entre fileiras, pegando madeira nas bandeiras dos dois lados, cada bandeira possuía em média de 7 a 8 toras de eucalipto.

A jornada de trabalho na empresa era distribuída em três turnos de 8h de segunda a segunda, totalizando uma atividade contínua de 24h diárias de trabalho.

3.3 Características das Maquinas Avaliadas

A Tabela 2 refere-se às características do modelo de *harvester* e *forwarder* e dos 3 modelos de “tritrens” analisados.

TABELA 2 – Principais características do modelo de *harvester*, *forwarder* e tritem.

| COLHEITA E EXTRAÇÃO | | | |
|-----------------------------|---|-----------|--|
| Máquina | <i>Harvester</i> | | <i>Forwarder</i> |
| Figura | Figura 1 | | Figura 2 |
| Peso (Kg) | 21.000 | | 16.800 |
| Motor | E-1 de cilindros, turbo alimentado com aftercooler, 4 tempos, arrefecido a água, injeção direta, 2000rpm. | | Cilindros injeção direta, 2200 rpm |
| Potência motor (HP) | 155 | | 150 |
| Rodantes | Esteiras com armações central em "X" | | 6 Pneus |
| Caixa de Carga | - | | Caixa de Carga estendida, capacidade de 18m ³ |
| TRANSPORTE - CAIXA DE CARGA | | | |
| Máquina | Tritrem 1 | Tritrem 2 | Tritrem 3 |
| Largura (m) | 2,32 | 2,35 | 2,32 |
| Altura (m) | 2,6 | 2,85 | 2,35 |
| Área (m²) | 6,03 | 6,7 | 5,45 |
| Peso (t) | 27,4 | 23,5 | 29,5 |

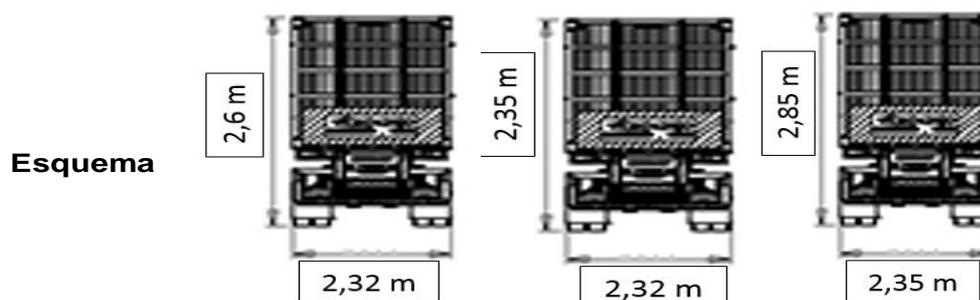


FIGURA 4 – *Harvester* utilizado na pesquisa.



FIGURA 5 - Trator florestal autocarregavel (*Forwarder*) utilizado na pesquisa.



FIGURA 6 – Veículo “tritrem” utilizado no transporte florestal



3.4 Coleta de Dados

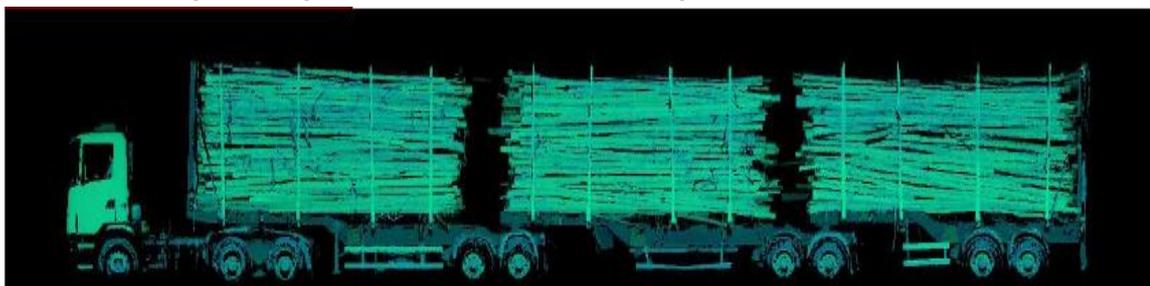
Os dados foram obtidos com a utilização do banco de dados da controladoria da empresa, por estudos de tempos e movimentos em campo (método de tempos contínuos), nas operações de corte, extração e transporte das toras de eucalipto.

As toras possuíam comprimentos de 6 e 7 m, sendo destinadas ao processo fabril de celulose. O carregamento das toras no veículo de transporte foi realizado no sentido longitudinal, sendo que as cargas de toras de 6 e 7m formaram 3 feixes sobre o tritrem (Figura 6).

Todo o volume de madeira informado no trabalho foi adquirido através da leitura do equipamento Logmeter® 4000 que gera as informações em tempo real. O sistema está instalado na portaria da Empresa, em uma das entradas que dá acesso ao pátio de madeira localizado dentro da fábrica.

O Logmeter® 4000 utiliza tecnologia laser 3D juntamente com software de reconhecimento de imagens para medir o volume sólido de madeira carregada sobre caminhões em menos de um minuto. Para cada caminhão que chega à planta, o sistema gera imagens 3D (Figura 7). Estas imagens 3D ficam armazenadas com as imagens fotográficas.

FIGURA 7 - Imagem 3D gerada pelo equipamento Logmeter® 4000 do Tritrem.



3.5 Análise Técnica

3.5.1. Operações e fases estudadas

Coletou-se os dados por meio de um estudo de tempos e movimentos, caracterizado pelo método de tempos contínuos com uso de cronometro digital e formulário para registro dos dados, conforme proposto por Barnes (1977). O acompanhamento das operações foi in loco, conforme o andamento normal das atividades na empresa, sem qualquer interferência.

Para a avaliação dos tempos operacionais e não operacionais, o ciclo de colheita florestal foi dividido em atividades comuns a todo tipo de máquinas e em fases dentro das operações. Assim o ciclo operacional das máquinas de colheita florestal foi subdividido conforme Tabela 3.

TABELA 3 – Caracterização do ciclo operacional das máquinas avaliadas.

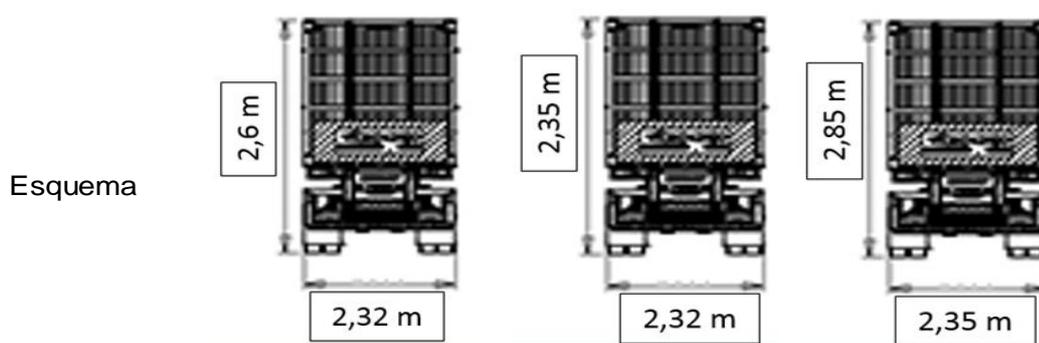
| Harvester | | |
|--------------------------------|---|--|
| Preparação para o corte |  | Deslocamento desde a posição final do último ciclo até o posicionamento do cabeçote na próxima árvore a ser cortada. |
| Derrubada |  | Consiste na derrubada das árvores. |
| Processamento |  | Realização das atividade de desgalhamento, descameto, toragem, destopamento e embadeiramento da madeira no talhão. |
| Forwarder | | |
| Deslocamento Vazio |  | Deslocamento da máquina no talhão até o local |
| Carregamento |  | Colocação de madeira no compartimento de carga do forwarder. |
| Deslocamento Cheio |  | Extração da madeira do interior do talhão até a margem da estrada. |
| Descarregamento |  | Retirada da madeira do compartimento de carga e empilhamento na margem da estrada. |

Para a análise da influência do comprimento das toras no volume total da carga em cada veículo transportador, foram estabelecidos seis tratamentos, diferenciados, segundo os comprimentos de toras de eucalipto e o tipo de transportador utilizado, sendo eles (Tabela 4):

- **Tratamento A:** o transporte de madeira é realizado com tritrem 1, com as dimensões de caixa de carga de 2,32 m de largura 2,6 m de altura e peso de 27,4 toneladas, com toras de comprimento padrão de 6 metros.
- **Tratamento B:** é composto pelo transporte de madeira com tritrem 2, com dimensões de caixa de carga de 2,35 metros de largura, 2,85 metros de altura e peso de 23,5 toneladas, com toras de comprimento padrão de 6 metros.
- **Tratamento C:** o transporte de madeira é realizado pelo tritrem 3, com dimensões de caixa de carga de 2,32 metros de largura, 2,35 metros de altura e peso de 29,5 toneladas, com toras de comprimento padrão de 6 metros.
- **Tratamento D:** transporte de madeira realizado pelo tritrem 1, dimensões citadas no tratamento A, porém, com toras de comprimento padrão de 7m.
- **Tratamento E:** transporte de madeira realizado pelo tritrem 2, dimensões citadas no tratamento B, porém, com toras de comprimento padrão de 7m.
- **Tratamento F:** transporte de madeira realizado pelo tritrem 3, dimensões citadas no tratamento C, porém com toras de comprimento padrão de 7m.

TABELA 4 – Disposição dos tipos de tratamento realizados no transporte florestal.

| Comprimento das toras | Tritrem 1 | Tritrem 2 | Tritrem 3 |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|
| 6m | Tratamento A | Tratamento B | Tratamento C |
| 7m | Tratamento D | Tratamento E | Tratamento F |
| Peso | 27,4 t | 23,5 t | 29,5 t |



3.5.2 Produtividade das Máquinas

A produtividade das máquinas foi determinada em metros cúbicos por hora efetiva de trabalho. Para a determinação da produtividade, foi utilizado o relatório de número de árvores colhidas (*harvester*) ou número de viagens realizadas (*forwarder*), que foram gerados pela coleta de dados de tempos e movimentos, cujo valor foi multiplicado pelo respectivo volume médio individual e dividido pelo número de horas efetivamente trabalhadas, sendo determinados conforme Equação 1.

$$Prod = \frac{(n \times va)}{he}$$

(01)

Em que: Prod= Produtividade (m³.h⁻¹);

n = número de árvores colhidas ou número de viagens (un);

va=volume médio por árvore (m³) ou capacidade volumétrica do *forwarder* (m³);

he = horas efetivas de trabalho (h).

3.6 Análise estatística

3.6.1 Número mínimo de amostragem

Analisou -se o número mínimo de amostras necessárias para cada uma das fases que compõem a operação do *harvester*, como, preparo para corte, derrubada e processamento. Para operação do *forwarder* foi levado em consideração para o cálculo de número mínimo de amostra, deslocamento vazio e carregado com as toras no talhão, carregamento e descarregamento.

No transporte foi comparado o número de viagens nos diferentes tratamentos, com toras de 6 e 7m de comprimento.

Cada operação teve um número mínimo de amostras e foram determinados por meio da seguinte expressão, proposta por Conaw (1997):

$$N = \frac{CV^2 \cdot t^2}{E^2}$$

(02)

Em que: n= Suficiência amostral;

CV= coeficiente de variação;

t = valor de t, para nível de probabilidade desejado, (n-1) GL;

E = limite de erro aceitável.

3.6.2 Procedimentos estatísticos

Foi avaliada a normalidade dos erros pelo teste de Shaapiro – Wilk. Em seguida, os dados foram submetidos á análise de variância. Quando o valor “F” foi significativo, as médias dos tratamentos foram submetidas á comparação de médias por meio do Teste de *Tukey* ao nível de 95% de probabilidade para descobrir se os diferentes comprimentos de toras influenciaram nas atividades avaliadas da colheita florestal.

As interferências estáticas dos dados foram obtidas por intermédio das análises referentes à comparação dos tempos de cada etapa do ciclo operacional do *harvester* e *forwarder* em relação ao comprimento das toras de eucalipto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise Operacional

4.1.1 Elementos do ciclo operacional

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das informações obtidas dos estudos de tempos e movimentos do ciclo operacional realizados no módulo operacional de colheita florestal.

TABELA 5 – Amostras coletadas, números mínimo necessário, ciclo médio e percentual obtidos pelos métodos contínuos para o modelo analisado de *harvester* e *forwarder*.

| Ciclo Operacional | Ciclo médio | | Contínuo (%) |
|--------------------------------------|--------------|-----|--------------|
| HAVESTER 6m (Modelo A) | | | |
| Corte | 4,00 | b A | 21 |
| Derrubada | 2,25 | c A | 12 |
| Processamento | 13,15 | a C | 68 |
| Total | 19,40 | | 100 |
| HAVESTER 7m (Modelo B) | | | |
| Corte | 4,1 | b A | 26 |
| Derrubada | 3,15 | b A | 20 |
| Processamento | 8,1 | a B | 54 |
| Total | 15,35 | | 100 |
| FORWARDER 6m (Modelo C) 125m | | | |
| Deslocamento Vazio | 1,51 | c A | 6 |
| Carregamento | 15,53 | a A | 62 |
| Deslocamento Cheio | 1,65 | c A | 7 |
| Descarregamento | 6,52 | b A | 26 |
| Total | 25,21 | | 100 |
| FORWARDER 7m (Modelo D) 125 m | | | |
| Deslocamento Vazio | 1,32 | c A | 9 |
| Carregamento | 7,45 | a B | 52 |
| Deslocamento Cheio | 1,02 | c B | 7 |
| Descarregamento | 4,56 | b B | 32 |
| Total | 14,35 | | 100 |

Nota: a,b - para cada espécie, médias das atividades seguidas da mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si. A,B - para cada recipiente, médias de comprimento seguidas de mesma letra maiúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

TABELA 6 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do *Harvester*.

| Fatores | GL | Soma Quadrados | Quadrado Médio | F Calculado |
|--------------------------------------|-----|----------------|----------------|-------------|
| Comprimento | 1 | 54,6750 | 54,6750 | 11,0425 |
| Atividades | 2 | 1438,1167 | 719,0583 | 145,2257 |
| Interação Comprimento X Atividade | 2 | 208,5500 | 104,2750 | 21,0601 |
| Tratamento | 5 | 1701,3417 | | |
| Resíduos | 114 | 564,4500 | 4,9513 | |
| Totais | 119 | 2265,7917 | | |

TABELA 7 – Estatísticas descritivas do conjunto de dados para análise de Comprimentos x Atividades do *Forwarder*.

| Fatores | GL | Soma Quadrados | Quadrado Médio | F Calculado |
|--------------------------------------|-----|----------------|----------------|-------------|
| Comprimento | 1 | 297,8704 | 297,8704 | 354,0279 |
| Atividades | 3 | 2737,2359 | 912,4120 | 1084,4291 |
| Interação Comprimento X Atividade | 3 | 399,6001 | 133,2000 | 158,3122 |
| Tratamento | 7 | 3434,7064 | | |
| Resíduos | 152 | 127,8891 | 0,8414 | |
| Totais | 159 | 3562,5954 | | |

Como pode ser observado na Tabela 5, todas as amostras obtidas das atividades foram suficientes ao nível de 95% de probabilidade para os modelos analisados. Assim, após realizado o estudo piloto, fez-se uma interferência estatística ao nível de 5% de significância pelo teste de *Tukey*, para verificar se houve diferença significativa entre as atividades executadas.

Para o *harvester* verificou-se que o maior tempo gasto ao nível de 95% de probabilidade foi o de processamento da árvore (média de 13,15 segundos para o modelo I e 8,10 segundos para o modelo II). Isto pode ser justificado pelo fato desta atividade contemplar as etapas de desganhamento, descascamento, toragem, destopamento e embadeiramento da madeira no talhão. A diferença entre o modelo I e II na subdivisão processamento explica-se um maior tempo no modelo I por possuir uma toragem a mais do que quando utilizado o modelo II. Tais resultados foram semelhantes aos resultados por Lopes *et.al.* (2007), Burla (2008) e Bertin

(2010), que também registraram este comportamento em seus resultados, encontrando um maior tempo gasto no ciclo operacional do *harvester* na etapa de processamento.

Estatisticamente o melhor tamanho de comprimento de toras para ciclo operacional do *harvester* é o de 7m, que apresentou uma diferença significativa do comprimento de 6m de 4 segundos. Quando comparamos os dois comprimentos, essa diferença está representada na etapa do processamento, sendo um menor tempo no comprimento de 7m.

Ao comparar os modelos de *forwarder* verificou-se que a etapa que consumia a maior média foi a de carregamento (média de 15,53 minutos para o modelo III e 7,45 minutos para o modelo IV) e a menor para o deslocamento da máquina carregada e vazia (média de 1,65 e 1,51 minutos para o modelo III e 1,02 e 1,32 minutos para o modelo IV). Quando comparamos o modelo III e IV visualizamos uma diferença significativa nas médias do carregamento e descarregamento que representam na sequência 62 % e 26 % para modelo III e 52% e 31,89 % para modelo IV. Tal resultado, está em concordância com os resultados obtidos pelo autor Fenner (2002) que também detectou que o carregamento e o descarregamento foram responsáveis pela maior parte do tempo do ciclo operacional do *forwarder*, avaliando o baldeio de toras de *Eucalyptus grandis*, relatando que o carregamento e descarregamento consumiram 51% e 28% do tempo do ciclo, respectivamente.

SIMÕES & FENNER (2010) também observaram que o carregamento e descarregamento foram responsáveis pela maior parte do tempo do ciclo operacional do *forwarder*, avaliando o baldeio de toras de *Eucalyptus grandis* em primeiro corte. Para SEIXAS (2008) as operações de carregamento e descarregamento interferem diretamente no ciclo operacional do *forwarder*, pois a máquina passa a maior parte do tempo na forma passiva, ou seja, realizando o carregamento e descarregamento da madeira. Assim, fica evidente a utilização de medidas para a otimização da operação como treinamentos direcionados, padronização dos comprimentos e pesos da madeira e planejamento eficiente das operações. Desta forma, é possível contribuir para a redução dos tempos de carregamento e descarregamento e, conseqüentemente, do ciclo operacional total, aumentando a eficiência operacional da máquina na extração florestal (OLIVEIRA et al., 2009).

Estatisticamente a atividade de carregamento difere das demais atividades, assim como o descarregamento difere do deslocamento cheio e vazio, que não diferem entre si. Quando comparamos os comprimentos das toras de 6m e 7m, não faz diferença estatística utilizar o modelo de 6m e 7m para atividade de deslocamento vazio, porém quando comparamos as outras três atividades (carregamento, deslocamento cheio e descarregamento) o comprimento de 7m apresentou resultados estatisticamente melhores e menores, quando comparado com comprimento de 6m.

Por fim, os elementos viagem carregado e vazio tiveram uma menor participação relativa no tempo total do ciclo operacional, estando na ordem de 7 % e 6 % para o modelo III e 7 e 9% para o modelo IV, respectivamente, sendo que tais elementos são influenciados principalmente pela distância de extração que no atual trabalho foi considerado uma distância de 125 m. Quanto maior a distância, mais afeta diretamente o aumento do tempo total do ciclo operacional.

4.2 Mensuração da Produtividade

De posse das informações dos volumes de madeira por hectare, distância média de extração e capacidade volumétrica, os dados foram processados, sendo os resultados de produtividade do *forwarder*, *harvester* e produção do transporte florestal citados nas Tabelas 8, 9 e 10.

4.2.1 Harvester

A tabela 8 destaca os resultados das análises estatísticas realizadas para os elementos do ciclo operacional do *harvester* nos diferentes comprimentos de toras estudado.

TABELA 8 – Produção e produtividade do *harvester* no processamento de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento.

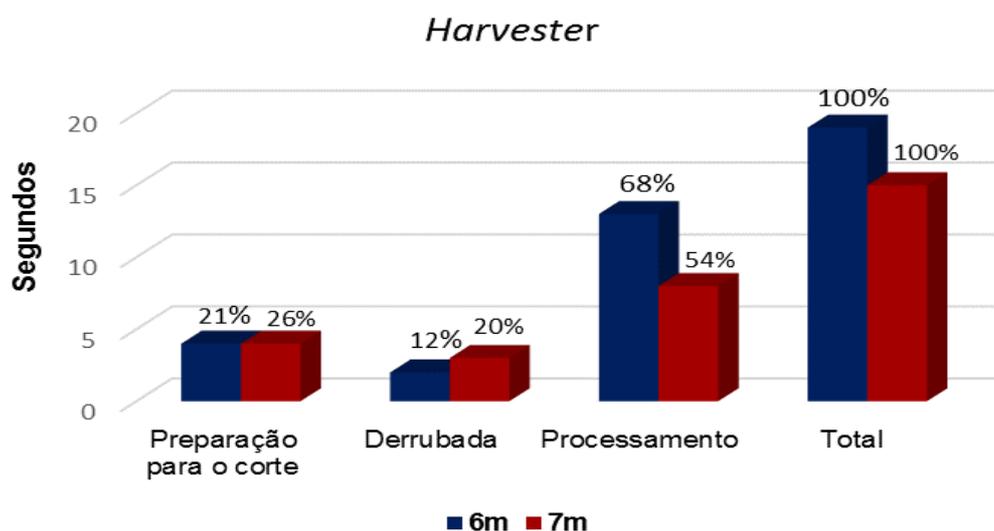
| TT | NF (um) | VT (M ³) | Dur. (he) | VMI (m ³ .arv ⁻¹) | Prod. (m ³ .he ⁻¹) |
|----|------------|----------------------|-----------|--|---|
| 6m | 190.248,82 | 36.735,70 | 0,0054 b | 0,19 | 35,2 |
| 7m | | | 0,0042 a | | 45,2 |

TT= Tratamento; NF= Número de fustes; VT = Volume total com casca; Dur = Duração de um ciclo; VMI= Volume médio individual com casca; Produtividade; há= Hora efetiva. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de *Tukey*, em um nível de 95% de probabilidade.

A produtividade da máquina diferiu entre os comprimentos. Percebe-se que o rendimento em número de árvores processadas aumentou com acréscimo de 1m no comprimento da tora, passando de 6 metros para 7 metros. Explica-se pelo fato de que quando é processado madeira de 7m reduz o número de cortes por árvore. Processo com toras de 6m leva em média 19 segundos para processar uma árvore, e quando o mesmo procedimento é realizado com toras de 7m leva em média 15 segundos para processar uma árvore.

Essa diferença representa 4 segundos no processamento (corte, descascamento e processamento) de cada árvore. Levando em consideração o número de fustes indicado na tabela 8 de 190.248,82, teve uma redução de 231 horas que equivale a 11 dias de trabalho quando comparou o comprimento padrão de 6m e 7m para as toras de eucalipto. Utilizando o comprimento padrão de 6m para o comprimento de toras de eucalipto seria necessário 49 dias para processar o número de fustes citado a cima com tempo do ciclo de 0,0054 horas. Quando levamos em em consideração o comprimento de 7m para o comprimento padrão das toras de eucalipto, levaria em média 38 dias para processar o mesmo número de fuste citado a cima.

FIGURA 8 - Tempos da colheita de árvore de eucalipto pela máquina *Harvester*.



Na Figura 8 evidencia-se a influência do comprimento de toras no tempo gasto no processamento das árvores com toras de 6 e 7 metros. Nota-se nesse gráfico que, quando o comprimento da madeira passa de 6 metros para 7 metros, o tempo gasto com o processamento aumenta cerca de 14%. Nas demais etapas não houve variações significativas.

Como a produtividade está diretamente relacionada com o volume cortado e inversamente proporcional à quantidade de horas trabalhadas, obteve-se que para comprimento de toras de 6 e 7m, as produtividades foram de 35,2m³.h⁻¹ e 45,2m³.h⁻¹. Assim, houve um aumento de 28% na produtividade do *forwarder* quando aumentou-se o comprimento das toras.

4.2.2 Forwarder

TABELA 9 – Produtividade (m³.h⁻¹) do *forwarder* na extração de madeira para toras de 6 e 7 metros de comprimento.

| Volume SC (m ³) | | 32.985,29 | |
|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--|
| Distância média (m) | | 125 | |
| comprimento das toras (m) | Capacidade de carga (m ³) | Nº de viagens.h ⁻¹ | Produtividade (m ³ .h ⁻¹) |
| 6 | 18 | 2,38 | 42,84 |
| 7 | 18 | 4,19 | 75,42 |

Volume SC = Volume Total sem casaca; m = metros.

Analisando os resultados exibidos na Tabela 9, verificou-se que houve diferença significativa na produtividade do *forwarder* considerando uma distância de extração de 125m e toras de 6m e 7m de comprimento. Houve um aumento de 43% na produtividade do *forwarder* quando ocorreu o aumento do comprimento das toras de 6 para 7 m.

Essa diferença no acréscimo de produtividade é resultante do tempo gasto no carregamento e descarregamento. Considerando a distância de extração de 125m e toras de 6 m, o trator autocarregável leva em média 25,2 minutos para completar um ciclo. Quando a distância permanece de 125m porem modificamos o comprimento da tora para 7 metros o *forwarder* gasta em média 14,33 minutos para completar o mesmo ciclo. Por fim, observa-se que essa diferença de 43 % em relação ao carregamento exercido pelo modelo III e IV, justifica-se, porque o modelo III necessita de um deslocamento maior e um número de toras maior para alcançar a capacidade máxima do *forwarder* que é de 18 m³. Machado e Lopes (2000) também encontraram resultados semelhantes, considerando uma distância de 200m de extração e uma capacidade volumétrica do *forwarder* de 15 m³, houve um aumento de 14,6% na produtividade do *forwarder* quando aumentou o comprimento de toras de 5 para 6 metros. Em seu trabalho, para o comprimento de 5m o *forwarder*

apresentou uma produtividade de 22,1 m³.h⁻¹ e para comprimento de 6m ele apresentou uma produtividade de 25,77 m³.h⁻¹.

Santos e Machado (1995) estudando a operação do forwarder, concluíram que o tempo de carregamento foi o elemento que consumiu a maior parte do tempo do ciclo operacional, sendo que a sua produtividade cresceu à medida que o volume por árvore aumentou e a distância de extração diminuiu.

De acordo com resultados apresentados na Tabela 9, considerando a distância de extração de 125 metros e uma capacidade de carga do equipamento de 18 m³ e um volume total sem casca de 32.985,29, a empresa utilizando o comprimento padrão de 7m terá uma redução de 16 dias de operação no baldeio e consequentemente redução no custo operacional.

4.3 Desempenho do transporte florestal

Em relação ao peso de carga, os veículos Tritrem são homologados para trafegarem com peso bruto total de 74 toneladas. Considerando a tara do tritrem 1 = 27,4, tritrem 2 = 23,5 e tritrem 3 = 29,50 toneladas, a carga líquida não deve ultrapassar os valores de 46,6, 50,5 e 44,5 toneladas. Esta questão de peso é controlada e os veículos são carregados até o limite de peso máximo permitido para o modal de transporte utilizado, que é de 74 toneladas de peso bruto total (Tabela 10).

TABELA 10 – Peso Bruto Total – PBT com toras de eucalipto com 6 e 7 metros de comprimento.

| Tratamento | 6m | | | 7m | | |
|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Peso (t) | 58,90 B | 63,52 A | 54,92 D | 60,81 b | 69,17 a | 60,43 b |

t = Tonelada. As médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si no comprimento de 6m e médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si no tratamento de 7m pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

Entre os comprimentos, as operações com cargas utilizando o modelo E apresentou um desempenho de 8,17% maior que o modelo B, os mesmos utilizando o tritrem2, porém variam no comprimento de madeira de 7m para o modelo E e 6m para o modelo B.

A característica responsável pelo melhor desempenho do tritrem 2 foi que, o mesmo apresenta uma largura e altura da caixa de carga superior os demais

modelos. Porém, mesmo apresentando essas características o peso em toneladas da caixa de carga do tritrem 2 é inferior quando comparado com modelo de tritrem 1 e tritrem 3.

Um fator importante, que em qualquer área com um volume com casca total igual a 1.110 t, a empresa utilizando o seu melhor tratamento, que é o modelo de tritrem 2 e com comprimento de toras de 7m, teria uma redução de uma viagem quando comparado com o mesmo tritrem, que é o modelo 2 porém com comprimento de 6m, como demonstrado na Tabela 10. Essa iniciativa permite que os veículos aumentem sua disponibilidade mecânica, já que pode reduzir a manutenção, desgaste de pneus e consumo de combustível, conseqüentemente refletindo no custo da madeira posto – fabrica.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem considerar que o aumento do comprimento das toras de 6 m para 7 m aumenta a produtividade do corte, extração e transporte florestal, aumentando o rendimento do sistema em 26% no corte, 43% no baldeio e 8,9% no transporte.

Para o aumento da produtividade na operação de carregamento e desempenho do transporte florestal tornam-se necessárias melhorias nas operações de baldeio, por meio de melhoria na qualidade do empilhamento das toras na margem da estrada.

Uma indústria poderia economizar em uma área com um volume médio com casca de 36.735,70 em torno de 11 dias/*harvester* com a operação de corte, 16 dias/*forwarder* com operação de extração e 42 viagens com o transporte de madeira se padronizasse o comprimento de madeira das toras de eucalipto para 7 metros e se utilizasse em toda sua frota para transporte o modelo de tritrem 2.

Se o mesmo volume com casca de 36.735,70 m³ fosse processado com comprimento de 6 m, um operador de *harvester* levaria 49 dias, porém esse o comprimento de tora do processamento passasse para 7m ele gastaria 38 dias para processar o mesmo volume. O mesmo ocorre com o *forwarder*, se o volume total sem casca de 32.985,29 m³ fosse baldiado com comprimento de 6m, um *forwarder* levaria 37 dias para realizar a finalização da área. Porém se o comprimento padrão das toras fosse 7m ele levaria 21 dias para baldiar o mesmo volume. Em relação ao transporte florestal, para transportar o volume de 32.985,29 m³ seria necessárias 551 viagens utilizando o tratamento A, 519 viagens utilizando o tratamento B, 601 viagens utilizando o tratamento C, 542 viagens utilizando o tratamento D, 477 viagens utilizando o tratamento E, e 546 viagens utilizando o tratamento F.

A padronização de toras de eucalipto para 7m mostrou nesse trabalho que é eficiente para aumento na produtividade do *harvester*, *forwarder* e desempenho dos veículos de transporte florestal. Mais a altura das árvores é um dos dados mais importantes para a tomada de decisão da padronização do comprimento de toras.

Nesse trabalho, considerando uma altura média de 21,77 m e a padronização de 7m para as toras de eucalipto apresentaram resultados relevantes quando comparados a padronização do comprimento de toras a 6m.

6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. N. de. **O eucalipto**. 2ª ed. rev. e atual. Jundiaí: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 688 p.

ANDRADE, S. da C. **Avaliação técnica, social, econômica e ambiental de dois sistemas de colheita florestal no litoral Norte da Bahia**. Viçosa: UFV, 1998. 125p. il. (Tese M.S.)

BAGGIO, A.J. & STÖHR, G.W.D. Resultados preliminares de um levantamento de sistemas de exploração usados em florestas implantadas de coníferas no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, 2(9):76-96, 1978.

BETIN, V.A.S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. Botucatu, SP: UNESP, 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

BRASIL, **Resolução nº 211, de 13 de Novembro de 2006. Requisitos necessários à circulação de Combinações de Veículos de Carga – CVC**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Pg. 78, abril de 2013. Seção 1.

BURLA, E. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita e processamento de madeira em diferentes condições de declividade e produtividade florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BURLA, E. R. **Mecanização de atividades silviculturais em relevo ondulado**. Belo Oriente: 2001.144p

CANTO, J. L.; **Diagnóstico da colheita e transporte florestal em propriedades rurais fomentadas no estado do Espírito Santo**. 2006. 128 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.

CONAW, P.L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p

ELDRIDGE, K; CROMER, R.N.1987. **“Asaptation and Physiology of Eucalypts in Relation to Genético de Especies Florestales**. Buenos Aires, CIEF, pp.1-15.

EQUIPE TÉCNICA DA DURATEX. **Sistemas de colheita e transporte na Duratex**. In: SIMPÓSIO BRASIELIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 3., 1997, Vitória. Anais... Vitória: UFV/SIF, 1997. P 24-45.

FENNER, P. T. **Métodos de cronometragem e a obtenção de rendimentos para as atividades de colheita de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônomicas, 2002. 14p. (Notas de aula da Disciplina Exploração Florestal).

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2015**. Brasília, 2015. 64 p. Disponível em: < http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2016.

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 25, n. 4, p. 463-470, 2001.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 448p.

LEITE, N. B. **A terceirização no setor florestal - situação atual e perspectiva**. Revista Silvicultura, v.19, n.78, p.36-42, 1999. LEITE, A.M.P.;

LOPES, S.E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 124 f. tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Viçosa.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. **Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p.124-129.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S.; BIRRO, M. H. B. **Elementos básicos do transporte florestal rodoviário**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 167 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: MACHADO, C. C., (Coord.) **Colheita florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. p.169-213.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S. O setor florestal brasileiro. In: MACHADO, C. C. (Ed.) **Colheita florestal**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. p. 15- 42.

MACHADO, C. C. (Ed.) **Colheita florestal**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2014. p. 15- 43.

MACHADO, C.C. **Exploração Florestal**: V parte. Viçosa: UFV, 1985. 15p.

MACHADO, C.C. **Planejamento e controle de custo na exploração florestal**. Viçosa: UFV; Imprensa Universitária, 1994. 138 p.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C (Ed.). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa, MG: UFV, 2008.p.15-42

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

MOREIRA, F. M. T. **Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação**. Viçosa: UFV, 2000. 148p. Dissertação Mestrado

PRYOR, L.D. - **The biology of eucalypts**. London, Edward Arnold, 1976. 82p.

SALMERON, A. Exploração florestal. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL. **Formação, manejo e exploração de florestas com rápido crescimento**. Brasília: 1981. p. 83-123.

SANTOS, S.L.M.; MACHADO, C.C. **Análise técnica econômica do processamento de madeira de eucalipto em áreas planas, utilizando o processador**. Revista Árvore, Viçosa, v.19, n.3, p.346-357, 1995.

SOUZA, A.P.; MACHADO, C.C.; MINETTI, L.J. Colheita e transporte. Revista Renemade

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2007. p.97- 145.

SCHUCHOVSKI, M. S. **Diagnóstico e planejamento do consumo de madeira e da produção em plantações florestais no Estado do Paraná**. Dissertação, Mestrado em Engenharia Florestal, UFPR, 2003. 78 p.

SILVA R. S.; FENNER P. T.; CATANEO A. Desempenho de máquinas florestais de colheita derrubador-processador Slingshot sobre as esteiras. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL**, 6., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFV; SIF, 2003. P. 267-279.

SILVA, W. S. **Estudo de tempos e movimentos das operações de extração e transporte de madeira para uso em serraria e laminação**. Projeto Santa Rita, Centro de Pesquisa Florestal da GETHAL, Itacoatiara-AM, 1997. P. 05.

TANAKA, O. P. Exploração e transporte da cultura do eucalipto. **Informe Agropecuário**, n. 141, p. 24-30, 1986.

VALVERDE, S.R. **Análise técnica e econômica do sistema de colheita de árvores inteiras em povoamentos de eucalipto**. Viçosa: UFV, 1995. 123p. II. (Tese M.S.)

VELLOSO, F.A.M., LOPES, E.T., ROLDI, L.M. "Tritrem" – Alternativa para o transporte de madeira. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL**, 3., 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: UFV/SIF, 1997. p.157-175.