

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUSTAVO PEREIRA CASTRO

AVALIAÇÃO TÉCNICA E PRODUTIVA DO *FELLER* DIRECIONAL
COM GUINCHO DE TRACÇÃO AUXILIAR EM ÁREAS INCLINADAS

CURITIBA

2019

GUSTAVO PEREIRA CASTRO

AVALIAÇÃO TÉCNICA E PRODUTIVA DO *FELLER* DIRECIONAL
COM GUINCHO DE TRAÇÃO AUXILIAR EM ÁREAS INCLINADAS

Trabalho de Conclusão do Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em MBA em Gestão Florestal, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista.

Orientador Prof. Dr. Renato Cesar
Gonçalves Robert

CURITIBA

2019

RESUMO

Este trabalho apresenta uma das principais soluções utilizadas para corte e extração de madeira em áreas com até 45° de declividade. O conjunto é composto por um *Feller* Direcional de esteiras, sustentado por meio de um cabo de aço a uma escavadeira hidráulica. Os dados foram obtidos por meio de estudos de tempos e movimentos com o objetivo de mensurar a produtividade em três diferentes situações operacionais, bem como os principais fatores de restrição à operação. Após a coleta de dados conclui-se que o equipamento é tecnicamente capaz de operar, com segurança, em declividades de até 45°, desde que atenda as considerações apresentadas. O fator que mais restringe a operação é a capacidade de sustentação do solo, juntamente com a declividade. Já em números, a produtividade efetiva média para as atividades de corte e extração foi a favor da declividade, para uma distância máxima de extração de 40m foi de 59,7 árvores por hora. Ao aplicar a eficiência operacional que foi de 69%, a produção é de 41,3 árvores por hora colhidas e disponibilizadas na beira da estrada.

Palavras-chave: Colheita florestal. *Feller* direcional. Máquina florestal. Colheita de madeira. Tigercat.

ABSTRACT

This work presents one of the main solutions currently adopted for cutting and extraction in areas with up to 45° slope. The set consists of a Track Feller Directional, attached with Auxiliary Traction Winch to a hydraulic excavator. The data were obtained through time studies with the goal of measuring productivity in two different operational conditions, as well as the main factors of restriction and attention to this operation. After data collection, it is concluded that the equipment is technically capable of safely operating in slopes of up to 45°, provided that it meets the considerations presented. The factor that most restricts the operation is the soil holding capacity, along with slope. In terms of numbers, the average effective productivity for cutting and extraction activities was in favor of slope, for a maximum extraction distance of 40m it was 59.7 trees per hour. When applying operational efficiency that was 69%, the production is 41.3 trees per hour harvested and made available at the roadside.

Keywords: *Timber Harvesting. Directional Felling. Forestry Machine. Extreme logging. Tigercat.*

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| FIGURA 1: CRESCIMENTO GLOBAL DAS ÁREAS FLORESTAIS. | 15 |
| FIGURA 2: REPRESENTAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO DO <i>CUT-TO-LENGTH</i> | 17 |
| FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO DO <i>CUT-TO-LENGTH</i> COM <i>FELLER BUNCHER</i> | 17 |
| FIGURA 4: REPRESENTAÇÃO DA PLANIFICAÇÃO DO <i>FULL-TREE</i> | 18 |
| FIGURA 5: FATORES DE INFLUÊNCIA NA OPERAÇÃO DE COLHEITA DE MADEIRA. | 20 |
| FIGURA 6: DECLIVIDADES MÁXIMAS ALCANÇADAS POR TIPO DE EQUIPAMENTO. | 21 |
| FIGURA 7: MODELOS DE GUINCHO DE TRAÇÃO AUTOPROPELIDOS. | 26 |
| FIGURA 8: MODELOS DE GUINCHO DE TRAÇÃO EM ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS. | 27 |
| FIGURA 9: GUINCHO DE TRAÇÃO EM TRATOR DE ESTEIRAS. | 28 |
| FIGURA 10: MODELOS DE <i>HARVESTER</i> DE RODAS COM CABO DE TRAÇÃO AUXILIAR. | 29 |
| FIGURA 11: CORRENTES DE TRAÇÃO PARA MÁQUINAS DE PNEUS. | 29 |
| FIGURA 12: <i>HARVESTER</i> DE ESTEIRAS INDEPENDENTES. | 30 |
| FIGURA 13: <i>HARVESTER</i> HIGHLANDER. | 31 |
| FIGURA 14: <i>FELLER BUNCHER</i> DE ESTEIRAS COM SISTEMA DE NIVELAMENTO. | 32 |
| FIGURA 15: <i>FELLER DIRECIONAL</i> DE ESTEIRAS COM SISTEMA DE NIVELAMENTO. | 32 |
| FIGURA 16: DETALHE DA ANCORAGEM DO CLIMBMAX EM UM TOCO. | 33 |
| FIGURA 17: DETALHE DO GUINCHO DO <i>FELLER DIRECIONAL</i> DE ESTEIRAS CLIMBMAX. | 33 |
| FIGURA 18: <i>FELLER DIRECIONAL</i> CLIMBMAX NAS ATIVIDADES DE CORTE (ESQUERDA) E EXTRAÇÃO (ESQUERDA). | 34 |
| FIGURA 19: <i>FORWARDER</i> DE PNEUS, COM CABO DE TRAÇÃO AUXILIAR. | 35 |
| FIGURA 20: <i>CLAMBUNK</i> COM PINÇA E GARRA PARA FORMAÇÃO DE CARGA. | 36 |
| FIGURA 21: <i>CLAMBUNK</i> COM PINÇA E <i>FELLER DIRECIONAL</i> PARA CORTE E FORMAÇÃO DE CARGA. | 37 |
| FIGURA 22: <i>SHOVEL LOGGER</i> DURANTE OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO. | 38 |
| FIGURA 23: <i>SKIDDER</i> 6X6 OPERANDO EM ÁREAS DE DECLIVIDADE COM CABO DE TRAÇÃO AUXILIAR. | 39 |
| FIGURA 24: <i>SKIDDER</i> 4X4 COM GRUA. | 40 |
| FIGURA 25: EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM HELICÓPTERO. | 41 |
| FIGURA 26: MODELOS DE CABOS AÉREOS EM CAMINHÕES. | 42 |
| FIGURA 27: MODELOS DE CABOS AÉREOS ESCAVADEIRA HIDRÁULICA – <i>YODER</i> | 43 |
| FIGURA 28: <i>PULLY</i> EM OPERAÇÃO. | 43 |
| FIGURA 29: EXTRAÇÃO DE MADEIRA COM GUINCHO INSTALADO EM TRATOR AGRÍCOLA. | 44 |
| FIGURA 30: <i>FELLER DIRECIONAL</i> TIGERCAT LS855E. | 47 |
| FIGURA 31: ESCAVADEIRA ANCORA DOOSAN DX300 COM GUINCHO. | 48 |
| FIGURA 32: DESENHO ESQUEMÁTICO DE PERFIL REPRESENTADO A OPERAÇÃO. | 49 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 33: PLANIFICAÇÃO DA OPERAÇÃO DE CORTE E EXTRAÇÃO MORRO ABAIXO. | 49 |
| FIGURA 34: “DEGRAUS” ENCONTRADOS NO TERRENO QUE PODEM CAUSAR PICOS DE TENSÃO NO CABO. | 55 |
| FIGURA 35: CRITICIDADE DO ÂNGULO DO CABO FORMADO ENTRE ANCORA E O <i>FELLER</i> | 55 |
| FIGURA 36: ÂNGULO DO CABO FORMADO DEVIDO A UM TOCO, ENTRE A ANCORA E O <i>FELLER</i> | 56 |
| FIGURA 37: USO DE CORRENTES NOS PRIMEIROS METROS DO <i>FELLER</i> | 57 |
| FIGURA 38: <i>FELLER</i> EXECUTANDO ATIVIDADE DE ORGANIZAÇÃO E FORMAÇÃO DOS FEIXES. | 59 |
| FIGURA 39: <i>FELLER</i> DURANTE DESLOCAMENTO CONTRA A DECLIVIDADE (MORRO ACIMA). | 60 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| GRÁFICO1: DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES..... | 58 |
| GRÁFICO2: DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES EFETIVAS..... | 59 |
| GRÁFICO3: DESEMPENHO POR CONFIGURAÇÃO OPERACIONAL..... | 60 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.2 OBJETIVOS | 11 |
| 1.2.1 Objetivo Geral | 11 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 12 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1 A COLHEITA DE MADEIRA | 12 |
| 2.2 SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA | 14 |
| 2.2.1 Sistema Cut-to-Length | 16 |
| 2.2.2 Sistema Full-Tree | 18 |
| 2.3 FATORES DE INFLUÊNCIA NA OPERAÇÃO | 19 |
| 2.4 PLANEJAMENTO OPERACIONAL DA COLHEITA DE MADEIRA | 24 |
| 2.5 MÉTODOS PARA COLHEITA EM ÁREA INCLINADA | 25 |
| 2.5.1. Guincho Autopropelido | 25 |
| 2.5.2. Guincho em Escavadeiras Hidráulicas | 26 |
| 2.5.3. Guincho em Trator de Esteiras | 28 |
| 2.5.4. Harvesters de Rodas com Cabo de Tração | 28 |
| 2.5.5. Harvester Articulado de Esteiras | 30 |
| 2.5.6. Harvester Highlander | 31 |
| 2.5.7. Feller Buncher e Feller Direcional com Cabo | 31 |
| 2.5.8. ClimbMAX | 33 |
| 2.5.9. Forwarders com Cabo de Tração | 34 |
| 2.5.10. Clambunks | 36 |
| 2.5.11. Shovel Loggers - Logging | 37 |
| 2.5.12. Skidder de Pneus com Cabo de Tração | 39 |
| 2.5.14. Cabos Aéreos | 42 |
| 2.5.15. Extração com Pully | 43 |
| 2.5.16. Extração com Guincho em Trator Agrícola | 44 |
| 3. MATERIAL E MÉTODO | 45 |
| 3.1 LOCAL DO ESTUDO | 46 |
| 3.2 OS EQUIPAMENTOS | 46 |
| 3.2.1. Feller Direcional Tigercat LS855E | 46 |
| 3.2.2. Escavadeira Hidráulica Doosan DX300 | 47 |
| 3.3 DESCRIÇÃO OPERACIONAL | 48 |
| 3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 52 |
| 3.4.1. Intensidade Amostral | 52 |
| 3.4.2. Média Aritmética Simples | 52 |
| 3.4.3. Média Aritmética Ponderada | 52 |
| 3.4.4. Variância | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4.5. Desvio Padrão..... | 53 |
| 3.4.6. Produtividade Efetiva do Feller Direcional | 53 |
| 3.4.7. Eficiência Operacional..... | 53 |
| 3.4.8. Produção..... | 54 |
| 4. RESULTADO E DISCUSSÃO | 54 |
| 4.1 SEGURANÇA | 54 |
| 4.2 OPERACIONAL | 57 |
| 4.3 PRODUTIVIDADES | 58 |
| 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 62 |
| 6. REFERÊNCIAS | 64 |

1. INTRODUÇÃO

Grande parte do planeta Terra é coberta por florestas. Elas estão presentes em todos os continentes com variadas tipologias, características e particularidades. Sejam elas, nativas ou plantadas, todas têm sua importância econômica, ambiental e social. Nas últimas décadas, a área coberta por florestas plantadas ao redor do mundo tem crescido significativamente, principalmente no hemisfério sul onde as condições climáticas favorecem o desenvolvimento de algumas espécies, entre elas o gênero *Eucalyptus*. Mas ainda assim, a maior área de florestas está presente no hemisfério norte. O setor florestal mundial, com a crescente demanda das populações por produtos madeireiros ou produtos que tem como matéria prima, a madeira, tem crescido e se desenvolvido muito nos últimos anos, principalmente quando se fala em áreas ocupadas por florestas plantadas. Assim como o crescimento populacional exige mais madeira, existe também uma demanda por alimentos e conseqüentemente por áreas agricultáveis que, comumente são áreas mais férteis e planas, restando áreas de relevo ondulado ou montanhosas para ocupação de florestas, levando o setor a um novo desafio.

Para que a madeira proveniente de todas essas áreas ocupadas por florestas chegue até a unidade industrial, algumas atividades são requisitadas, entre elas está a colheita de madeira. Para muitos especialistas, esta é a parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico. Devido sua enorme importância, muito se tem investido nesta operação e a mecanização foi e tem sido um grande avanço na busca por segurança operacional, melhores condições ergonômicas aos operadores, melhor qualidade do produto, diminuição dos custos operacionais e maior capacidade produtiva. Atividades de colheita em áreas inclinadas eram e dependendo das condições, ainda são realizadas com ferramentas manuais com a motosserra. Tal operação nesta condição exige extrema cautela, segurança e treinamento de capacitação por parte do operador de motosserra que deve garantir que a árvore seja derrubada de forma segura sem que sua segurança seja comprometida. Além deste aspecto a derrubada com motosserra em terrenos inclinados exige também, elevado preparo físico e impõe condições de trabalho extremas.

Com os desafios de colher madeira em áreas de forte relevo, fabricantes de máquinas e especialistas estão trabalhando no desenvolvimento de técnicas e equipamentos para tornar a colheita de florestas nestas condições, segura, economicamente viável e elevando os níveis de produção e de forma totalmente mecanizada.

Uma das principais linhas de desenvolvimentos e estudos é a utilização de guinchos e cabos de tração auxiliar sustentando máquinas ao operar em declividades inimagináveis até então. Este conceito baseia-se praticamente numa máquina que se desloca pela floresta morro abaixo, sendo sustentada por correntes e cabos de aço presos a uma outra máquina ou em árvores e tocos.

Em países da América do Norte e Oceania trabalhos e estudos estão sendo desenvolvidos e o Brasil com sua base florestal busca também desenvolver e estudar estes métodos como alternativa para a colheita em áreas inclinadas. Desta forma, estudos sobre as variáveis de influência na produtividade da colheita nestas condições, em terrenos declivosos são imprescindíveis para maior segurança operacional, redução de custos e melhor aproveitamento do sistema.

1.1 JUSTIFICATIVA

A colheita em áreas inclinadas no mundo já é difundida em muitos países como Canadá, Estados Unidos, Nova Zelândia, Alemanha, Áustria e Suécia. No Brasil, algumas empresas do estado de Minas Gerais, São Paulo e Paraná já operam de forma mecanizada em áreas inclinadas no sistema de colheita *Cut-to-length*. Porém, a partir de janeiro de 2019, o Brasil entra para a lista de países com operação em áreas inclinadas com cabo de tração auxiliar no sistema *Full-tree*. Por se tratar de uma operação pioneira, surge a necessidade de estudos que mostrem o comportamento da operação nas condições brasileiras e que este estudo seja referência para projetos e disseminação deste sistema de colheita.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho teve como objetivo geral realizar um estudo de tempos e movimentos para mensurar a produtividade do *Tigercat* LS855E com o implemento *Feller* Direcional *Tigercat* 5195 ancorado pelo guincho de tração auxiliar da *Summit Attachments*, no corte e extração de madeira em áreas de 40 a 45° de declividade.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar os principais pontos operacionais, de segurança, e de restrição na operação do equipamento.
- Analisar as principais influências na produtividade do equipamento;
- Determinar a produtividade efetiva, em árvores por hora apenas na atividade de derrubada a favor da declividade, para uma distância máxima de extração de 40m;
- Determinar a produtividade efetiva, em árvores por hora apenas na atividade de extração a favor da declividade, para uma distância máxima de extração de 40m;
- Determinar a produtividade efetiva, em árvores por hora na atividade de derrubada e extração a favor da declividade, para uma distância máxima de extração de 40m;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A COLHEITA DE MADEIRA

Para que a madeira proveniente de todas essas áreas ocupadas por florestas chegue até as unidades industriais, algumas etapas são requisitadas, e algumas são muito importantes para que ela chegue com qualidade, segurança e custo baixo e, entre elas está a colheita de madeira. Para muitos especialistas, entre eles, Machado (2008) é a parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico. Valença et al. (2000) afirmam que a colheita florestal pode representar mais de 50% dos custos com a madeira posta nas indústrias, dependendo do seguimento de atuação da mesma. Souza (2001) afirma que pode representar aproximadamente 70% dos custos da madeira colocada no pátio das empresas. Castro (2011) afirma que este percentual tem variações de acordo com o sistema de colheita de madeira adotado, distância de transporte e malha viária (considerando o percentual de madeira disponível no cascalho).

A mecanização da colheita de madeira, embora não seja considerada a única forma de controle da evolução dos custos, proporciona reduções drásticas em prazos relativamente curtos e alcança um lugar de elevada importância nos esforços para aumentar a produtividade e proporcionar melhores condições ao trabalho florestal (WADOUSKI, 1997).

Devido a toda essa representatividade nos custos, o planejamento da colheita florestal é um item de extrema importância, pois por meio dele pode-se colocar todos os sistemas e métodos possíveis juntos, identificando e resolvendo seus conflitos, ordenando os recursos e conhecendo as restrições de forma planejada e antecipada, Machado (1994, apud MACHADO, 2008).

Do ponto de vista operacional, Machado (2008) também cita que a colheita florestal pode ser realizada de três formas: manual, semimecanizada ou totalmente mecanizada. Isso varia de acordo com o grau de tecnologia empregado, mão-de-obra, uso e tipos de equipamentos aplicados na colheita. Devido sua enorme importância, muito se tem investido nesta operação e a mecanização foi e tem sido um grande avanço na busca por segurança operacional, melhores condições ergonômicas aos operadores, melhor qualidade do produto, diminuição dos custos operacionais e maior capacidade produtiva.

“A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e levar a madeira até o local de transporte, fazendo-se o uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. A colheita, parte mais importante do ponto de vista técnico-econômico, é composta pelas etapas corte (derrubada, desganhamento e processamento ou traçamento); descascamento, quando executado no campo; extração e carregamento (MACHADO et al., 2008, p. 23).”

A história mostra que no Brasil, na década de 70, somente se falava de “Exploração Florestal”, como termo proveniente da utilização de florestas nativas, principalmente, do Sul e do Sudeste. Mas, com a maturação das florestas plantadas, foi necessária a adaptação para esta nova realidade. Então em meados de 1992 o termo “Colheita Florestal” começou a ser difundido (MALINOVSKI, 2008).

No Brasil, até a década de 40, praticamente não havia o emprego de máquinas e equipamentos na colheita florestal. Durante muitos anos a colheita foi realizada amplamente de forma manual ou semimecanizada. Na década de 70, a indústria nacional iniciou a produção de máquinas e equipamentos de porte leve e médio. Na década de 80 chegaram os primeiros *Feller Bunchers* com sistema de corte realizado

por tesoura ou sabre, e ainda as grades desganhadoras. Com a abertura do mercado nacional à importação de máquinas em 1994, empresas buscaram no exterior outras opções, assim a mecanização florestal sofreu um forte impulso e assim tornou-se irreversível o processo de mecanização (MALINOVSKI e MALINOVSKI, 1998).

Castro (2015) comenta que o grau de mecanização da colheita de madeira só não é ainda maior devido à limitação imposta pelas condições topográficas, pois muitas empresas têm dificuldades de mecanizar suas operações em locais com mais de 27° de declividade. Em algumas situações, os custos operacionais em áreas inclinadas são, quando comparados com o custo de operações em locais planos, entre 2 a 2,5 vezes maior, pois os rendimentos das operações caem com o aumento da declividade, ainda mais se o equipamento não for apropriado.

Mas o grau de mecanização em áreas inclinadas está mudando. Hoje diversas empresas entendem a necessidade de desenvolver máquinas e equipamentos para operar nestas condições. Com isso mais oportunidades para solucionar este desafio estão surgindo. Para muitos, a principal dificuldade não está em realizar o corte, e sim a remoção da madeira nestas áreas. Por isso, esforços então sendo feitos para aperfeiçoar técnicas operacionais e o já avançado nível tecnológico alcançado pela mecanização. Grandes empresas de papel e celulose possuem uma parte de suas florestas situadas em áreas inclinadas e regiões montanhosas do estado de Minas Gerais, São Paulo e Paraná e Santa Catarina.

A evolução da mecanização da colheita de madeira trouxe e traz até os dias de hoje diversos progressos e aspectos positivos como: máquinas com design que proporcionam melhores condições ergonômicas aos operadores, máquinas produtivas, menos poluentes, diminuição dos custos operacionais, possibilidade de realizar as operações durante 24 horas, mais qualidade no produto (madeira), redução de acidentes, qualificação da mão de obra empregada, motosserras mais leves, com menos vibração e ruído, e outros diversos benefícios.

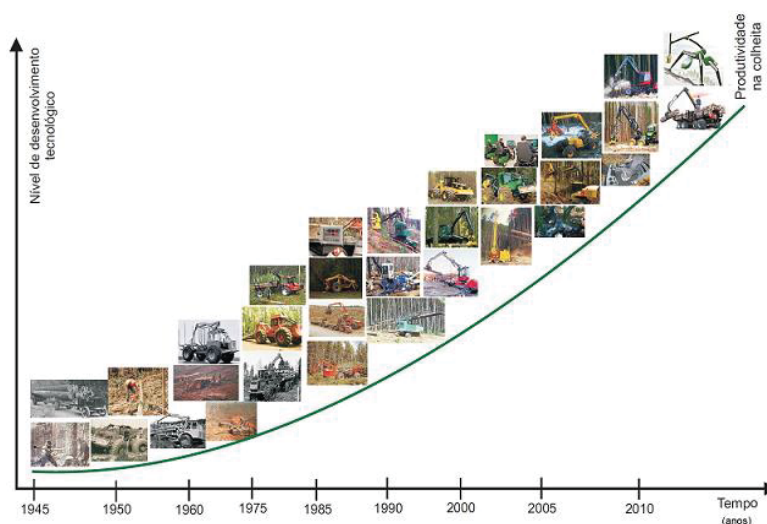
2.2 SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA

Durante muitos anos a colheita foi realizada amplamente de forma manual ou semimecanizada por falta de alternativas disponíveis. Por meio de equipamentos agrícolas que foram sofrendo adaptações para operar no setor florestal era possível realizar a colheita. Porém quando o processo de mecanização da colheita de madeira se iniciou na década de 50, ele passou a ser intenso ao longo do tempo e tem sofrido

inúmeras modificações e aprimoramentos de forma a abranger diversas variações que surgiram e vão surgir ao longo dos anos.

Fatores de influência como: oferta de mão de obra, mercado do produto final, taxas, custos operacionais, tecnologias disponíveis, qualidade entre outros ajudam a impulsionar as constantes evoluções conforme ilustra a Figura 1, a seguir:

Figura 1: Crescimento global das áreas florestais.



Fonte: o autor (2011).

A colheita mecanizada, além de racionalizar a evolução dos custos, tem proporcionado consideráveis reduções de mão de obra à curto prazo, aumento da produtividade, melhorando condições do trabalho florestal, saúde, segurança, maior qualidade no produto final, gestão integrada das operações e ainda reduzindo consideravelmente os impactos ambientais gerados pela operação de colheita.

Um sistema de colheita de madeira compreende de um conjunto de elementos e atividades que envolvem a cadeia de produção e todas as demais atividades parciais desenvolvidas que vão desde o corte e derrubada da árvore até sua disposição final da estrada, pronta para ser carregada e transportada para o pátio da indústria transformadora. Assim, para que um sistema obtenha sucesso é necessário que todos os elementos que o compõe atinjam o mesmo objetivo e obedecendo a hierarquia e o input. Portanto pode-se definir sistema como: a planificação, método e ordenamento das atividades a serem realizadas dentro de um povoamento florestal.

Machado (2014) define sistemas de colheita florestal como um conjunto de atividades integradas entre si que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-se os pontos de estrangulamento, levando os equipamentos a sua máxima utilização. Atualmente a forma de classificar um sistema de colheita de madeira, inclusive a forma

utilizada internacionalmente, baseia-se no comprimento da madeira na sua fase de extração, como pode ser observado na foto a esquerda, tem-se madeiras com 7,5 metros de comprimento e a direita, a árvore toda é levada até a estrada. De acordo com Malinovski e Malinovski (1998) e FAO (1974, apud MACHADO, 2008) os sistemas de colheita podem ser classificados quanto à forma da madeira e quanto ao comprimento das toras na fase de extração até o local onde é realizado o processamento final da madeira e também quanto ao grau de mecanização das atividades.

Atualmente cinco sistemas de colheita de madeira são amplamente utilizados devido os equipamentos disponibilizados pelos fabricantes de máquinas, tecnologia, premissas adotadas pelas empresas, custos e finalidade da madeira. São eles:

- Sistema de toras curtas (*Cut-to-length*);
- Sistema de fustes (*Tree-length*);
- Sistema de árvores inteiras (*Full-tree*);
- Sistemas de árvores completas (*Whole-tree*);
- Sistema de cavaco (*Chipping*).

2.2.1 Sistema *Cut-to-Length*

Machado (2008) comenta que sistema é caracterizado pelo processamento da árvore no próprio local de corte e derrubada, sendo no mesmo local realizada a operação de processamento que é composta pelo desgalhamento e descascamento (quando houver a necessidade) e ainda o corte das árvores em toras com base em medidas previamente determinadas. Todas estas atividades descritas são realizadas no interior do talhão (Figura 2). De acordo com Castro 2011, as toras apresentam comprimento que pode variar de 1,0 metro a 7,3 metros. O comprimento em que a madeira é cortada depende de sua finalidade na indústria, da capacidade e dimensão das máquinas de baldeio e ainda dos veículos (caminhões) de transporte. Após estas atividades a madeira é transportada para a margem da estrada ou pátio temporário por outra máquina.

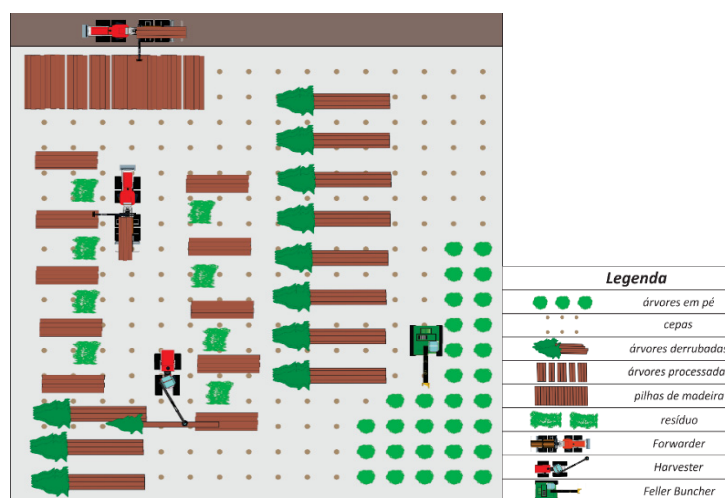
Figura 2: Representação da planificação do *Cut-to-length*.



Fonte: o autor.

Castro (2016) comenta a existência de uma variação do sistema *Cut-to-length* quando um *Feller Buncher* é empregado na atividade de corte. Assim o sistema é composto por três máquinas, conforme ilustra a Figura 3, a seguir:

Figura 3: Representação da planificação do *Cut-to-length* com *Feller Buncher*.



Fonte: o autor.

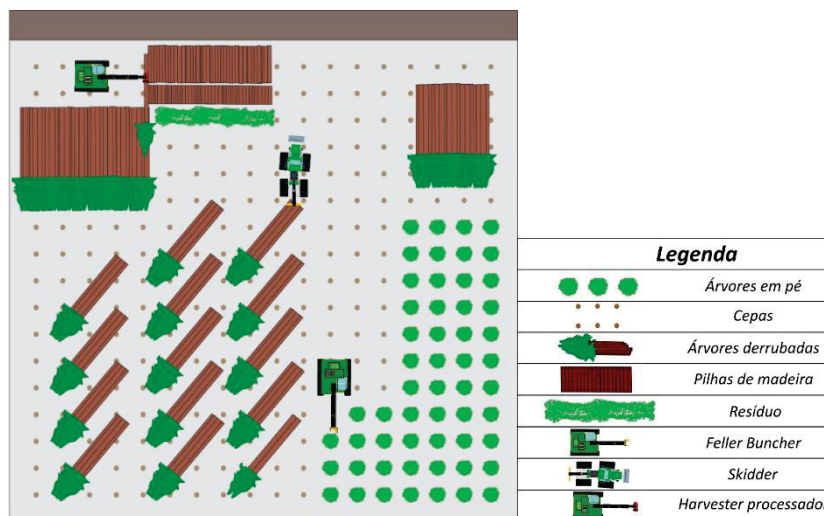
Nesta configuração o *Feller Buncher* tem como objetivo derrubar as árvores e concentrar o máximo possível de árvores em feixes. A vantagem do uso do *Feller Buncher* é observada, principalmente em povoamentos de rebrota, pois assim, dispensa eventualmente atividades subsequentes como rebaixamento de tocos. Outra vantagem é quando a floresta é de regeneração (brotação), onde se observa dificuldades no corte com *Harvesters*, devido a forma da base da árvore ser composta por cepa do ciclo anterior. Na sequência o *Harvester* realiza o processamento dos feixes de árvores. Pelo fato das árvores estarem concentradas há um aumento de

performance e eventuais ganhos de manutenção com o cabeçote pois ele sempre opera na horizontal e não recebe impactos da derrubada. Por último, o *Forwarder* entra no talhão e realiza o baldeio da madeira até a lateral da estrada. Há eventuais ganhos devido ao maior volume de madeira concentrada o que diminui o ciclo operacional da máquina.

2.2.2 Sistema *Full-Tree*

A utilização desse sistema de colheita de madeira implica na remoção da árvore de uma forma inteira, exceto as raízes, como operação posterior ao corte e derrubada da árvore. As atividades seguintes como o processamento são realizadas nas laterais do talhão (Figura 4). De acordo com Machado (2008), neste sistema a árvore é cortada, derrubada e levada até as laterais das estradas onde será processada.

Figura 4: Representação da planificação do *Full-tree*.



Fonte: o autor.

Este sistema requer elevado índice de mecanização e um maior número de máquinas se comparado aos demais sistemas de colheita, como por exemplo o *Cut-to-length*. Geralmente o *Full-tree* é aplicado para a colheita de árvores de grande porte, por isso necessita de máquinas equipamentos especialmente dimensionados para esse tipo de trabalho (SALMERON, 1980). De acordo com Castro (2011). Este sistema pode ser utilizado tanto em terrenos inclinados quanto em terrenos planos. Segundo

Lira Filho (1993, apud PENNA, 2009) esse sistema de colheita vem sendo muito empregado com sucesso na colheita de florestas plantadas de coníferas.

Castro (2011) ainda comenta que, se houver o interesse do uso de biomassa produzida pelas árvores para geração de energia, este sistema é altamente indicado uma vez que todo resíduo (folhas, galhos cascas e ponteiros) ficará disposto na lateral da estrada, facilitando assim o processo de coleta da biomassa ou ainda quando há necessidade de classificação das toras processadas (sortimentos). O aspecto negativo refere-se ao transporte de nutrientes que é feito através da biomassa na maior parte das vezes utilizada como fonte de energia, exigindo-se acompanhamento das propriedades do solo e em algumas situações, a recomposição dessa perda por meio de adubação e reposição de nutrientes.

2.3 FATORES DE INFLUÊNCIA NA OPERAÇÃO

O sucesso de uma operação de colheita de madeira passa pelo planejamento de como as atividades de corte, extração e processamento da madeira ocorrerão. Para isto, fatores de influência desta atividade devem ser criteriosamente conhecidos e avaliados, para que a operação tenha sua máxima eficiência. Alguns fatores têm impacto em todas as atividades, já outros afetam apenas o desempenho e forma com que a operação deve ocorrer numa única fase, como por exemplo a extração.

Para Seixas, Malinovski e Machado (2008), a extração de madeira é considerada um ponto crítico na colheita. Por isso essa atividade exige planejamento detalhado. Principalmente quando a extração é realizada em áreas inclinadas, onde a alocação das estradas é determinante para o planejamento da mesma. Malinovski et. al. 2006 comentem que 37 variáveis podem impactar diretamente do desempenho operacional das máquinas florestais, conforme mostra a Figura 5:

Figura 5: Fatores de influência na operação de colheita de madeira.

| Relação das principais variáveis de influência na produtividade nas classes de máquinas-base | Classes das máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|----------------|----------|-----------|----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------|
| | | Harvester p/corte | Trator de esteiras p/corte | Motosserra p/corte | Feller de pneu | Triciclo | Forwarder | Trator agrícola p/extração | Skidder | Harvester p/desgalhamento | Trator de esteiras p/desgalh. | Motosserra p/desgalhamento | Carrregadores p/desgalhamento | Harvester p/sortimento | Trator de esteiras p/sortimento | Motosserra p/sortimento | Carrregadores p/sortimento | Cavaqueador |
| Variáveis | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Espaçamento na linha | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espaçamento na entrelinha | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Declividade | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de solo | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidade de sustentação | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alinhamento X Inclinação | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura dos tocos | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pedregosidade | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leiras | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sub-bosque | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Performance do operador | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Turno | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de intervenção | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qualidade da mad. do corte | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qualidade da mad. extração | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DME | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo do estaleiro | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura do estaleiro | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Largura do estaleiro | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento do estaleiro | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sortimento | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento da tora | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descascamento | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro da base | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volume individual | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso da árvore | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento da copa | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura total | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro da ponta fina | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura comercial | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro galhos bordadura | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro galhos interior | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortuosidade | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volume / ha | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Árvores bifurcadas | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fustes bifurcados | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de casca | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Malinovski (2006).

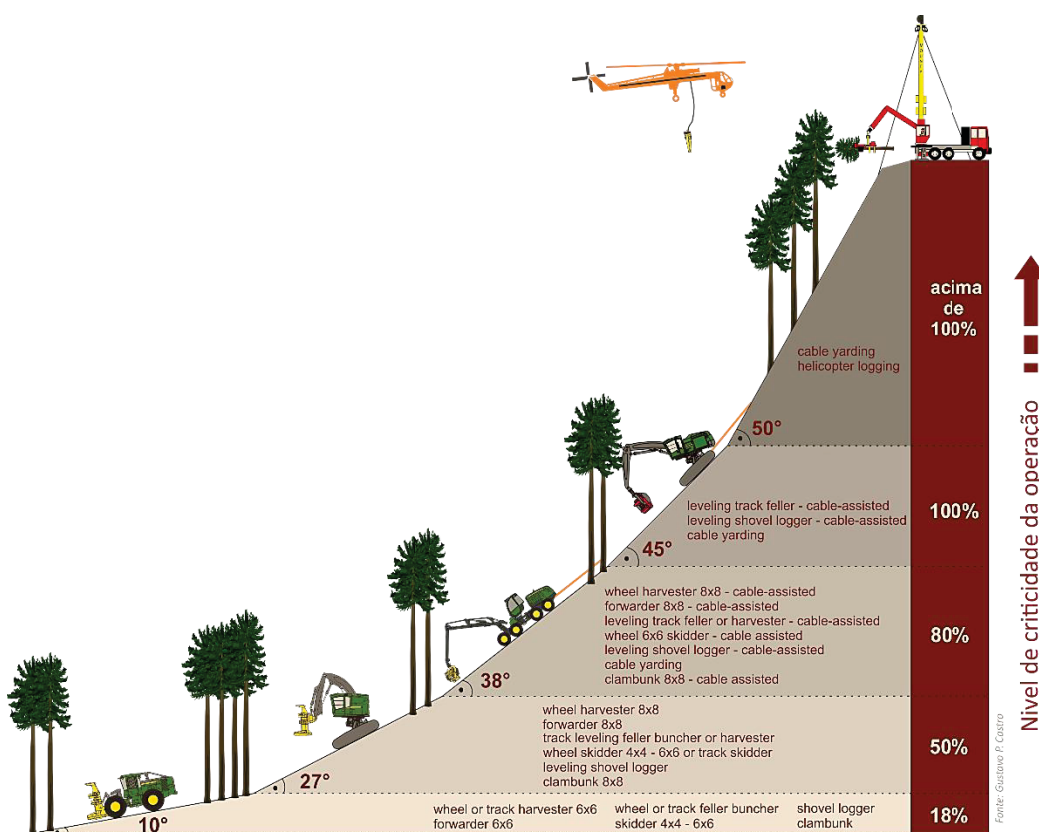
Mas algumas são consideradas, por muitos especialistas, como as mais impactantes, e entre elas estão: topografia, tipo de solo, distância e sentido de extração e características da floresta.

De acordo com Seixas (2008) a topografia define o equipamento que será utilizado, causando impacto direto no rendimento da máquina. Deve ser respeitada para cada equipamento a sua capacidade máxima de trabalho, de acordo com a declividade e as imperfeições do terreno. O mesmo ainda comenta que em alguns terrenos, os danos provenientes de processos erosivos e as dificuldades de

regeneração impedem muitas vezes a utilização de determinados equipamentos que poderiam trabalhar naquela situação.

No passado, com as tecnologias disponíveis os limites máximos aceitáveis para operação de determinados tipos de equipamentos eram diferentes da realidade que vivemos hoje. Com as novas opções de máquinas e implementos, sabe-se com base em relatos de operações florestais ao redor do mundo que as máquinas estão atingindo declividade até então inalcançáveis. A Figura 6, representa, em escala de angulação, o grau de declividade que os principais equipamentos operam com segurança. Pode haver divergência no alcance quanto a declividade técnica do equipamento e declividade operacional.

Figura 6: Declividades máximas alcançadas por tipo de equipamento



O tipo de solo está relacionado com a capacidade de sustentação do equipamento e a sua capacidade de tração. Essa característica está relacionada diretamente com a presença de água, ou teor de umidade do solo. Em um solo com baixa capacidade de sustentação do equipamento, durante a atividade de extração deve ser estabelecida uma rota para cada ciclo da máquina, sendo muito importante a correta escolha do equipamento e o tipo de rodado. Em muitos casos o tipo de solo

define se a madeira será arrastada, por um *Skidder* como exemplo, ou será baldeada, no caso de uso de um *Forwarder*. Além da sustentação existe também o problema da compactação do solo. McNABB e FROEHLICH(1983) afirmam que a maior parte da compactação total em uma trilha de arraste já ocorria nas primeiras passadas de uma máquina.

O planejamento inicial feito na floresta, em termos da dimensão dos talhões e densidade e qualidade da rede viária, já determina a distância de extração e desta forma condiciona a seleção dos equipamentos mais apropriados para cada situação. Contudo, o inverso também deve ser considerado, ou seja, a escolha do método de extração mais adequado a uma empresa pode vir a condicionar a rede viária necessária (SEIXAS, 2008). O custo da rede viária decresce com o aumento da distância de extração, já que cada quilômetro de estrada irá acessar uma área maior de floresta e, conseqüentemente, um maior volume de madeira. Por sua vez, o custo de extração cresce com o aumento da distância a ser percorrida. Deve ser determinado um ponto de equilíbrio que considere o custo total mínimo resultante da combinação dos custos de extração e construção de estradas por metro cúbico de madeira (SEIXAS, 2008).

O sentido de extração da madeira praticamente não tem influência numa operação em áreas planas. Porém em áreas de declividade, o sentido tem grande impacto. Quando a madeira é levada para cima, a produtividade dos equipamentos tem significativa redução, pois além de ter o peso da carga a máquina ainda precisa ter força suficiente para superar os desafios da declividade e muitas vezes essa dificuldade é potencializada com tocos altos, resíduos, pedras ou degraus (mudança brusca de declividade). Já quando existe possibilidade de mover a madeira a favor do declive, os equipamentos possuem produtividade maior pelo simples fato da declividade tornar mais fácil o deslocamento da máquina e da própria madeira, que em alguns casos pode descer deslizando. Porém há necessidade de atenção com relação à segurança nesse tipo de extração.

Para Seixas (2008) as características da floresta como o volume médio individual (VMI) tem significativo impacto. Quanto menor a árvore, maior o custo operacional por unidade de produção. Peças maiores significam a necessidade de um menor número para se completar uma carga, o que diminui os custos operacionais variáveis. Contudo, o incremento no tamanho das árvores acima de um determinado ponto, dependendo da capacidade da máquina empregada, pode eliminar certas vantagens. Peças muito grandes podem dificultar seu manuseio e exigir maior potência das máquinas. Assim, o VMI é altamente impactante na produtividade, principalmente o VMI baixo.

Mas claro que o que é considerado “baixo” pode variar de acordo com a empresa, região onde ela está instalada e a finalidade para a qual a madeira será utilizada, mas, de forma geral, pode-se definir consensualmente um VMI baixo como aquele inferior a 0,15 m³ de madeira por árvore. Para que se obtenha o mesmo volume produzido, o número de ciclos e, conseqüentemente, número de árvores necessárias para que equipamentos como *Harvesters* produzam o mesmo volume de madeira é maior e, desta forma, crescem os custos de toda a operação. Uma das maneiras de se reduzir custos de colheita, tanto em sistemas de colheita *Full-tree* quanto *Cut-to-length*, é o investimento em máquinas de menor porte, maior agilidade e menor consumo de combustível.

Para Castro 2016, é importante buscar colher, arrastar e processar mais árvores no mesmo ciclo, aumentando a produtividade. Por isso, no sistema *Full-tree*, o uso de *Feller Bunchers* com cabeçotes acumuladores com área superior a 0,5 m² permite o acúmulo de várias árvores em um mesmo ciclo, proporcionando agilidade à operação. *Skidders* com grande capacidade de carga e pinça com área superior a 1,76 m² podem transportar um grande número de árvores em uma mesma viagem. Assim, a produtividade no arraste é aumentada. Já no processamento, o uso de cabeçotes para o processamento de múltiplas árvores vem se tornando cada vez mais comum. De acordo com Correia 2018, a diferença entre um cabeço multi pode representa uma produtividade 36% maior em relação ao cabeçote convencional, para a mesma classe de floresta.

Se o processamento for com garra traçadora, o uso de garras com área superior a 0,8 até 1,0 m² possibilita cortar mais árvores de uma só vez e, se ainda houver necessidade de descascamento, *Flail Delimber Debarkers* são outras alternativas para o descascamento simultâneo. O uso de picadores móveis no campo, capazes de desgalhar, descascar e picar a madeira. Assim, três atividades são feitas sequencialmente e de forma praticamente simultânea. Para Prestes (2010) a colheita de madeira de baixo volume por árvore atualmente é considerada um grande desafio para empresas que trabalham principalmente com florestas de diâmetros pequenos.

Empresas muitas vezes se encontram diretamente desafiadas por uma realidade complexa: o baixo crescimento de suas florestas, ou seja, plantios. Por isso é de extrema importância analisar e escolher o melhor método de colheita e de extração, para possibilitar um maior rendimento produtivo e conseqüentemente diminuir os custos.

2.4 PLANEJAMENTO OPERACIONAL DA COLHEITA DE MADEIRA

Antes de iniciar qualquer atividade dentro de um povoamento florestal é necessário ter muito bem definidas as premissas básicas das ações e propósitos, assim, objetivos formulados e ordenados numa sequência cronológica farão o sucesso da operação, comenta Simões (2008). Assim, estratégias apropriadas para a colheita de madeira de modo a conduzir as atividades para que ocorra o cumprimento das metas estabelecidas são fundamentais de acordo com Kantola e Harstela (1994).

De acordo com Penna (2010), a complexidade de colheita florestal deve-se à dificuldade de controlar de forma simultânea um grande número de variáveis oriundas de fatores técnicos, operacionais, ambientais, econômicos e ergonômicos. Assim para que a colheita florestal possa ser controlada e manejada de forma a proporcionar melhores resultados, deve-se lançar mão de um bom trabalho de planejamento (MACHADO; LOPES, 2008). Já para Malinovski (2007), é essencial o planejamento da colheita, pois desta forma é possível colocar todos os sistemas e métodos juntos, identificando e resolvendo seus conflitos, reconhecendo suas restrições e particularidades, ordenando os recursos de forma antecipada. Por meio de planejamento, pode-se organizar, racionalizar, otimizar as operações de colheita e torná-la ambientalmente correta (MACHADO; LOPES, 2008).

Assim, todos os citados acima convergem no princípio de que o principal objetivo da realização do planejamento é abordar todos os fatores de influência e variáveis da operação, de forma a antecipar os desafios. E, em resumo o planejamento busca:

- Elevar os índices de produtividade e aproveitamento de madeira;
- Melhorar os padrões de qualidade do produto e serviço;
- Garantir a satisfação dos clientes internos e externos;
- Reduzir os custos operacionais e de produção;
- Garantir a segurança e ergonomia no trabalho;
- Melhorar os níveis de eficiência operacional;
- Garantir o fluxo regular de abastecimento;
- Manter o reduzir os estoques de madeira;
- Atender aos critérios de certificação;
- Minimizar os impactos ambientais;

Durante a realização do planejamento da colheita, o microplanejamento tem papel crucial para que os objetivos pré-estabelecidos sejam alcançados. E neste

momento, é importante considerar alguns aspectos para que as operações a níveis de blocos e talhões tenham sucesso. Como os principais, cita-se: topografia do terreno, tipo de solo, distância média de extração, espaçamento das árvores, ângulo de derrubada, sentido de extração da madeira, local de processamento, local de formação de pilhas, localização das estradas cascalhadas e não cascalhadas, sistema de colheita recomendado, condições meteorológicas, riscos operacionais como presença de rede elétricas, áreas de preservação, fluxo de caminhões vazios e carregados, entre outras.

Considerando estes fatores e planejando-os de forma antecipada é praticamente certo o alto desempenho das operações de colheita. Porém o contrário é verdadeiro e quando estes fatores não são planejados e considerados, o insucesso das operações é grande.

2.5 MÉTODOS PARA COLHEITA EM ÁREA INCLINADA

As tradicionais operações florestais de colheita em áreas de declives acentuados envolvem boa parte das operações sendo realizadas de forma manual, com motosserras e cabos. As preocupações com segurança dos equipamentos e operadores, produtividade e custos operacionais são os principais norteadores da busca e desenvolvimento de novas tecnologias de máquinas e operações florestais em áreas com declive acentuado. Assim, diversas opções de equipamentos, máquinas, implementos, modelos e fabricantes estão disponíveis no mercado internacional de forma a atender todas as necessidades das operações. Com o tempo a técnica e opções se tornaram ainda mais seguras e produtivas, garantido, operações em períodos noturnos ou com condições de chuvas. A seguir, são apresentadas as principais alternativas disponíveis atualmente.

2.5.1. Guincho Autopropelido

De acordo com os principais fabricantes deste tipo de equipamentos, os guinchos autopropelidos são máquinas controladas de forma remota e tem como principal função servir de ancora para a utilização dos cabos de tração auxiliar em máquinas de pneus e esteiras. Estas máquinas são posicionadas em pátios ou estradas na parte superior do talhão. Normalmente estes equipamentos possuem um motor diesel que varia de 170 hp como o modelo *T-Winch* da *Ecoforst* (Figura 7 - esquerda), até 275 hp como o modelo *Log Champ 250 Traction Winch* da *T-Mar*

Industries (Figura 7 - direita). O motor diesel transmite o torque máximo para uma unidade de bomba. As bombas alimentam tanto o ciclo hidráulico fechado da transmissão do guincho quanto o ciclo aberto das funções auxiliares adicionais.

Figura 7: Modelos de guincho de tração autopropelidos.



Fonte: Ecoforst.



Fonte: T-Mar Industries.

O *T-Winch* possui peso operacional de 10 toneladas, utiliza 500 metros de cabo com 18,5 mm de diâmetro e tem força de tração de 100 kN ou 11,2 toneladas. Já o *Log Champ250* possuiu 29 toneladas de peso operacional, cabo com 700 metros de comprimento, diâmetro de 28,7 mm (1 1/8 de polegada). É importante ressaltar que este tipo de equipamento não tem como função puxar o equipamento que realiza o corte no talhão e simplesmente fornecer a tração auxiliar necessária para que o equipamento se mantenha estável.

Assim, com estes equipamentos, máquinas como *Harvesters*, *Forwraders*, *Fellers*, *Shovel Loggers* e *Skidders* podem alcançar declividades de até 40° (83%) de acordo com os fabricantes dos modelos mencionados acima.

2.5.2. Guincho em Escavadeiras Hidráulicas

O sistema de colheita e extração de madeira com guincho em escavadeiras hidráulicas basicamente, de acordo com a *Summit Attachments & Machinery* (2018) é composto por uma máquina ancora e uma máquina responsável pela colheita das árvores, conectadas entre si por meio de um ou dois cabos de aço (Figura 8). O objetivo da ancora e do cabo é permitir que *Feller Bunchers*, *Feller Direcional*, *Harvesters*, *Skidders* e *Shovel Loggers* operem em áreas extremas quando se trata de declividades. Há grande similaridade, na função desempenhada quando comparado com o método anterior. A principal diferença está no uso e tipo da máquina base, que neste caso é mais pesada e robusta.

Instalado em qualquer marca e modelo de escavadeira hidráulica, desde que o peso operacional seja de no mínimo 27 toneladas, utiliza um único cabo com comprimento de até 650 metros e 1 e 1/8 de polegada, capacidade de suportar até 23 toneladas. Possui monitoramento da velocidade do cabo, medição do comprimento, tensão instantânea, alarme de movimento para alertar o operador é a máquina guincho teve qualquer movimento. Possibilidade de operar em áreas de até 50° (110%) de declividade, desde que todas as condições sejam favoráveis à operação e utilizando um cabo de 1 1/8 de polegada, comenta o fabricante *Falcon Forestry Equipment*.

Figura 8: Modelos de guincho de tração em escavadeiras hidráulicas.



Fontes: EMS, *Falcon Forestry Equipment* e *Summit Attachments & Machinery*.

De acordo com a *FPIInnovations* (2016) em 2016 eram 49 unidades em operação nos Estados Unidos e Canadá. Sendo os principais fabricantes a EMS – *Tractionline*, *Falcon Forestry Equipment* e *Summit Attachments & Machinery*.

2.5.3. Guincho em Trator de Esteiras

De acordo com o próprio fabricante ROB (2019) o *Remote Operated Bulldozer* é um equipamento utilizado na operação de colheita florestal composto por cabos e um guincho controlados remotamente, baseado em um trator de esteiras (Figura 9). Este equipamento tem como principal função ancorar uma máquina florestal que opera em áreas de declividade, com segurança, de até 45° graus de inclinação longitudinal. O acionamento hidrostático trator esteira é realizado pelo controle remoto instalado na cabine das máquinas que se move pelo talhão para realizar a colheita.

Para montagem do sistema, o fabricante recomenda um trator de esteiras com potência superior a 150 kW ou 200 hp, peso operacional superior a 20 toneladas. Ainda de acordo com o fabricante, uma das principais vantagens é que o trator tem um baixo centro de gravidade. Outra vantagem comentada é o ângulo de 45° (100%) admissível entre as polias e o cabo. Mas a principal vantagem é o fato que possuir dois cabos (um de cada lado da máquina) com capacidade de sustentar até 21 toneladas cada. O que torna a operação mais segura, inclusive o fabricante comenta que o nível de stress do operador que está ancorado por apenas um cabo é maior do que o operador que trabalha com dois cabos. E esse stress aparentemente tem impacto na produtividade.

Figura 9: Guincho de tração em trator de esteiras.



Fonte: ROB 2019.

2.5.4. Harvesters de Rodas com Cabo de Tração

O *Harvester* é composto, em sua essência, por uma máquina base automotriz, uma lança ou braço mecânico/hidráulico e um implemento (cabeçote) em sua extremidade (Figura 10). Esta máquina pode executar, sequencialmente, as operações de corte da árvore, derrubada, desgalhamento, descascamento, traçamento e

formação de pilhas de toras. Assim definiu Machado (2008), Malinovski e Malinovski (1998). De acordo com Thees, Frutig e Fenner (2011) para reduzir os danos ao solo, as máquinas passaram a ser equipadas com guinchos de tração auxiliar (GTA) que são acoplados ao chassi da máquina. Os mesmos autores citam ainda que, a primeira máquina deste tipo foi desenvolvida por *Herzog Forsttechnik* na Suíça. Neste caso a máquina se move no sentido morro abaixo. Desta forma torna-se possível a operação em terrenos com uma declividade ainda maior, até 38° (78%).

Figura 10: Modelos de *Harvester* de rodas com cabo de tração auxiliar.



Fonte: o autor.

Fonte: Komatsu Forest.

O “GTA” auxilia e traciona as máquinas em encostas devido à sincronia existente entre o guincho e as rodas de tração. O objetivo é reduzir a patinação das rodas no solo, reduzir danos a este, auxiliar a trafegabilidade das máquinas em ambos os sentidos (aclives e declives), comentam Thees, Frutig e Fenner (2011). Para auxiliar ainda mais, normalmente nestas condições topográficas, são instaladas esteiras removíveis nos pneus ou correntes, conforme Figura 11, a seguir.

Figura 11: Correntes de tração para máquinas de pneus.



Fonte: Clark Tracks.

Os principais fabricantes de Harvesters de rodas com cabo de tração auxiliar são: John Deere com a Haas, Komatsu Forest com Ritter, Ponsse com a Herzog e a HSM e a Eco-Forst. De acordo com o fabricante e porte da máquina os sistemas

podem ter cabos de 200 a 500 metros de comprimento, com espessuras média de 14 mm, capacidade de suportar de 72 a 100 kN de força de tração constante, circuito hidráulico fechado, controlado eletricamente, com bomba de pistão axial adicional, velocidade máxima de deslocamento de 5 km/h. Normalmente, o conjunto de guincho adiciona à máquina 1,7 tonelada no peso total do equipamento.

2.5.5. *Harvester* Articulado de Esteiras

Harvesters articulados de esteiras podem trabalhar em terrenos com até 38° (78%) de declividade sem a necessidade de cabos de tração auxiliar. Alguns modelos com chassi articulado e sistema de esteiras independentes, como exemplo o Komatsu 911.5 X3M *Extreme* mostrado na Figura 12.

Figura 12: *Harvester* de esteiras independentes.



Fonte: o autor.

De acordo com Robert (2013) e Komatsu (2012) este equipamento possui motor diesel modelo 74 AWI e 228 hp peso operacional de 25 toneladas e alcance máximo da lança de 10 metros. O equipamento foi desenvolvido para realizar as operações de corte florestal em áreas de declividade consideradas muito acentuadas em regimes de desbaste seletivo em florestas da Alemanha e Áustria.

Robert (2013) ainda comenta que, por meio de observação em campo, em terrenos com topografia superior a 27° (51%) deve-se atentar para as características físicas do solo. Em condições de alta umidade devido a chuvas, a retenção de terra nas sapatas da esteira compromete a tração do equipamento podendo levá-lo a deslizamento, derrapagens e perda de estabilidade.

2.5.6. *Harvester Highlander*

O *Highlander* é um equipamento, de acordo com Robert (2013) composto por uma máquina base de seis pneus com um chassi que dá a possibilidade de alongar-se e encurtar-se independentemente um lado do outro, uma cabine giratória, com inclinação frontal de 19° e 25° traseiro, uma grua telescópica e um cabeçote de *Harvester* em sua extremidade (Figura 13). O equipamento pode executar as atividades de corte, extração, processamento e eventualmente empilhamento das toras ou carregamento direto em caminhões.

Figura 13: *Harvester Highlander*.



Fonte: Konrad.

De acordo com a Konrad (2019) o motor do atual modelo possui 285 hp, peso operacional de 24 toneladas. Outra característica única é o posicionamento do motor que possui uma inclinação de 7° em relação a máquina base. Isso ajuda a minimizar a ação da declividade quando a máquina opera morro abaixo, onde o equipamento tem sua maior eficiência operacional. Estas particularidades garantem características únicas a este equipamento e torna-o ideal para operações em terrenos íngremes. O *Highlander* tem como opcional a instalação de um cabo de tração auxiliar de 300 metros.

2.5.7. *Feller Buncher* e *Feller Direcional* com Cabo

De acordo com Machado (2014) o *Feller Buncher* é um equipamento composto por uma máquina base e um implemento que desempenha a atividade de corte, acúmulo e posteriormente tombamento das árvores, formando feixes (Figura 14). O cabeçote de corte do *Feller Buncher* é a principal ferramenta de trabalho do equipamento pois é ele quem executa todas as atividades. Seus componentes básicos

são: uma ferramenta de corte e braços acumuladores, todos acionados por sistemas hidráulicos. O mercado oferece modelos de pequeno, médio e grande porte, variando sua potência de 180 kW a 246 kW e peso operacional entre 22 e 40 toneladas.

Figura 14: *Feller Buncher* de esteiras com sistema de nivelamento.



Fonte: o autor.

Já o *Feller Direcional* (Figura 15) é basicamente a mesma máquina de um *Feller Buncher*. Os equipamentos diferenciam entre si devido ao implemento utilizado. Ao invés de um cabeçote de corte acumulador com disco ou conjunto de lâminas formando uma tesoura, o *Feller Direcional* possui um cabeçote de corte individual. O cabeçote tem, normalmente capacidade de cortar árvores com até 115 cm de diâmetro. Além de realizar o corte e derrubada de árvores, o cabeçote pode atuar como garra na formação de feixes, garra para o arraste de madeira, por meio da técnica *Shovel Logging*, atuar como garra traçadora e seccionar as árvores em diversos pedaços e ainda, como garra de carregamento em caminhões.

Figura 15: *Feller Direcional* de esteiras com sistema de nivelamento.



Fonte: o autor.

Ambos os equipamentos descritos acima podem receber o auxílio de cabos de tração, como os modelos dos fabricantes EMS – Tractionline, Falcon Forestry Equipment e Summit Attachments & Machinery, o que possibilita alcançar declividades de até 45° (100%).

2.5.8. *ClimbMAX*

ClimbMAX, é o nome comercial de um equipamento desenvolvido e fabricado na Nova Zelândia. De acordo com o fabricante (*ClimbMAX* 2019), é uma máquina base similar a uma escavadeira, equipada com um sistema de guincho, com um cabeçote de *Feller* Direcional capaz de realizar o corte de árvores em áreas inclinadas com até 45° (100%), porém seu maior desempenho operacional é observado em áreas de até 38° (78%). O cabo pode ser ancorado em tocos que tenham a resistência necessária (Figura 16) ou em outras máquinas. O conjunto do guincho está localizado na base da máquina, conforme Figura 17 a seguir:

Figura 16: Detalhe da ancoragem do *ClimbMAX* em um toco.



Fonte: *ClimbMAX*.

Figura 17: Detalhe do guincho do *Feller direcional* de esteiras *ClimbMAX*.



Fonte: *ClimbMAX*.

Além do corte e derrubada das árvores, o equipamento pode agrupá-las em feixes de árvores e depois, por meio do método de extração conhecido como *Shovel*

Logging, onde as árvores são movimentadas até alcance do braço em direção a estrada (Figura 18). Uma desvantagem deste equipamento é a ausência de um sistema de nivelamento. O nivelamento de cabine proporciona, principalmente maior conforto e ergonomia para o operador. Porém possui uma lâmina que auxilia na manutenção da estabilidade ou como ferramenta para segurar a máquina em áreas inclinadas.

Figura 18: *Feller direcional* ClimbMAX nas atividades de corte (esquerda) e extração (esquerda).



Fonte: ClimbMAX.

A máquina possui um motor de 202 kW (271 hp) @1.900 rpm; torque de 1.080 Nm @ 1.900 rpm, velocidade máxima de deslocamento de 5,5 km/h; 10,7 giros por minuto da máquina base; alcance do braço de 10 metros; tanque de combustível como capacidade de 1.000 litros; 9,70 metros de comprimento; 3,50 metros de largura; 3,94 metros de altura e peso operacional de 41.920 kg.

2.5.9. *Forwarders* com Cabo de Tração

De acordo com Machado (2014), os *Forwarders* foram originalmente fabricados no Canadá e desenvolvidos e aperfeiçoados na Escandinávia. Hoje, países da Europa operam em sua maioria no sistema *Cut-to-length* e assim, estas máquinas são as mais populares, quando se fala em extração de madeira. E com isso a Europa se tornou o principal polo de fabricação e desenvolvimento deste equipamento.

Os *Forwarders*, são máquinas com suspensão da plataforma de carga sobre o chassi traseiro. Sua capacidade de carga varia de 4.000 a 25.000 kg e potência com variação de 95 kW a 230 kW e peso de até 28 toneladas. Além destas características a máquina (Figura 19) possui uma grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento da própria máquina.

Uma das características mais relevantes desse equipamento é a velocidade, pois esta impacta diretamente no tempo de ciclo, em função da distância de baldeio e consequentemente na produtividade. Quando a distância de baldeio for grande, a maior parte do tempo operacional será gasto com o deslocamento vazio e carregado da máquina. Para curtas distâncias de baldeio a velocidade não é tão impactante no ciclo operacional, pois o tempo gasto com carga e descarga representara a maior porcentagem. E neste caso, tamanho da garra e caixa de carga são as principais influências.

Forests and Rangelands (2011), comenta que estas máquinas podem trabalhar em terrenos acidentados até uma inclinação máxima ao redor de 17° (30%), ou de 30° (58%) desde que se movimente no sentido do declive. Além disto é ideal para aplicações em terrenos com presença de rochas ou micro relevos e ainda em operações de desbaste ou corte seletivo.

Figura 19: *Forwarder* de pneus, com cabo de tração auxiliar.



Fonte: o autor.

De acordo com Thees, Frutig e Fenner (2011) para reduzir os danos ao solo os *Forwarders* passaram também a ser equipados com o guincho de tração auxiliar (GTA) quando estes operam em áreas de declividade. Este implemento é acoplado ao chassi da máquina e permite que ela opere em áreas de declividade causando o mínimo de distúrbio ao solo, e ainda possibilita custos operacionais menores que a utilização de teleféricos com custos mais elevados ou produtividades menores.

Assim, como os guinchos utilizados no *Harvesters*, os principais fabricantes são: John Deere com a Haas, Komatsu Forest com Ritter e a Ponsse com a Herzog. De acordo com o fabricante e porte da máquina os sistemas podem ter cabos de 200 a 450 metros de comprimento, com espessuras média de 14 mm, capacidade de suportar de 72 a 100 kN de força de tração constante, circuito hidráulico fechado,

controlado eletricamente, com bomba de pistão axial adicional. Normalmente o conjunto de guincho adiciona à máquina 2 toneladas no peso total do equipamento.

As distâncias máximas de transporte situam-se, em média, entre 200 e 300 metros. Distâncias superiores a 300 metros acarretará em perda da eficiência do equipamento (SEIXAS, 1987; SOUZA et al. 1988, apud MACHADO, 2008). Em 2016 eram mais de 800 unidades em operação na Europa.

2.5.10. *Clambunks*

Clambunks são variações de máquinas articuladas utilizadas para o arraste de madeira. Geralmente com tração do tipo “6x6” ou “8x8”, possui em sua parte traseira uma pinça ou garra superior (ou invertida) com a finalidade de prender as árvores ali colocadas com o auxílio de uma grua hidráulica e uma garra que o torna autocarregável (SEIXAS, 2008), conforme ilustra a Figura 20, a seguir:

Figura 20: *Clambunk* com pinça e garra para formação de carga.



Fonte: o autor.

Existem outras configurações onde um cabeçote de *Feller* Direcional pode ser instalado no *Clambunk* como é o exemplo do HSM 208F-C (Figura 21) e implemento *Timbermax* com capacidade de corte de 70 cm e peso operacional de 1.540 kg. Com essa configuração a máquina passa a realizar as atividades de corte e arraste em áreas planas ou inclinadas, com a possibilidade de apoio de cabos de tração auxiliar.

Figura 21: *Clambunk* com pinça e *Feller direcional* para corte e formação de carga.



Fonte: HSM.

Ainda há modelos onde há necessidade de serem carregados por outras máquinas pois não possuem, em sua configuração, a grua. É conceitualmente semelhante aos *Forwarders*, porém, com esta diferenciação na forma de transportar a carga e aplicações em sistemas de colheita distintos. Possui elevada capacidade de carga e é muito versátil, podendo extrair toras dispersas ou não (MACHADO, 2008), além de apresentar uma distância econômica de arraste superior ao *Skidder* de pinça. É uma máquina viável para operações em terrenos com topografia irregular ou em terrenos com até 27° de declividade, desde que a operação seja feita no sentido do declive. Segundo Partek Forest (2003, apud OLIVEIRA et al. 2006) as principais vantagens do *Clambunk* são a facilidade de converter máquina-base rapidamente para um *Forwarder*, redução da densidade de estradas florestais e estabilidade para operar em terrenos acidentados ou com baixa sustentação.

2.5.11. Shovel Loggers - Logging

Shovel Logging é um método de extração de árvores e madeira, que pode ser definida como movimentação de madeira por escavadeira hidráulica. Uma máquina base de esteiras, é equipada com uma garra que possui função de movimentar madeiras, feixes de árvores ou de toras do interior do talhão até os locais de pilhas (Figura 22).

Figura 22: *Shovel Logger* durante operação de extração.



Fonte: o autor.

Os *Shovel Loggers* disponíveis no mercado pelos principais fabricantes possuem de 27 a 38 toneladas de peso operacional, potência de 275 a 330 hp, alcance da grua de até 13,5 metros, velocidade máxima de 5 km/h e sistemas de nivelamento da máquina base. O conceito de extração de madeira *Shovel Logging* é uma alternativa viável de em terrenos onde máquinas convencionais como Autocarregáveis, *Skidders* e *Forwarders*, sem cabos de tração auxilia não são capazes de operar. Também é uma alternativa interessante em situações onde o custo de remoção por outras formas como cabos aéreos seria elevado ou ainda, onde as distâncias de remoção são consideradas curtas (normalmente de 2 a 3 movimentações da máquina). Este método pode ser aplicado com sucesso em solos macios, úmidos ou pantanosos, onde máquinas convencionais não podem trafegar com muito peso devido à baixa capacidade de sustentação do solo. Nestes casos *Shovel Loggers* recebem esteiras largas para aumentar a capacidade de flutuação e estabilidade. E ainda, em terrenos íngremes, morros ou encostas.

Para operações em terrenos íngremes este sistema limitava-se anteriormente a operar com até 20° de inclinação (McNEEL; ANDERSSON, 1993). Porém, atualmente com máquinas maiores, mais potentes e projetadas especificamente para esta atividade, declividades maiores são alcançadas. De acordo com Castro 2011, *Shovel Loggers* estão trabalhando em terrenos 30° (60%) de inclinação em empresas florestais no sul do Brasil. Para isso a máquina necessita ter um sistema de nivelamento e capacidade de se manter estável e imóvel no terreno sem realizar força alguma. Geralmente nestas condições topográficas os feixes de árvores são removidos sentido a favor da declividade.

Para muitas situações, esta forma de extrair madeira torna-se mais viável do que outras, porem a distância de remoção é um dos principais fatores limitantes da aplicação. Dependendo da distância, o método pode ser muito econômico, além de

causar baixo impacto ambiental. De acordo com Olund (2001) esta forma de extração de madeira é uma alternativa de baixo custo em terrenos com até 22° (40%) de declividade. Já Fisher (1999) comenta que o sistema tem bom rendimento quando a distâncias máximas de remoção são aproximadamente 200 metros para a favor do declive, 120 metros para remoção contra o declive e menos de 60 metros terrenos moderados.

2.5.12. *Skidder* de Pneus com Cabo de Tração

De acordo com Machado et, al. (2008) o *Skidder* é um trator florestal articulado com tração 4x4, 6x6 ou 8x8, desenvolvido para executa o arraste dos feixes de árvores ou de toras da área de corte, utilizando como principal ferramenta de trabalho, uma pinça, localizada na sua parte traseira. Esta pinça é acionada hidráulicamente de forma a coletar os feixes de árvores, prende-los e arrasta-los até a margem da estrada. No mercado é possível encontrar motores com potência que variam de 96 kW até 300 kW, e o peso variando entre 10 e 38 toneladas.

Para Forests and Rangelands (2011) a topografia limita o uso dos *Skidders*. Equipamentos 4x4 operam com eficiência até 17° (30%). Modelos 6x6 a favor da inclinação podem operar até 22° (40%). Já os *Skidders* montados sobre esteiras podem operar em terrenos com 27° (51%) a favor da inclinação e 15° (27%) contra.

De acordo com a Tigercat 2016, ao instalar cabos de tração auxiliar, como por exemplo dos fabricantes EMS – Tractionline, Falcon Forestry Equipment e Summit Attachments & Machinery, *Skidders* podem alcançar declividades de até 45° (100%), conforme ilustra a Figura 23, sem perda dos componentes mecânicos como motores e bombas hidráulicas.

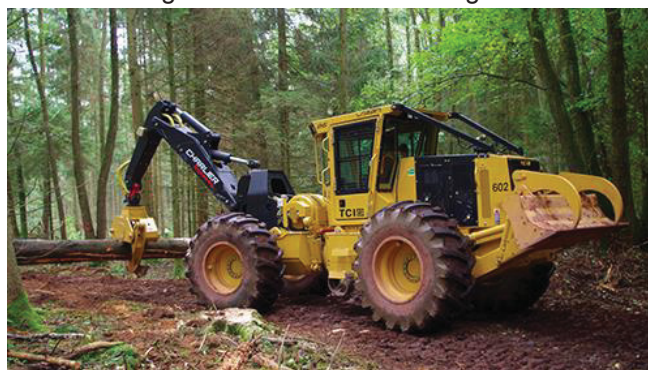
Figura 23: *Skidder* 6x6 operando em áreas de declividade com cabo de tração auxiliar.



Fonte: Tigercat.

Ainda para estas condições os *Skidders* podem ter modificações estruturais, como a instalação de uma torre e grua (Figura 24) para facilitar a coleta dos feixes de árvores sem a necessidade de manobras em terrenos declivosos. Aumentando assim a produtividade e segurança operacional. Porém é importante ressaltar que existe uma diferença entre o limite mecânico do equipamento e limite operacional técnico e econômico.

Figura 24: *Skidder* 4x4 com grua.



Fonte: Clohse Group

2.5.13. Corte e Extração com Helicóptero

Heli Logging é o termo em inglês designado para extração de madeira com helicóptero. Este método de remoção de árvores e toras consiste na utilização de um helicóptero com algumas adaptações ou helicópteros específicos para realizar o corte e extração de árvores em áreas inacessíveis para a maior parte dos equipamentos convencionais utilizados na colheita de madeira. Este método pode ser aplicado em topografias com declividade de 0° (0%) a 50° (110%) ou mais. Nas áreas acima de 40° (84%) poucas são as opções de máquinas florestais ou capazes de realizar a operação. De acordo com Bantel (2009) as primeiras operações de aconteceram na Europa, mais precisamente no início da década de 1970. Nos Estados Unidos e Canadá, de acordo com Machado (2008) cerca de 2 a 3% da madeira era extraída dessa forma.

A perspectiva é sempre de um aumento deste percentual no futuro principalmente em virtude das restrições ambientais e busca por menos impacto ambiental LAMBERT; JURAS (1992, apud MACHADO, 2008) e o aumento da utilização de áreas de grandes declividades para o manejo florestal. O processo de operação de corte e extração de madeira por helicópteros pode ser realizado de algumas formas diferentes de acordo com as características das atividades e das florestas.

De acordo com Cleaver (2001), Castro (2010) e Canadian Air-Crane (2011) as principais são: “*Standing Stem Harvesting*” e “*Buncher Harvesting*”. O primeiro consiste na seleção de árvores, normalmente as quais serão cortadas e extraídas de acordo com características desejadas e objetivos pré-estabelecidos antes do início da operação. O corte e extração acontece de forma individual e dependendo do implemento usado, o próprio helicóptero é responsável pelo corte e extração.

Já o segundo método, o *Buncher Harvesting* consiste na remoção de feixes de toras, conforme mostra a Figura 25, geralmente feixes já processados (desgalhados e cortados em um determinado comprimento) deixados próximos as áreas de corte das árvores. O desgalhamento se faz necessário para menor peso no transporte e o comprimento da madeira, além de ser um parâmetro de acordo com o uso e finalidade da madeira, também é feito de acordo com a capacidade de carga do helicóptero.

Figura 25: Extração de madeira com helicóptero.



Fonte: Erickson Air Crane.

As principais vantagens de realizar a extração de madeira com helicóptero, de acordo com a Canadian Air-Crane (2011), são a possibilidade de extrair madeira de alto valor agregado, onde o acesso de máquinas e outros equipamentos é limitado, menor impacto na floresta remanescente e impactos ambientais, menos investimento na construção de trilhas de arraste e estradas e maior segurança na operação de extração em terrenos extremamente inclinados.

Já as principais desvantagens são os altos custos operacionais, em algumas situações as árvores são cortadas em tamanhos menores do que o de comercialização devido à limitação de carga do helicóptero, limitações das operações em virtudes das condições climáticas, necessidade de pessoal altamente qualificado e

por grande parte da operação depende exclusivamente da disponibilidade mecânica de um único equipamento (helicóptero).

2.5.14. Cabos Aéreos

Para Malinovski e Malinovski (1998) a extração de madeira por cabos é a movimentação das toras ou árvores do local de corte para uma praça de trabalho com a utilização com múltiplos carretéis, cabos, e tambores que operam, em geral, a partir de uma posição estacionária (Figura 26). Os métodos de extração por cabos aéreos, teleféricos ou cabos-grua, consistem no caminho formado por cabos suspensos esticados e fixo entre duas extremidades (mastros).

Figura 26: Modelos de cabos aéreos em caminhões



Fonte: Konrad.

Neste cabo é acoplado um carrinho transportador que deslizará por ele e poderá ter como implemento uma pinça ou garra que fará a coleta das árvores e toras. O operador dentro do equipamento estacionário pode acompanhar em tempo real, por meio de câmeras o momento certo e posição correta de acionar a pinça e coletar as árvores. Normalmente as torres são instaladas em plataformas de caminhões ou tratores, mas recentemente uma outra alternativa tem sido usada e a instalação base parte de uma escavadeira hidráulica, conforme Figura 27. Neste caso, o equipamento é chamando de *Yoder*.

Figura 27: Modelos de cabos aéreos escavadeira hidráulica – Yoder.



Fonte: Summit Attachments & Machinery

A extração com teleféricos é indicada quando existe a compatibilidade com os fatores citados por Malinovski e Fenner (1988, apud BANTEL, 2010) como: extenso comprimento do eito de extração (distâncias longas de extração), declividades acentuadas, afloramento de rochas, presença de valas ou micro relevos e solos instáveis. Além disto este método de extração reduz a necessidade de construção de uma rede viária complexa e densa. Os alcances máximos dos modelos utilizados variam entre 300 e 600 metros, com arrastes laterais entre 15 e 25 metros para cada lado.

2.5.15. Extração com *Pully*

Para a Konrad (2019), o transportador terrestre de madeira *Pully* (Figura 28) é uma máquina não tripulada, fabricada para operações florestais em áreas inclinadas ou planas a atividade de remoção de madeira. É utilizada para realizar a extração de madeira em terrenos íngremes com até 27° (51%) de declividade e também é utilizado para operações em terrenos macios e úmidos, onde não há possibilidade de máquinas de grande porte e peso operarem devido a capacidade de sustentação do solo.

Figura 28: *Pully* em operação.



Fonte: Konrad.

O *Pully* é uma máquina composta por largos pneus que, dependendo do modelo, podem ser configurados nas versões com seis ou oito rodas que garantem ao equipamento uma estabilidade e fornecem, ao mesmo tempo, tração ao a máquina principalmente durante as operações em terrenos íngremes, onde a tração é fundamental para que o equipamento supere a declividade do terreno. Essa tração é feita por meio de dois cabos que estão fixos no chassi da máquina e as suas extremidades estão, uma fixa em um ponto no alto do terreno e o outro ponto está fixo próximo a estrada. Devido à variação de modelos, a atividade de extração pelo *Pully* pode ser feita por arraste ou por baldeio, descreve a Konrad (2011).

2.5.16. Extração com Guincho em Trator Agrícola

Instalado em um trator agrícola de rodas com no mínimo 100 CV de potência bruta no motor, o guincho (Figura 29) é uma alternativa viável para a remoção de madeira, por arraste, onde a topografia limita o uso de alguns equipamentos, como por exemplo, *Skidders* sem cabo de tração auxiliar, devido à irregularidade do terreno (micro relevos) ou inclinação. Normalmente o uso de tratores com agrícolas com guincho são utilizados em métodos de colheita de madeira onde o corte e derrubada das árvores, normalmente é realizado de forma manual com motosserras. O comprimento do cabo varia de acordo com o modelo, fabricante e aplicação. Uma empresa brasileira fabricante de guinchos oferece modelos de 6.000 kgf até 51.000 kgf de resistência mecânica, com o comprimento variando de 50 a 250 metros e diâmetro do cabo de 5/8" até 1 e 1/8".

Figura 29: Extração de madeira com guincho instalado em trator agrícola.



Fonte: o autor.

O ciclo de operação inicia-se com um operador levando o cabo do trator até as árvores a serem arrastadas. Em seguida fixa cabos e ganchos nas árvores. Então, o operador do trator inicia o recolhimento do cabo, e assim a árvore começa a ser puxada em direção ao trator que está posicionado na estrada. O operador que fez a amarração acompanha a extração e vai em direção a estrada. A comunicação entre o operador do trator e o responsável por amarrar o cabo às árvores é por rádio. Quando a árvore se aproxima do local onde será colocada, outro operário remove o ganchos e cabos da árvore. Assim todo o procedimento é realizado.

3. MATERIAL E MÉTODO

Para o presente trabalho duas etapas foram necessárias, a primeira para coleta de dados em campo e a segunda, para análise de dados coletados. Além destas etapas, premissas foram estabelecidas e serviram de base para a condução do estudo. Estas tiveram como objetivo principal reduzir fatores de influência que poderiam comprometer a comparação dos dados coletados durante as operações de corte e extração. A seguir, estão descritas as premissas consideradas:

- O operador observado no estudo era considerado a referência neste tipo de operação, bem como para operar na condição proposta para a coleta de dados. Ele foi o mesmo em todos os tratamentos;
- O talhão onde o trabalho foi realizado tem a maior representatividade dentro da empresa quando levamos em consideração a declividade onde a máquina executará suas atividades;
- As condições meteorológicas (chuva em específico) foram similares para todas as tomadas de tempo;
- O volume médio individual (VMI) da floresta foi o mais similar possível para todas as tomadas de tempo de modo que não houve impacto na produtividade devido ao VMI;
- Os equipamentos utilizados no estudo foram os mesmos para todas as situações propostas, para evitar que qualquer configuração técnica ou mecânica pudesse ter influência nos resultados;
- Os turnos de trabalho foram os mesmos (período diurno);
- A declividade dos tratamentos foi a média encontrada na parcela delimitada para o estudo.
- Todas as árvores foram extraídas para baixo, no sentido a favor da declividade.

3.1 LOCAL DO ESTUDO

A área do presente trabalho está localizada no estado do Paraná, especificamente no município de Rosário do Ivaí. O perfil topográfico da área é fortemente ondulado e por este motivo, torna-se o local apropriado para a realização do estudo. As declividades médias do local de estudo variam de 35° a 45°.

O talhão escolhido era coberto por um povoamento florestal de *Pinus taeda* com 33,2 anos de idade, espaçamento de 2,5x1,5 metros e possuía 6,47 hectares. O VMI (volume médio individual) médio das árvores era de 0,76 m³ e densidade básica média era de 0,463 g/cm³. Todos os dados citados anteriormente foram obtidos no cadastro da empresa.

Os dados de tempos e movimentos foram obtidos através do método de multimomento com intervalo de 15 segundos por observação. Conforme citado por Batista (2008), esse método trabalha com o cronômetro girando continuamente, com a determinação dos tempos das ações segundo a frequência com que ocorrem em um intervalo fixo.

3.2 OS EQUIPAMENTOS

3.2.1. *Feller Direcional Tigercat LS855E*

O *Feller Direcional Tigercat LS855E* (Figura 30) utilizado durante o estudo é uma máquina autopropelida de esteiras com 282 hp de potência e peso operacional de 37 toneladas, sem o implemento. Possui um braço e lança com alcance de 9,14 metros. O implemento utilizado é um cabeçote direcional Tigercat 5195 com 2,1 toneladas de peso, diâmetro máximo de corte de 95 cm. Este implemento é responsável por executar as atividades de corte, derrubada e movimentação das árvores.

Figura 30: *Feller* direcional Tigercat LS855E

Fonte: o autor.

| TIGERCAT LS855E | TIGERCAT 5195 |
|---|---|
| Motor: Tigercat FPT N67 Tier 4f | Diâmetro máx. corte: 95 cm |
| Potência: 210 kW (282 hp @ 2.200 rpm) | Diâmetro mínimo: 11 cm |
| Peso operacional: 36.970 kg sem o cabeçote. | Abertura máxima: 1,38 metros |
| Vão livre do solo: 710 mm | Área da garra: 0,56 m ² |
| Tanque de combustível: 800 litros | Rotação: 360° |
| Força de tração das esteiras: 367 kN | Peso: 2.160 kg |
| Alcance máximo do braço e lança: 9,14 m | |
| Levantamento máx. alcance máx.: 5.260 kg | |
| Nivelamento: 20° frente/6° para traz/17° lateral | |

3.2.2. Escavadeira Hidráulica Doosan DX300

A escavadeira hidráulica de esteiras Doosan DX300 (Figura 31) é uma máquina projetada e construída para a atividade florestal. Possui motor de 271 hp e peso operacional de 31 toneladas. Em sua estrutura traseira foi inserido o sistema de cabos e guincho que tornou a máquina uma “âncora” para auxiliar na sustentação do *Feller* Direcional. O peso do equipamento praticamente não teve alteração pois o peso do sistema de guincho possui praticamente o peso do contrapeso da máquina.

Figura 31: Escavadeira ancora Doosan DX300 com guincho



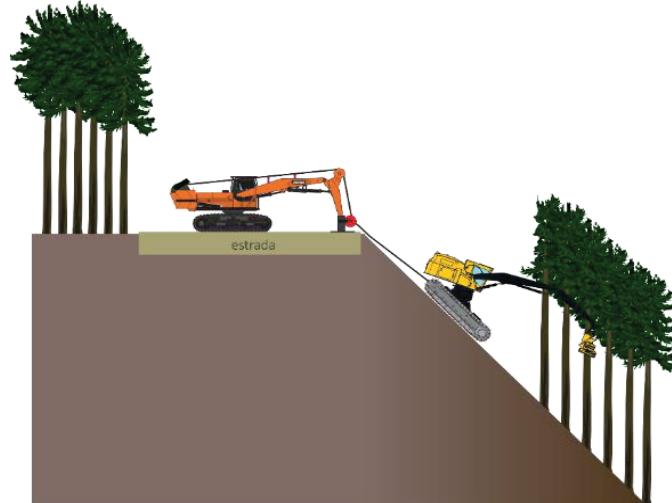
Fonte: o autor.

| Doosan DX300 | GUINCHO |
|--|--|
| Marca: Doosan | Marca: Summit/Lantec |
| Modelo: DX300 | Comprimento do cabo: 600 m |
| Motor: Doosan DL08P | Capacidade óleo hidráulico: 30 litros |
| Potência: 271hp | Peso operacional: 5 toneladas |
| Peso operacional: 30.900 kg | Capacidade de tração: 20 toneladas |
| Tanque de combustível: 500 litros | |

3.3 DESCRIÇÃO OPERACIONAL

A atividade de colheita no talhão em estudo tinha como padrão operacional o início pela parte superior (mais alta) para a parte inferior (mais baixa) onde havia uma estrada que a madeira era posicionada para posterior arraste pelo *Skidder* ou processamento no próprio local feito por um *Harvester* processador. A escavadeira com o guincho (máquina ancora) foi posicionada na estrada superior do talhão. Após este posicionamento o *Feller* Direcional entrava talhão para fazer o corte e remoção das árvores. A Figura 32 a seguir ilustra como a operação foi realizada.

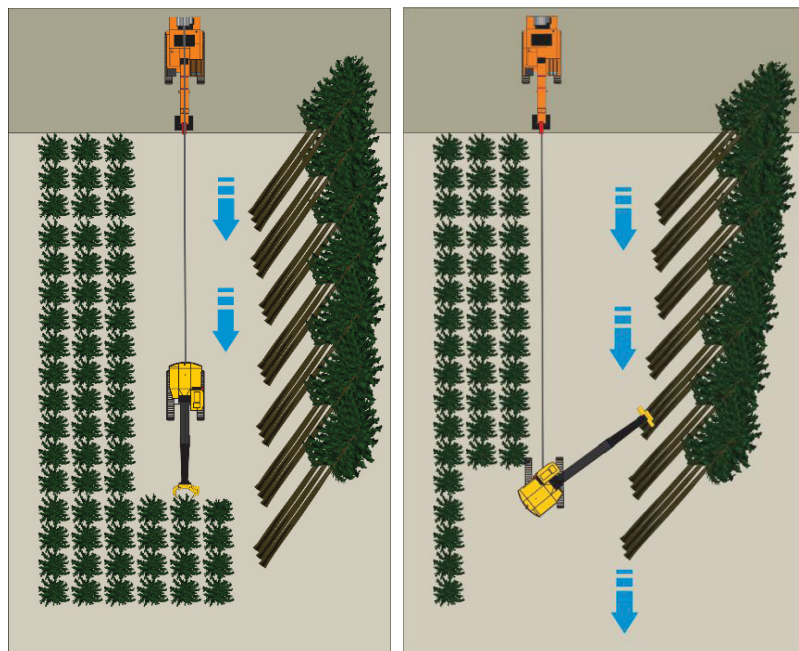
Figura 32: Desenho esquemático de perfil representado a operação.



Fonte: o autor.

Durante as operações o *Feller* normalmente conseguia colher 3 linhas de árvores, que estavam ao alcance de seu conjunto de braço e lança. Ficou a critério do operador o ângulo de derrubada em relação a linha de plantio. O mesmo realizava as operações de corte movimentando-se em sentido morro abaixo e morro acima. Porém, a extração era realizada somente após a colheita de um eito inteiro, conforme ilustra a Figura 33 abaixo.

Figura 33: Planificação da operação de corte e extração morro abaixo.



Fonte: o autor.

Durante a coleta dos dados e observações das atividades desempenhadas pelo equipamento foi extremamente importante manter a atenção à operação, especialmente no momento que o ponteiro passa pela marca do intervalo correspondente. No caso de operações florestais com decurso de trabalho variável recomenda-se o intervalo de 25/100 minutos. Para facilitar as anotações em campo, fez-se imprescindível a elaboração prévia de formulários de campo onde as observações foram facilmente registradas. Para a coleta de dados, foram divididas as atividades em quatro grandes grupos. As “atividades efetivas rotineiras” são aquelas necessárias para que haja produção de madeira, como por exemplo aproximação, corte e derrubada, organização de feixes e árvores, extração, etc. Elas são descritas em detalhes, a seguir:

1. **Deslocamento vazio descendo:** Consiste na movimentação da máquina dentro do talhão a favor da declividade e sem carga (árvores). Normalmente esse deslocamento é necessário para se aproximar da próxima árvore a ser derrubada ou movimentada. Uma eventual mudança de eito ou de talhão não é considerada como deslocamento dentro das Atividade Rotineira.
2. **Deslocamento vazio subindo:** Consiste na movimentação da máquina dentro do talhão contra a declividade e sem carga (árvores). Normalmente esse deslocamento é necessário para se aproximar da próxima árvore a ser derrubada ou movimentada. Uma eventual mudança de eito ou de talhão não é considerada como deslocamento dentro das Atividade Rotineira.
3. **Aproximação:** Consiste no movimento de aproximação do cabeçote de corte em direção à árvore. Este movimento é realizado pela grua e lança da máquina.
4. **Corte/derrubada:** Atividade realizada pelo cabeçote com o objetivo de cortar e derrubar a árvore, já com o sentido de queda definido.
5. **Organização/movimentação dos feixes:** Movimentação da máquina, braço, lança e implemento com a função de agrupar as árvores em feixes e posteriormente realizar a extração através do movimento de giro e deslocamento da máquina (*shovel logging*).
6. **Giro sem carga:** Momento em que a máquina girava, sem carga (árvores em seu implemento) para executar sua próxima atividade.
7. **Deslocamento carregado subindo:** Consiste na movimentação dentro do talhão contra a declividade com carga. Ou seja, o equipamento leva consigo árvores ou toras. Normalmente esse deslocamento é necessário durante a atividade de extração das árvores do talhão para as laterais das estradas. Uma

eventual mudança de eito ou de talhão não é considerada como deslocamento dentro das Atividade Rotineira.

8. **Deslocamento carregado descendo:** Consiste na movimentação da máquina dentro do talhão a favor da declividade com carga. Ou seja, o equipamento leva consigo árvores ou toras. Normalmente esse deslocamento é necessário durante a atividade de extração das árvores do talhão para as laterais das estradas. Uma eventual mudança de eito ou de talhão não é considerada como deslocamento dentro das Atividade Rotineira.

Já as atividades não rotineiras são aquelas que ocorrem esporadicamente durante a jornada de trabalho. Cita-se como as principais atividades a remoção de resíduo (galhos e copas das árvores), rebaixamento de toco que se faz necessário quando a altura após o corte da árvore não fica dentro do aceitável pela empresa, desenroscos do cabo em tocos ou resíduos, mudança de eito, manobras no talhão, entre outras. Já as atividades gerais são atividades que não estão diretamente relacionadas aos trabalhos efetivos de produção de madeira. Elas podem ser divididas em Causais ou Pessoais.

As causais são as atividades inerentes aos fatores operacionais com a máquina ou ao meio físico. Pode-se citar como exemplo de atividades causais, a necessidade de troca do sabre, troca de corrente, instalação ou movimentação da máquina ancora, mudança no sentido de corte, falta de tração da máquina em certas declividades, conversas técnicas no rádio, remoção de pedras ou madeiras, encalhe de máquina, troca de mangueira, pausa para passagem de veículos e pessoas, reparo no cabeçote, necessidade de abastecimento, mudança de talhão, troca de óleo e outras mais.

As atividades pessoais são atividades inerentes ao operador, que não estão relacionadas com a produção. Cita-se como exemplo de atividades pessoais, uma pausa para tomar água, pausa para descanso, pausa para fumar, necessidade de regulagem do banco da máquina, abaixar as cortinas quebra-sol, pausa para colocar óculos de sol, retirar ou colocar agasalhos, necessidades fisiológicas, etc.

3.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.4.1. Intensidade Amostral

O tamanho de uma amostra é função da variabilidade da característica a ser medida; da precisão requerida, dada pelo erro admissível em torno da média; e da probabilidade de confiança fixada para as mesmas. A expressão que determina o número de unidades de amostras necessárias para atingir certo nível de precisão, a dado nível de probabilidade, é determinada por:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{(LE \cdot X)^2}$$

Sendo:

n = número de amostras necessárias

t = valor tabelado da estatística “ t ” de Student, a dado nível de significância (α) e $n-1$ graus de liberdade

s^2 = variância da característica analisada entre as unidades de amostra

LE = limite de erro admissível em torno da média, em termos relativos

X = média da característica analisada

3.4.2. Média Aritmética Simples

A média aritmética é usada para obter-se um valor médio de vários valores. Neste tipo de média, considera-se que todos os valores possuem um mesmo peso.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

3.4.3. Média Aritmética Ponderada

A média aritmética ponderada \bar{x}_p , diferente da simples, calcula a média de vários valores, no entanto, considera-se neste caso que, os valores possuem pesos diferentes.

$$\bar{x}_p = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}$$

3.4.4. Variância

A variância é definida como a soma dos quadrados dos desvios de elementos em relação à sua média ou “desvio quadrático médio da média”. É comumente representada por “s²” quando nos referimos à variância em uma amostra. É uma medida de dispersão estatística, indicando "o quão longe" em geral os seus valores se encontram do valor esperado.

3.4.5. Desvio Padrão

O desvio padrão, assim como a variância, é uma medida da dispersão dos dados e mostra o quanto de variação existe em relação à média. No entanto, difere da variância uma vez que o desvio padrão encontra-se na mesma unidade de medida de seus dados. Ele é obtido extraindo a raiz quadrada da variância. Um baixo desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média; um desvio padrão alto indica que os dados estão espalhados por uma gama de valores.

3.4.6. Produtividade Efetiva do *Feller Direcional*

A produtividade em metros cúbicos de madeira por hora efetiva de trabalho foi obtida pela fórmula abaixo:

$$P_{HV} = \frac{N_{\text{árv}} * VMI}{He}$$

Sendo:

P_{HV} = produtividade efetiva (m³/h)

$N_{\text{árv}}$ = número de árvores cortadas e arrastadas, por declividade, durante o tempo total de cronometragem (unidade).

VMI = volume médio individual da árvore (m³)

He = horas efetivas de trabalho (h)

3.4.7. Eficiência Operacional

A eficiência operacional é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho. Pode ser calculada pela equação abaixo:

$$EO = \left[\frac{He}{(He + Hp)} \right] * 100$$

Sendo:*EO = eficiência operacional (%)**He = horas efetivas de trabalho (h)**Hp = horas paradas (h)***3.4.8. Produção**

A produção consiste na produtividade efetiva, no entanto, considerando-se a eficiência operacional da máquina, isto é, considerando os tempos de paradas que ocorrem durante a operação.

$$P = P_{EF} * EO$$

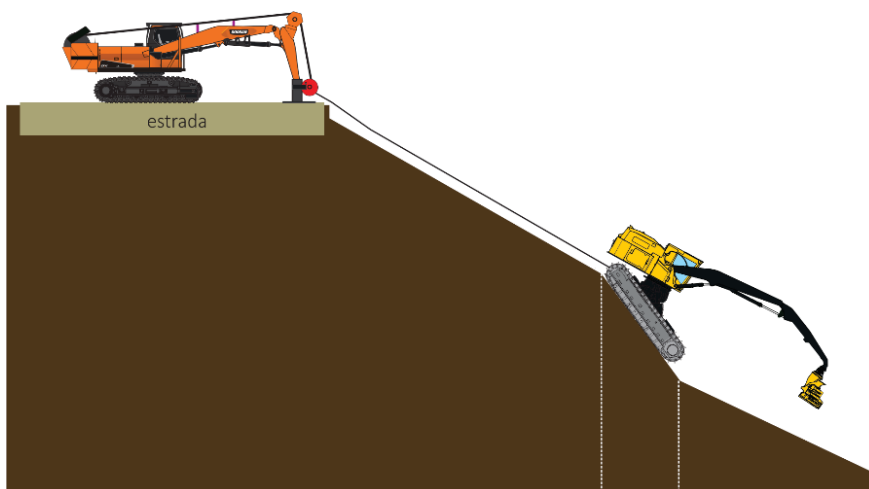
Sendo:*P_{REAL} = produção da máquina (m³/h)**P_{EF} = produtividade efetiva (m³/hora efetiva)**EO = eficiência operacional (%)***4. RESULTADO E DISCUSSÃO****4.1 SEGURANÇA**

O principal aspecto a ser levando em consideração ao operar em áreas de declividade é a segurança. O ponto que defini o quão segura é a operação está relacionado com a capacidade de o equipamento permanecer estável sem força externa do cabo, ou seja, o *Feller* Direcional deve permanecer imóvel, sem deslizos.

O solo tem papel crucial na segurança, mais até que o ângulo de inclinação que o equipamento está submetido. Muitas vezes, o equipamento, mesmo com declividades abaixo de 40° porque não permaneceu estável devido a capacidade de suporte do solo e ou umidade. Fatores que impediram a continuidade da operação levando o equipamento a alterar seu local de trabalho. A máquina ancora deve operar somente se houver o dispositivo de segurança que emite um sinal na cabine do *Feller* Direcional, sinalizando que houve, mesmo que mínimo, um deslocamento da ancora. Isso também é um sinal de que a operação apresenta riscos e deve ser reavaliada as condições de segurança ou mudado de local de colheita, buscando solos mais estáveis.

A tensão do cabo mostrada no painel também é outro indicador de segurança operacional. Quando submetido a picos constantes de carga a vida útil pode ser reduzida e conseqüentemente a segurança da operação é posta em risco. Em condições normais de operação os picos de tensão foram observados em momentos onde a máquina superou obstáculos no talhão, como por exemplo “degraus” (mudança brusca de declividade), conforme Figura 34.

Figura 34: “Degráus” encontrados no terreno que podem causar picos de tensão no cabo.

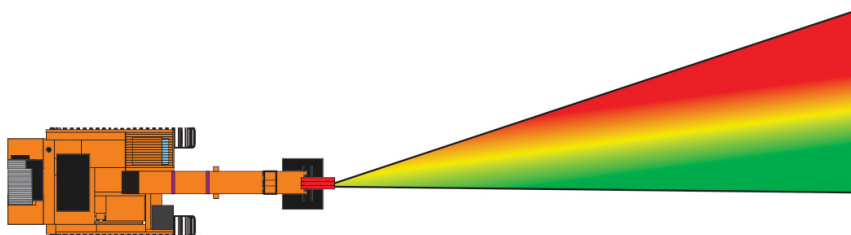


Fonte: o autor.

Por isso, inspeções diárias no conjunto de cabos e correntes deve acontecer, buscando qualquer indicação de avaria no cabo e evitando rupturas nos momentos de operação.

Ainda sobre o cabo, é importante ressaltar que angulações entre a máquina ancora e o *Feller* Direcional são pontos de atenção. De acordo com Steep Slope Initiative (2017) esse ângulo pode ajudar a máquina base a cobrir mais área sem a necessidade de mover a máquina ancora, aumentando assim, a eficiência da operação. Porém, esta angulação tem um limite máximo de acordo com fabricante e modelo do guincho, conforme mostra a Figura 35.

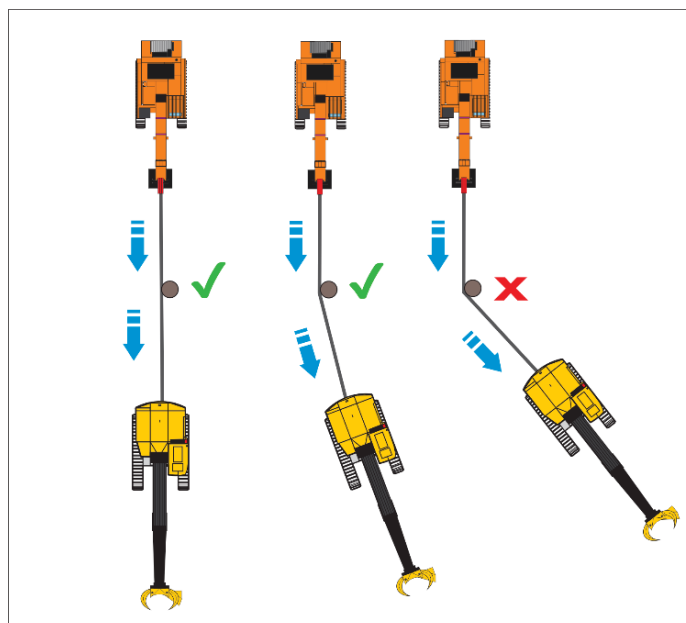
Figura 35: Criticidade do ângulo do cabo formado entre ancora e o *Feller*.



Fonte: o autor.

O importante é evitar o ângulo de deflexão formado pelo cabo do guincho e o equipamento que está na declividade seja elevado. Como por exemplo devido a um enrosco em um toco, conforme mostra a Figura 36. Esse ângulo maior, pode promover um “solavanco” repentino no momento em que o cabo escapa do toco, por exemplo, e conseqüentemente provocar choques de cargas, picos de tensão no cabo e e movimentos descontrolados no *Feller*.

Figura 36: Ângulo do cabo formado devido a um toco, entre a ancora e o *Feller*.



Fonte: o autor.

Outro fator que contribuiu para uma operação segura é o uso de correntes nos primeiros metros a partir da máquina (Figura 37), de modo que estas devem ser robusta e espesas o suficiente para resistir a um eventual contato com o conjunto de corte do cabeçote e também longa o suficiente para evitar que o mesmo tenha contato com o cabo de aço quando o sistema estiver sob tensão e a lança estiver em extensão total. Isso reduz o desgaste dos cabos e reduz as chances de cortar o cabo de assistência com a serra do cabeçote. Ou ainda num eventual contato com a traseira da máquina quando se tem variação brusca de declividade e o ângulo formado entre o corpo da máquina base e o cabo é pequeno o suficiente para que haja o contato.

Figura 37: Uso de correntes nos primeiros metros do *Feller*.



Fonte: o autor.

4.2 OPERACIONAL

Diversos autores e especialistas na área de colheita de madeira não possuem dúvidas ao afirmar que a declividade afeta e limita certas formas de operação. Em estudos relacionados às variáveis que influenciam na produtividade das máquinas na colheita florestal Malinovski et al. (2006) comentam que a declividade é uma das limitantes nas operações, e que quanto maior for a declividade, maiores serão as limitações, e por consequência, menor será a produtividade.

Alguns equipamentos desenvolvidos especialmente para operar em áreas de declividade, como por exemplo o *Harvester* Komatsu 911 X3M conseguem minimizar o impacto da declividade na sua produtividade, mas ainda sim existe uma redução da produtividade. Robert (2013) comenta que o desempenho do *Harvester* 911 X3M chega a um nível apropriado ao de operação em terrenos declivosos para este equipamento, mas que existe a tendência de que a produtividade diminua, mesmo que esta tendência seja ainda assim muito baixa, de acordo com o aumento da declividade.

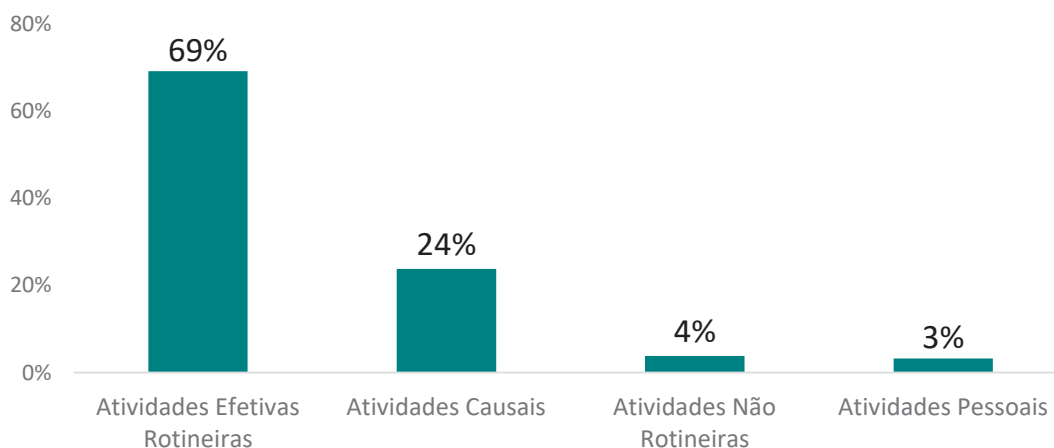
É importante destacar que antes de qualquer operação é importante que todos os envolvidos compreendam as limitações técnicas e mecânicas dos equipamentos, sejam elas, declividades longitudinais, laterais, mecânicas, força de tração, entre outras.

O planejamento da fase operacional é muito importante em qualquer operação, mas se torna muito mais em uma operação auxiliada por guincho. O *Feller* Direcional pode ser a única ou a primeira máquina do sistema a entrar nos blocos de colheita e por este motivo a operação exige um alto nível de planejamento buscando antecipar todas as situações que serão encontradas. É importante definir o local mais seguro para a instalação da ancora, sinalizar eventuais mudanças bruscas de declividades no bloco de colheita, buracos, rochas que podem ocasionar perda de tração, definir o ângulo e posição das árvores derrubadas pensando na atividade seguinte, e outras.

4.3 PRODUTIVIDADES

Após aplicação do teste de estudos e movimentos e observações das atividades desempenhadas durante a operação pode-se quantificar o tempo gasto para cada um dos grandes grupos de atividades. O Gráfico 1 a seguir ilustra uma comparação entre as Atividades desempenhadas durante a coleta de dados.

Gráfico1: Distribuição das atividades.

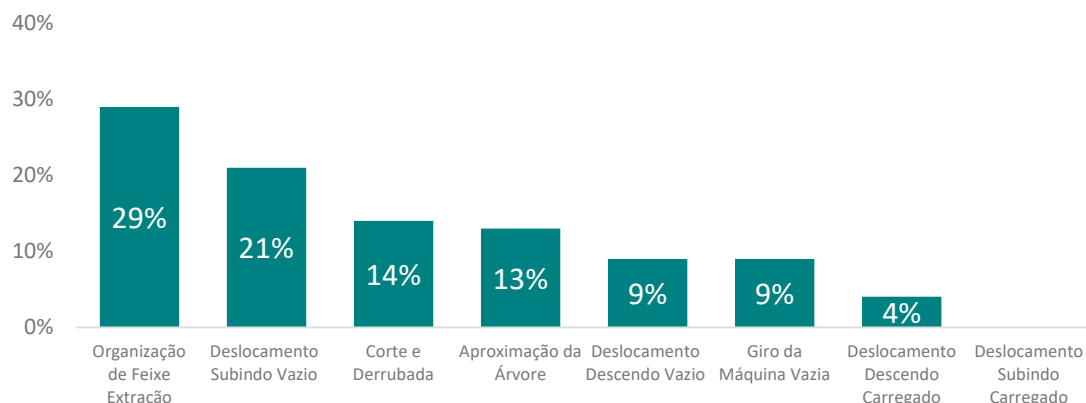


É possível observar que 69% do tempo total gasto na operação foi com as “Atividades Efetivas Rotineiras” (atividades essenciais para que haja produção de madeira). Em seguida, observa-se que as “Atividades Causais” representam 24%. Este percentual está atrelado, principalmente ao uso do tempo para que um auxiliar removesse, de forma manual, o cabo do guincho que ficava preso aos tocos. Outra atividade que forma este percentual é o tempo necessário para que a máquina ancora se reposicionasse a um número determinado de mudanças de oito de colheita. Além disso, paradas mecânicas, trocas de corrente do cabeçote direcional também contribuem para esse grupo. Assim houve mais interrupções no fluxo normal de trabalho, que comprometem o desempenho e produtividade da operação.

Por meio do método de multimomento foi possível, após análise dos dados, visualizar a distribuição das “Atividades Efetivas Rotineiras” conforme distribuição mostrada no Gráfico 2 abaixo:

Gráfico2: Distribuição das atividades efetivas.

Distribuição das Atividades Efetivas



A formação de feixes e extração (Figura 38) representou 29% das atividades efetivas. Identificou-se uma perda de agilidade da máquina ao fazer movimentos com o braço e lança devido ao maior cuidado por parte do operador ao operar em áreas de declividade. Outro fator que contribuiu para que o tempo de organização do feixe e extração foi a dificuldade de coletar as árvores, uma vez que existiam situações onde a mesma deslizava e escorregava devido ao terreno e muitas vezes iam parar em locais que demandavam maior tempo para coletá-las, assim o operador necessitou de mais tempo para organizá-las e então movimentá-las até o próximo feixe de árvores.

Figura 38: *Feller* executando atividade de organização e formação dos feixes.

Fonte: o autor.

Os maiores percentuais gastos com deslocamento subindo vazio que representa 21% e 9% do tempo de deslocamento descendo vazio. Os principais fatores observados, que influenciaram no desempenho da máquina para desenvolver velocidades diferentes no talhão foram a topografia (declividade), marcha utilizada

(mais leve e mais forte) e obstáculos encontrados, tais como: afloramento de rochas, tocos altos, alinhamento do plantio e capacidade de sustentação do solo. Mas o fator preponderante para esta diferença de velocidade é que no momento da subida, o guincho exerce maior ação sobre a máquina base e há necessidade de sincronia e mais força.

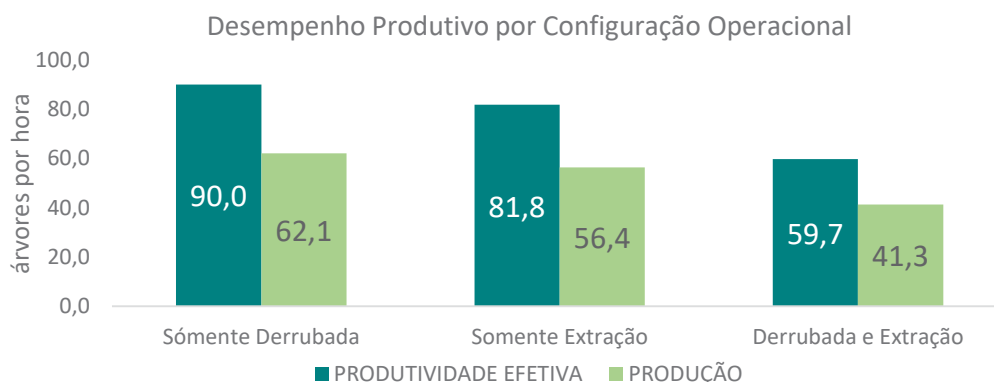
Figura 39: *Feller* durante deslocamento contra a declividade (morro acima).



Fonte: o autor.

Os resultados mostram que a produtividade do equipamento está compatível aos números esperados pela empresa. O Gráfico 3, na sequência, apresenta as 3 formas de operação que o equipamento pode ser aplicado na colheita em áreas inclinadas.

Gráfico3: Desempenho por configuração operacional.



Para o cenário onde o equipamento foi responsável apenas por colher as árvores e posteriormente serem extraídas por outro equipamento como um *Shovel Logger*, *Skidder* ou cabos aéreos, a produtividade efetiva foi de 90 árvores por hora. Ao aplicar a eficiência operacional (69%), tem-se a produção de 62,1 árvores por hora.

Para o cenário onde o equipamento fez inicialmente a derrubada de todas as árvores do talhão e depois retornou para fazer somente a extração num momento oportuno, a produtividade efetiva foi de 81,8 árvores por hora e produção (considerando eficiência de 69%) de 56,4 árvores por hora.

E para o último cenário, a configuração operacional onde o equipamento realizou a atividade de corte e extração, a produtividade efetiva foi de 59,7 árvores por hora. A eficiência operacional para essa configuração foi de 69% e com isso temos uma produção de 41,3 árvores por hora colhidas e disponibilizadas na beira da estrada, morro abaixo.

De acordo com Evanson et. al. (2013), uma operação similar de corte e extração em áreas inclinadas a produtividade efetiva de um *ClimbMAX* foi de 67 arvores por hora ou 40,4 m³/h.

Hunt et.al. (2017) apresenta um estudo de caso onde foi utilizando *Tractionline* para a atividade de corte, formação de feixe e extração em áreas de 80% de declividade alcançou a produtividade de 52,2 árvores por hora ou 57,4 m³/h. O mesmo estudo apresenta a produtividade de 75,9 árvores por hora ou 83,6 m³/h considerando apenas a atividade de corte e formação de feixe.

Evanson et. al. (2010) descreve uma operação de extração com cabos onde as árvores foram derrubadas e agrupadas por um protótipo de *Feller Buncher* em escavadeira para colheita em áreas inclinada. A operação usou um cabo em preso a um tambor de guincho montado em um trator. A declividade média no local do estudo foi de 21°. O estudo mostrou que o *Feller Buncher* derrubou e agrupou 65m³/h com o volume médio de árvore de 1,92 m³.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após coleta e análises dos dados da operação de corte e extração com *Feller* Direcional com guincho de tração auxiliar, operando em declividade média de 40° e distância máxima de extração de 40 metros, pode-se considerar que:

- O equipamento *Feller* Direcional com o guincho de tração auxiliar é tecnicamente indicado para operações em áreas de declividade de 40° a 45°, desde que a máquina tenha capacidade de permanecer estável sem o apoio do guincho.
- Com o equipamento e guincho é possível colher áreas onde outros equipamentos como *Harvesters* e *Forwarders* de pneus com cabo de tração auxiliar não conseguem operar.
- O sistema de colheita com guincho de tração auxiliar se mostra mais seguro do que o corte de árvores com motosserras.
- Sob o aspecto ergonômico, é consideravelmente melhor quando comparado com equipamentos de rodas como *Harvesters* e *Forwarders* sem sistema de nivelamento, por ter um sistema que nivela a máquina base e compensa 20° a inclinação do terreno no sentido longitudinal, proporcionando maior conforto ao operador durante sua jornada de trabalho.
- O solo, juntamente com a declividade e habilidade do operador são os principais fatores que podem restringir a operação. O que determina até que declividade o equipamento pode operar é a capacidade de sustentação do solo e a presença de água (umidade). Desta forma, o solo tem papel crucial na segurança. Mesmo que, tecnicamente a máquina seja capaz de estar a uma determinada declividade, ela só terá segurança se o solo fornecer a estabilidade necessária para que ela permaneça imóvel sem o auxílio de cabos e guinchos de tração. Ou seja, a máquina não poderá deslizar ou mesmo afundar. Caso isso ocorra a segurança da operação está em risco e deve ser interrompida.
- Fatores como VMI, espaçamento, sentido de extração, distância de extração, ângulo de derrubada são os principais influenciadores na produtividade.
- Observou-se que praticamente todas as árvores tinham suas copas quebradas durante a derrubada. Fato explicado pelo cabeçote de corte direcional não ter a capacidade de segurar e colocar as arvores no chão. A quebra das árvores foi potencializada quando a derrubada era feita a favor da declividade.

- O percentual de atividades efetivas rotineiras (atividades que geram produção) durante o estudo foi de 69%, seguido de 24% para atividades causais, 4% para as atividades efetivas não rotineiras e 3% para as atividades pessoais.
- A atividade efetiva que mais despende tempo é a organização de feixes de árvores e extração (29%), seguida de deslocamento subindo vazio (21%), corte e derrubada (14%), aproximação da árvore (13%), deslocamento descendo vazio (9%), giro da máquina (9%), deslocamento descendo carregado (4%). Não houve tempos registrados para deslocamento subindo carregado pois em nenhum momento foram levadas árvores para cima.
- A produtividade efetiva em árvores por hora, se considerarmos as atividades de corte, derrubada e extração, a favor da declividade, em um eito de colheita com 40 metros de distância máxima, foi de 59,7 árvores por hora, o que representa aproximadamente 45,9 m³/h. E a produtividade real foi de 41,3 árvores por hora, o que representa aproximadamente 31,7 m³/h.
- A produtividade efetiva em árvores por hora do equipamento, se considerarmos apenas a atividade de corte em um eito de colheita com 40 metros de distância máxima foi de 90 árvores por hora, o que representa aproximadamente 69,2 m³/h. E a produtividade real foi de 62,1 árvores por hora ou aproximadamente 47,7 m³/h.
- A produtividade efetiva em árvores por hora do equipamento, se considerarmos apenas a atividade de extração em um eito de colheita com 40 metros de distância máxima foi de 81,8 árvores por hora, o que representa aproximadamente 62,2 m³/h. E a produtividade real foi de 56,4 árvores por hora ou 43,4 m³/h aproximadamente.
- O volume médio individual (VMI) das árvores tem grande influência na produtividade do equipamento uma vez o que tempo gasto para realizar o corte/derrubada de uma árvore pequena e uma árvore grande é praticamente o mesmo.

6. REFERÊNCIAS

AMABILIN, V. D. Utilização do Harvester na exploração florestal. In: **Simpósio Brasileiro Sobre Exploração e Transporte Florestal**, 1. 1991. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SIF, 1991. p.349 - 364.

AMISHEV, D., EVANSON, T. AND RAYMOND, K. **Felling and bunching on steep terrain – A Review of the Literature**. Harvesting Technical. Note HTN01-07. Rotorua, New Zealand. Future Forests Research Ltd. 2009.

AMISHEV, D., EVANSON, T. **Innovative methods for steep terrain harvesting**. Forest Engineering: Meeting the Needs of the Society and the Environment. July 2010, Padova – Italy. p. 9.

AMISHEV, D. **New zealand steep terrain harvesting technologies with potential application in western canada**. FPInnovations - Technical Report No. 52. Vancouver, B.C. Canada. 2015. p. 25.

AMISHEV, D. **Steep Slope Feller Buncher: A Feasibility Study**. Report No. FFR- H007. New Zealand, 2011. p. 27.

AMISHEV, D. **Steep slope timber harvesting research in western Canada**. Researcher FPInnovations. Linz, Austria, Oct. 2015.

AMISHEV, D. **Winch-assist technologies available to Western Canada**. FPInnovations - Technical Report No. 37. Vancouver, B.C. Canada, 2016.

ALVES, M. K. L.; FERREIRA, O. O. **Avaliação da etapa de derrubada e processamento de eucalipto para celulose**. Ciência Florestal, Santa Maria, SC, v.8, n.1, p. 23-34. 1998.

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

BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em 1ª rotação**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita de madeira**. 2001. 65 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de harvesters na colheita florestal**. Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 62, p. 62-74, 2002.

BURLA, R. V. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto**. 2008. 79 f. Tese (Pós-Graduação Energia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2008.

CASTRO, G. P. et al. **Análise do desempenho operacional do harvester em floresta clonal de eucalipto sp**. In: XVII SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2014, Campinas, SP. Anais. p. 287-289.

CASTRO, G. C. **Estudo, revisão e discussão de conceitos e temas abordados na colheita florestal mecanizada**. 2011. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Faculdade Jaguariaíva. Jaguariaíva, 2011.

CASTRO, G. P.; MALINOVSKI, J. R.; NUTTO, L.; MALINOVSKI, R. A. **Harvesting Systems**. In: **Tropical Forestry Handbook**. Laslo Pancel and Michael Köhl. (editors). Volume 3, Second Edition. University of Hamburg – Hamburg, Germany. 2016. 2445-2486 p.

CASTRO, G. P.; MALINOVSKI, J. R.; NUTTO, L.; MALINOVSKI, R. A. **Machinery and equipment in harvesting**. In: **Tropical Forestry Handbook**. Laslo Pancel and Michael Köhl. (editors). Volume 3, Second Edition. University of Hamburg – Hamburg, Germany. 2016. 2395-2444 p.

CORREIA, R. J.; CASTRO, G. P.; GORTES, E. P. **Análise comparativa de desempenho entre cabeçotes Waratah 622B e 622C 4x4**. In: XVIII SEMINÁRIO DE COLHEITA E TRANSPORTE DE MADEIRA, 2018, Ribeirão Preto, SP. Anais. p. 85-86.

DYSON, P., BOSWELL, B. **Winch-assisted feller-buncher equipped with a continuous-rotation disc saw: short-term productivity assessment**. FPInnovations - Technical Report No. 46. Vancouver, B.C. Canada. 2016.

Evanson, T. et al. **An evaluation of a climbmax Steep Slope Harvester in Maungataniwha Forest, Hawkes Bay**. Report No. : H013. University of Canterbury - University of Canterbury, Christchurch – New Zealand. 2013 p. 16

FISHER, J. 1999. **Shovel logging: cost effective systems gains ground**. Proceedings of International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium; 1999 March 28-April 1; Corvallis, Oregon: p. 61-66.

FREITAS, K. E. **Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada**. 2005. 27 f. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

Ground carriage Pully-Konrad. Disponível em: <<https://www.forsttechnik.at/en/products/ground-carriage-pully.html>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

Highlander - Konrad. Disponível em: <<https://www.forsttechnik.at/en/products/highlander.html>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

HUBBARD, W.; LATT, C.; LONG, A. **Forest Terminology for Multiple Use Management. The Dictionary of Forestry**. 1998. John A. Helms (editor). 210 p. The Society of American Foresters, 5400 Grosvenor Lane, Bethesda, MD 20814. 16 p. 1998.

Ibá. **Relatório anual Ibá 2018 ano base 2017**, 2018, São Paulo, SP, p. 1-80.

INTERNATIONAL FOREST MAGAZINE – **Uphill battle steep slope logging**. Berkhamsted, United Kingdom, Issue 66, 2019. 44-51 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. **Planejamento**. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2008. cap. 7, p. 185-230.

MACHADO, C.C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, S. R.; **O Setor Florestal Brasileiro e a Colheita Florestal**. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2008. cap. 1, p. 15-42.

MALINOVSKI, J. R. et al. **Sistemas**. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2014. cap. 6, p. 178-205.

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

MALINOVSKI, R. A. et. al. **Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal**. Florestal, Curitiba, PR, v. 36, n. 2, mai/ago. 2006.

MILLIKEN, P. **Steep Slope Logging Conference - Vancouver B.C.** - March 2016. Report No.: H026. Forest Growers Research. Vancouver, Canada 2016. p.20

MOREIRA, F. M. T. **Mecanização das atividades de colheita florestal**. 1998. 25 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

NAILLON, T.; RAPPIN, C. **Best management and operating practices for steep slope machine logging**. Technical Report Number 98-01-2018. March 2018. p. 44.

NEW ZEALAND LOGGER MAGAZINE – **Down to the wire climbmax tested**. Ellerslie, New Zealand, May, 2014. 24-33 p.

North Carolina Forestry BMP Manual, Amended 2006. **Appendix 8: Logging System Descriptions**. September 2006. p. 232-233.

NUTTO, L.; MALINOVSKI, J. R.; CASTRO, G. P.; MALINOVSKI, R. A. **Harvesting Process**. In: **Tropical Forestry Handbook**. Laslo Pancel and Michael Köhl. (editors). Volume 3, Second Edition. University of Hamburg – Hamburg, Germany. 2016. 2363-2394 p.

ODHIAMBO, B. O. **The use of time study, method study and GPS tracking in improving operational harvest planning in terms of sstem productivity and costs**. Thesis (Master of Science in Forestry). University of Stellenbosch. 121 p. 2010.

PARISE, D. J. **Influência dos requisitos pessoais especiais no desempenho de operadores de máquinas de colheita florestal de alta performance**. Curitiba: UFP, 2005, 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2005.

RAYMOND, K. Innovative Harvesting Solutions: **A Steep change harvesting research programme**. New Zealand Journal of Forestry, 55(3): 4-9. 2010.

Remote operated bulldozer. Disponível em: < <https://remotebulldozer.com>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

ROBERT. R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de eucalyptus spp. em duas condições de relevo acidentado**. Tese de Pós-Graduação. UFPR, Curitiba, PR. 2013. 113 p.

ROBERT. R. C. G. **Guia prático de operações florestais na colheita de madeira**. Curitiba: UFPR, 2012. 112 p.

SANT'ANNA, C. M. **Corte**. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. Viçosa: UFV, 2008. cap. 3, p. 66-96.

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

SEIXAS, F.; CAMILO, D. R. **Colheita e transporte florestal** – Notas de aula. Piracicaba ESALQ/USP. 243 p. 2008.

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

Summit's Winch Assist. Disponível em: < <https://www.summitattachments.com/winch-assist>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

TARNOWSKI, B. C.; SCHNEIDER, P. R.; MACHADO, C.C. **Produtividade e custo do processador trabalhando em povoamento de Eucalyptus grandis Hill ex Maiden**. Ciência Florestal, Santa Maria, 1999. v. 9, n. 2, p. 103-115. Universidade Federal de Santa Maria

Tethered logging systems. Disponível em: < <https://www.fs.fed.us/forestmanagement/equipment-catalog/tethered.shtml>>. Acessado em 27 de maio de 2019.

The evolution of steep slope harvesting in Canada. Disponível em: <<https://www.woodbusiness.ca/slope-solutions-4053>>. Acessado em 28 de maio de 2019.

T-winch technical data. Disponível em: <<https://www.ecoforst.at/t-winch-2/technical-data/>>. Acessado em 26 de maio de 2019.

VALENÇA, A. C. V. et al. Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita florestal. **Revista Madeira**, Curitiba, n. 51, p. 46-49, 2000.

√

VISSER, R. **Tension monitoring of a cable assisted machine harvesting**. Technical. Note HTN05-11. Rotorua, New Zealand. Future Forests Research Ltd. 2013.

VISSER, R. **Cable-assist in forest harvesting: developments and operating limits**. School of Forestry, University of Canterbury – Demo 2016. Vancouver, B.C. Canada, 2016.

WADOUSKI, L. H. **Fatores determinantes da produtividade e dos custos na colheita de madeira**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO SOBRE SISTEMAS DE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 10. 1997, Curitiba. Anais. Curitiba: UFPR, FUPEF, 1997. p. 77-84.

Winch assist steep slope technology distributor details. Disponível em: <<http://steepslopeinitiative.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/2015/05/Winch-Assist-Steep-Slope-Technology-Distributor-Details.pdf>>. Acessado em 27 de maio de 2019.