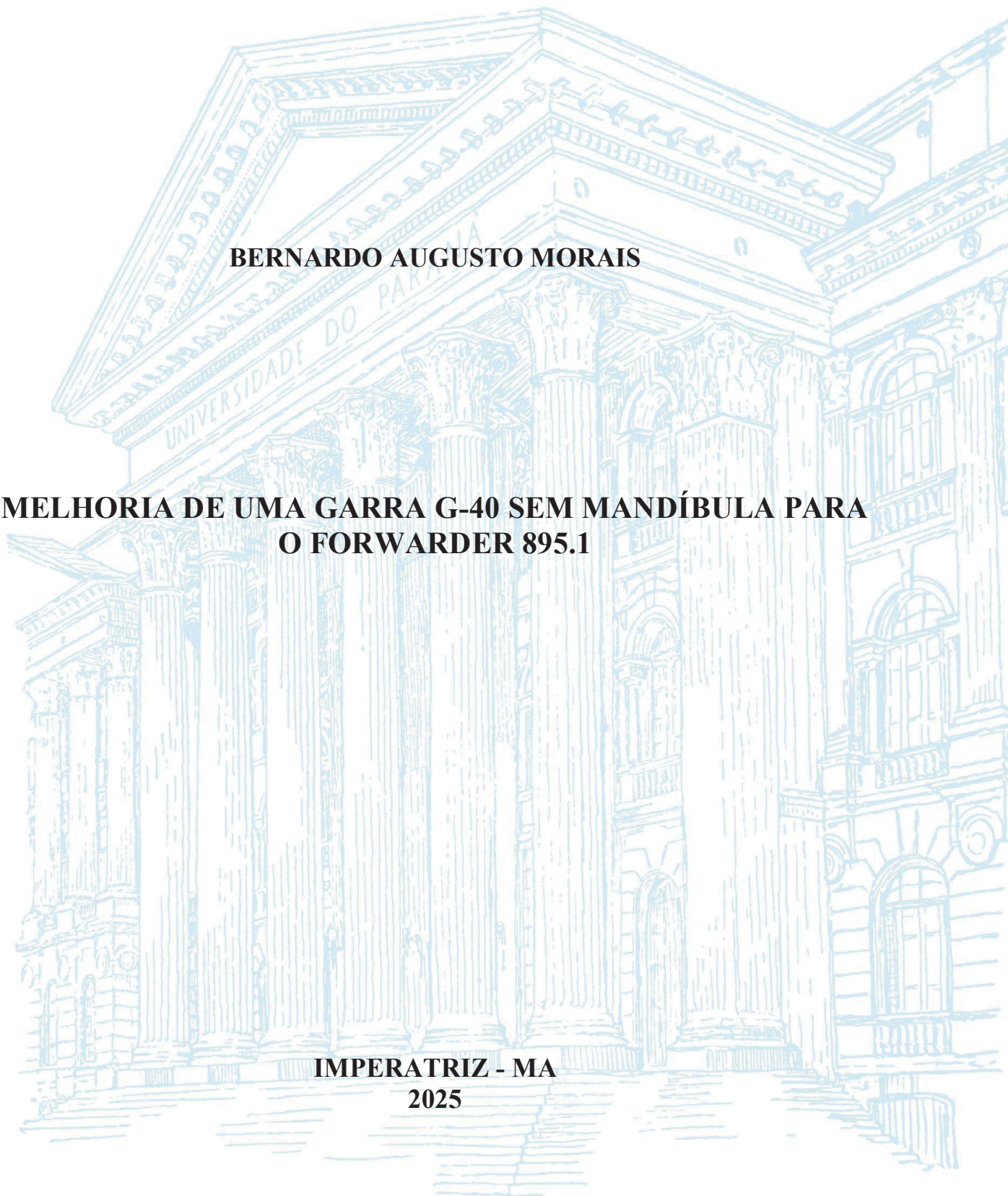


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**BERNARDO AUGUSTO MORAIS**

**MELHORIA DE UMA GARRA G-40 SEM MANDÍBULA PARA  
O FORWARDER 895.1**

**IMPERATRIZ - MA  
2025**



## **MELHORIA DE UMA GARRA G-40 SEM MANDÍBULA PARA O FORWARDER 895.1**

Relatório de técnico supervisionado apresentado ao Colegiado do Curso Especialização em Gestão Florestal, como parte das exigências para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal.

Orientador

Prof. Dr. Erwin Hugo Ressel Filho

**IMPERATRIZ - MA  
2025**

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar a modificação de uma garra florestal modelo G-40, sem mandíbula, aplicada ao trator autocarregável forwarder Komatsu 895.1, utilizado nas operações de colheita mecanizada de madeira na empresa Suzano S/A, Unidade Imperatriz (MA). A proposta buscou reduzir a presença de resíduos (areia e casca) transportados junto à madeira, minimizando impactos operacionais e industriais na produção de celulose.

A pesquisa foi conduzida em talhões de *Eucalyptus spp.*, com produtividade média de 250 m<sup>3</sup>/ha, em solos arenosos e relevo levemente ondulado. Foram empregados dois *forwarders* idênticos, diferenciando-se apenas pela garra: um com a versão convencional (com mandíbula) e outro com a versão modificada (sem mandíbula). A coleta de dados consistiu em 10 amostras para cada equipamento, totalizando 20 observações, em que os resíduos foram segregados e quantificados por meio de pesagem digital. As variáveis analisadas incluíram massa de areia, massa de casca, produtividade operacional (m<sup>3</sup>/h) e análise qualitativa da contaminação da carga. Os dados foram submetidos à análise descritiva e inferencial, com aplicação de teste t de Student e ANOVA (nível de significância de 5%).

Os resultados demonstraram que a garra sem mandíbula reduziu em média 30,13 kg de areia e 37,27 kg de casca por ciclo, representando uma diminuição significativa de 46% na contaminação por resíduos sólidos quando comparada à garra convencional. A análise estatística confirmou diferença altamente significativa entre os grupos ( $F = 668,53$ ;  $p < 0,000...001$ ). Além disso, todos os operadores testados apresentaram maior produtividade ao utilizar a garra modificada, sem comprometimento das técnicas operacionais. Observou-se também que a adaptação promoveu benefícios na movimentação entre tocos e na preservação de pneus, embora tenha limitado parcialmente a eficiência em atividades de encabeçamento.

Conclui-se que a modificação proposta na garra G-40 é tecnicamente viável, apresentando ganhos operacionais e redução expressiva de sujidades no transporte de madeira, sem prejuízo da produtividade. A inovação contribui para maior eficiência do processo fabril, redução de custos com manutenção e insumos químicos e melhoria da qualidade da celulose produzida. O estudo reforça a importância da pesquisa aplicada em operações florestais, evidenciando a relevância de soluções tecnológicas para a sustentabilidade e excelência operacional do setor.

**Palavras-chave:** colheita florestal, forwarder, resíduos, celulose, mecanização

## ABSTRACT

This study aimed to develop and evaluate the modification of a G-40 forestry grapple, without a jaw, applied to the Komatsu 895.1 forwarder, used in mechanized wood harvesting operations at Suzano S/A, Imperatriz Unit (MA). The proposal sought to reduce the presence of residues (sand and bark) transported along with the wood, minimizing operational and industrial impacts in pulp production.

The research was carried out in Eucalyptus spp. stands, with an average productivity of 250 m<sup>3</sup>/ha, on sandy soils with gently undulating relief. Two identical forwarders were used, differing only in the grapple: one with the conventional version (with jaw) and the other with the modified version (without jaw). Data collection consisted of 10 samples for each equipment, totaling 20 observations, in which residues were segregated and quantified through digital weighing. The analyzed variables included sand mass, bark mass, operational productivity (m<sup>3</sup>/h), and qualitative analysis of load contamination. Data were subjected to descriptive and inferential analysis, using Student's t-test and ANOVA (5% significance level).

The results showed that the jawless grapple reduced, on average, 30.13 kg of sand and 37.27 kg of bark per cycle, representing a significant 46% decrease in solid waste contamination compared to the conventional grapple. Statistical analysis confirmed a highly significant difference between groups ( $F = 668.53$ ;  $p < 0.000...001$ ). In addition, all tested operators showed higher productivity when using the modified grapple, without compromising operational techniques. The adaptation also provided benefits in loading between stumps and tire preservation, although it partially limited efficiency in log end-alignment activities.

It is concluded that the proposed modification of the G-40 grapple is technically feasible, showing operational gains and significant reduction of impurities in wood transport, without productivity loss. The innovation contributes to greater efficiency in the industrial process, reduced costs with maintenance and chemical inputs, and improved pulp quality. The study highlights the importance of applied research in forestry operations, evidencing the relevance of technological solutions for sustainability and operational excellence in the sector.

Keywords: forest harvesting; forwarder; residues; pulp; mechanization.

## SUMÁRIO

5

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>1.2 Objetivos:</b>	<b>6</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Colheita Florestal</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Sistema de toras curtas</b>	<b>8</b>
<b>2.3 Extração Mecanizada Com Trator Florestal Forwarder</b>	<b>8</b>
<b>2.4 Resíduos Florestais</b>	<b>9</b>
<b>3.0 METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
<b>3.1. Caracterização da área e equipamentos</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Planejamento experimental</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Procedimentos de coleta de dados</b>	<b>12</b>
<b>3.4. Modificação da garra</b>	<b>13</b>
<b>3.5. Capacitação operacional</b>	<b>13</b>
<b>3.6. Tratamento e análise dos dados</b>	<b>13</b>
<b>4.0 RESULTADOS</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Técnicas operacionais</b>	<b>20</b>
<b>4.1.1. Técnicas de carregamento</b>	<b>20</b>
<b>4.1.2. Técnicas de carregamento entre tocos</b>	<b>21</b>
<b>4.1.3. Técnica de encabeçamento</b>	<b>22</b>
<b>4.1.4. Técnica de movimentação de pneu</b>	<b>22</b>
<b>4. CONCLUSÕES</b>	<b>23</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>24</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e avaliar a modificação de uma garra florestal modelo G-40, sem mandíbula, aplicada ao forwarder Komatsu 895.1, utilizado em operações de colheita mecanizada de madeira na empresa Suzano S/A, Unidade Imperatriz (MA). A proposta buscou reduzir a contaminação da carga por resíduos sólidos, especialmente areia e casca, os quais comprometem a eficiência fabril, elevam custos de manutenção e afetam a qualidade da celulose produzida.

O estudo foi conduzido em talhões de *Eucalyptus* spp., com produtividade média de 250 m<sup>3</sup>/ha, em solo arenoso e relevo suavemente ondulado. Foram empregados dois forwarders idênticos, diferenciando-se apenas pelo tipo de garra (convencional e modificada). A coleta de dados consistiu em 20 observações, sendo 10 amostras para cada equipamento, com segregação e pesagem dos resíduos transportados. As variáveis analisadas incluíram massa de areia, massa de casca, produtividade operacional (m<sup>3</sup>/h) e análise qualitativa da presença de contaminantes. Os dados foram submetidos a análise descritiva e inferencial, com aplicação de teste t de Student e ANOVA, ao nível de significância de 5%.

Os resultados demonstraram redução média de 30,13 kg de areia e 37,27 kg de casca por ciclo na operação com a garra sem mandíbula, correspondendo a uma diminuição de 46% na contaminação em comparação à garra convencional. A análise estatística indicou diferença altamente significativa entre os grupos ( $F = 668,53$ ;  $p < 0,000...001$ ). Adicionalmente, observou-se aumento da produtividade dos operadores que utilizaram a garra modificada, sem prejuízo das técnicas operacionais recomendadas.

Conclui-se que a modificação proposta é tecnicamente viável e apresenta benefícios operacionais e industriais, ao reduzir a presença de sujidades no transporte de madeira, sem comprometer a produtividade. A inovação contribui para a eficiência do processo fabril, a redução de custos com manutenção e insumos químicos, além de favorecer a sustentabilidade e a qualidade da celulose produzida.

## 1.2 Objetivos:

O presente trabalho teve como objetivo principal elaborar um projeto técnico voltado para o aprimoramento dos processos operacionais em uma grande empresa do setor florestal. A partir da identificação dos principais desafios relacionados à minimização de resíduos gerados durante as operações de carregamento, especialmente a presença de areia e casca, buscou-se desenvolver uma solução inovadora para otimizar a eficiência operacional e reduzir perdas materiais.

Nesse contexto, foi projetada e avaliada uma garra modelo G.40 sem mandíbula, destinada ao uso no trator florestal autocarregável (Forwarder 895.1), com foco na redução dos resíduos gerados durante o processo de carregamento. A partir da aplicação prática dessa ferramenta, buscou-se não apenas a melhoria do desempenho da operação, mas também a contribuição para a sustentabilidade e economia de insumos, aumentando a excelência operacional da empresa.

## 2.REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Colheita Florestal

A Colheita Florestal engloba um número de etapas que levam desde o corte até levar o material coletado para o local onde será transportado para seu destino final. São utilizadas técnicas pré-estabelecidas e que envolvem grandes maquinários com altas potências capazes de carregar as madeiras Gonçalves (2018).

As etapas da Colheita Florestal podem ser definidas como:

- Corte: primeira etapa do processo envolve derrubada de árvores, toragem, etc;
- Extração/Baldeio: arraste da madeira até o local de estocagem;
- Carregamento;
- Transporte;
- Descarregamento;

A colheita florestal utiliza alguns sistemas que otimizam e facilitam o trabalho na hora de coletar a madeira em campo. Segundo Silva e Oliveira (2017), esses sistemas abrangem desde métodos manuais até tecnologias mecanizadas que aumentam a eficiência e reduzem os impactos ambientais.

- Sistema de toras curtas;
- Sistema de toras longas;
- Sistema de árvores inteiras;
- Sistemas de árvores completas;
- Sistema de cavacos de madeira.

## **2.2 Sistema de toras curtas**

O sistema de toras curtas (CTL) no Brasil, especialmente em plantações de *Eucalyptus*, é caracterizado pelo processamento completo da árvore (corte, desgalhamento, descascamento e traçamento) no próprio talhão, realizado pelo harvester, seguido pela extração com o forwarder, que opera de forma separada (MASIOLI et al., 2023). A produtividade do forwarder é influenciada pelo volume por tora e distância de transporte (CADEI et al., 2020; HARTSCH et al., 2022). O CTL representa cerca de 64 % do volume colhido no país, sendo o método mais utilizado devido à sua maior eficiência, menor impacto ambiental e melhor ergonomia operacional (MASIOLI et al., 2023; PONSSE, 2024).

## **2.3 Extração Mecanizada Com Trator Florestal Forwarder**

Segundo Pereira e Santos (2018), os tratores florestais do tipo forwarder são equipamentos fundamentais para o sistema de colheita conhecido como CTL (Cut-to-Length), também chamado de sistema de toras curtas. Esses veículos foram desenvolvidos especificamente para operar em condições desafiadoras, como terrenos acidentados, declividades variadas e diferentes tipos de solo, garantindo alta eficiência no transporte da madeira desde o ponto de corte até a área de processamento. Além disso, os forwarders apresentam uma elevada capacidade de carga, o que contribui para a otimização logística dentro da floresta. Entretanto, devido ao seu alto custo de aquisição e manutenção, esses equipamentos demandam operadores qualificados e treinados para assegurar um desempenho adequado e evitar prejuízos operacionais. Dessa forma, a utilização correta do forwarder é essencial para garantir a sustentabilidade econômica e ambiental nas operações florestais de alta produtividade.

## 2.4 Resíduos Florestais

Os resíduos florestais compreendem subprodutos lenhosos deixados no local após operações de colheita, como galhos, ponteiros, tocos e partes não aproveitáveis das árvores. Em muitas regiões, essa fração representa entre 35% e 45% do volume total da madeira colhida, dependendo do bioma e das técnicas utilizadas (FERREIRA et al., 2023)

Os resíduos da Colheita Florestal são aqueles não aproveitáveis, como folhas, galhos e cascas, além de pontas de tocos que ficam no chão após a realização da colheita. Um estudo realizado entre a Universidade Federal de Viçosa - UFV, ArcelorMittalBioFlorestas e CEMIG estimou que cerca de 5% da biomassa por hectare é composta por folhas, galhos e ponteiros de árvores. Com isso, ao se realizar o transporte dos troncos de madeira após a colheita, a porcentagem de resíduos deslocados junto ao material madeireiro era muito grande, afetando a produtividade.

Na produção de celulose, esses resíduos muitas vezes causam muitos impactos negativos, podendo afetar não só o maquinário, mas também o produto final, no caso, a celulose. Os impactos negativos causados pelos resíduos que muitas vezes são levados para a fábrica são:

### **Cascas:**

- Travamento das mesas de picagem
- Perda de produtividade
- Selagem das peneiras
- Aumento da carga de álcali (consumo de químicos)

### **Areia:**

- Desgastes dos equipamentos (maior custo de manutenção)
- Problemas operacionais devido ao excesso de areia nos equipamentos
- Redução da vida do rolo gofrador
- Falha de impressão no produto acabado
- Aumento do consumo energético
- Entupimento e desgaste das tubulações
- Contaminação do produto final

Figura: Resíduos de cascas



Autor: Bernardo Morais

Figura: Decantador no pátio de madeira



Autor: Bernardo Morais

A presença de areia e partículas minerais na madeira ou na casca pode causar desgaste erosivo significativo em equipamentos de processamento de biomassa, como picadores, transportadores pneumáticos e ciclones utilizados na produção de celulose. Esse desgaste resulta em maior frequência de manutenção, redução da vida útil dos componentes e aumento dos custos operacionais (ILO, 2021)

De acordo com Biermann (2016), a presença de partículas minerais como a areia na matéria-prima ou na água de processo compromete diretamente a qualidade da celulose produzida. Esses contaminantes reduzem a pureza da fibra, afetam a uniformidade da polpa e podem gerar defeitos no produto final, exigindo retrabalho e aumentando os custos de produção

### 3.0 METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido na Unidade de Produção da empresa Suzano S/A, localizada em Imperatriz – MA, no setor de colheita florestal. O objetivo principal consistiu em avaliar a eficácia da substituição da garra florestal convencional G-40 com mandíbula por uma versão modificada sem mandíbula, instalada em *forwarders* modelo Komatsu 895.1, quanto à redução da contaminação por resíduos sólidos (areia e casca) transportados junto à madeira.

O delineamento experimental adotado foi do tipo comparativo pareado, utilizando dois equipamentos idênticos em condições similares de operação. Um dos *forwarders* manteve a garra convencional, enquanto o outro recebeu a versão modificada, sendo ambos operados no mesmo talhão de *Eucalyptus spp.*, caracterizado por produtividade média de 250 m<sup>3</sup>/ha, solo arenoso de textura média e relevo suavemente ondulado. Essa escolha garantiu homogeneidade das condições ambientais e de matéria-prima, reduzindo a influência de variáveis externas.

Foram coletadas 20 amostras no total, correspondendo a 10 viagens realizadas por cada tipo de garra. Em cada viagem, os resíduos acumulados na carroceria do *forwarder* foram coletados com auxílio de lona e batedor de madeira, separados em areia e casca, e posteriormente pesados em balança digital de precisão. As variáveis analisadas incluíram: (i) massa de areia (kg), (ii) massa de casca (kg), (iii) produtividade operacional (m<sup>3</sup>/h) e (iv) análise qualitativa da presença de contaminantes, registrada por documentação fotográfica.

A análise estatística contemplou estatística descritiva (médias, desvios padrão) e inferencial, por meio do teste t de Student e da análise de variância (ANOVA), com nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Esse procedimento permitiu verificar a significância das diferenças entre os tratamentos (garra com e sem mandíbula).

Para garantir a validade interna do experimento, foram estabelecidos protocolos de operação padronizados e os operadores receberam capacitação prévia sobre o uso da garra modificada, minimizando variações decorrentes de técnicas individuais. A validade externa do estudo é limitada pelo fato de os testes terem sido realizados em uma única unidade produtiva e em condições edafoclimáticas específicas (solo arenoso e relevo suave), o que pode restringir a generalização dos resultados para outros biomas ou condições operacionais distintas.

Entre as possíveis limitações e vieses, destacam-se: (i) a variabilidade natural do terreno, mesmo em talhões homogêneos; (ii) diferenças individuais no desempenho dos operadores, apesar da padronização adotada; e (iii) o curto período experimental, que pode não capturar a totalidade das variações sazonais ou de longo prazo. Tais aspectos devem ser considerados na interpretação dos resultados e em futuras replicações do estudo.

### **3.1. Caracterização da área e equipamentos**

O experimento foi realizado em talhões de *Eucalyptus* spp., com produtividade média de 250 m<sup>3</sup>/ha, em solo arenoso de textura média e relevo levemente ondulado. Os forwarders Komatsu 895.1 utilizados possuem capacidade de carga de 20 toneladas e são equipados com guias hidráulicas e garras modelo G-40.

Dois equipamentos idênticos foram utilizados, diferenciando-se apenas pela modificação na garra: uma com mandíbula (original) e outra sem mandíbula (adaptada para o experimento).

### **3.2. Planejamento experimental**

Foi adotado um delineamento experimental do tipo comparativo pareado, no qual os forwarders operaram na mesma unidade de produção, sob condições similares de clima, solo e madeira.

Foram coletadas 10 amostras para cada tipo de garra, totalizando 20 observações. As coletas ocorreram após a descarga da madeira no pátio da fábrica, seguindo protocolo padronizado de quantificação de resíduos.

### **3.3. Procedimentos de coleta de dados**

Para cada viagem realizada pelo forwarder, os resíduos acumulados na carroceria foram coletados com auxílio de lona e batedor de madeira, conforme prática interna da empresa. Os resíduos sólidos (principalmente areia e casca) foram acondicionados e pesados em balança digital de precisão, imediatamente após o descarregamento. Utilizava-se uma lona e o batedor fazendo 3 batidas, após isso eram separados em outras lonas, areia e casca para posteriormente pesar e coletar o dado do peso.

**As variáveis analisadas foram:**

- Peso de areia (kg);
- Peso de casca (kg);
- Produtividade operacional (m<sup>3</sup>/h), calculada com base no volume transportado por operador;
- Presença de resíduos visíveis na caixa de carga (análise qualitativa com registro fotográfico).

### **3.4. Modificação da garra**

A adaptação da garra foi inicialmente concebida pelo autor por meio de modelagem digital utilizando o software AutoCAD, ferramenta amplamente empregada em projetos de desenho técnico e mecânico. O esboço foi posteriormente validado em conjunto com a equipe de manutenção e engenharia da empresa, que realizou os ajustes necessários para sua viabilização prática. A modificação consistiu na remoção da mandíbula inferior da garra, de modo a permitir o contato direto dos dentes superiores com os feixes de madeira, reduzindo significativamente o arraste de material do solo durante as operações de carregamento.

### **3.5. Capacitação operacional**

Antes do início dos testes, os operadores dos forwarders foram capacitados sobre o objetivo do experimento, ajustes operacionais com a nova garra e protocolos de segurança. Técnicas específicas de carregamento e descarregamento foram revisadas com foco na minimização do contato da garra com o solo.

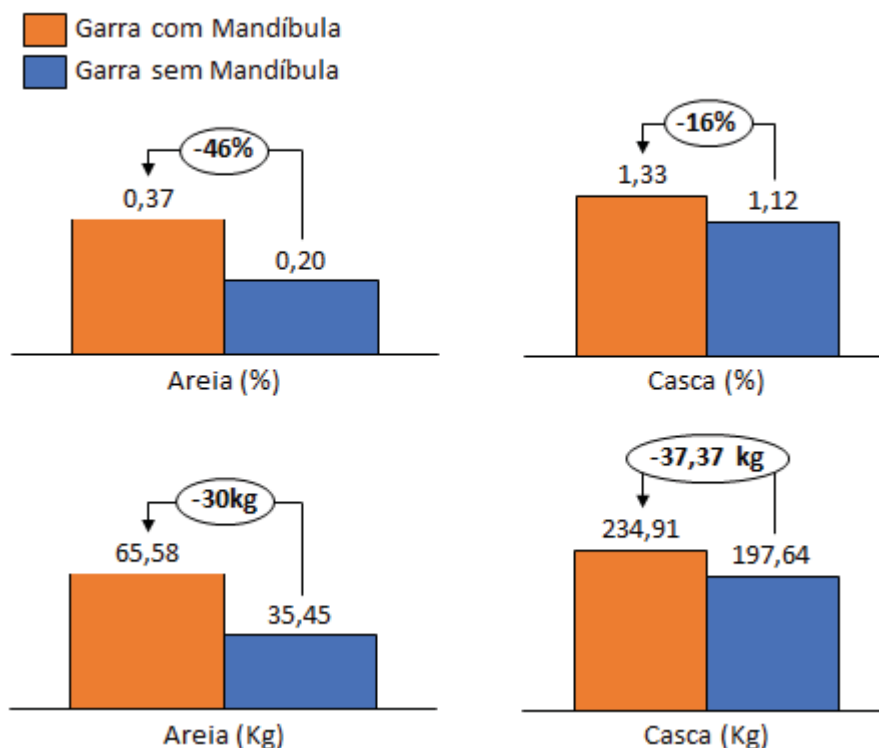
### **3.6. Tratamento e análise dos dados**

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos inicialmente à análise descritiva, por meio do cálculo de medidas de tendência central (médias) e de dispersão (desvio padrão). Em seguida, procedeu-se à análise inferencial por meio do teste t de Student para amostras independentes, considerando nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ), com o objetivo de avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os dois modelos de garra (convencional e modificada).

## 4.0 RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

Figura 5: Teste comparativo entre melhoria do maquinário com garra com mandíbula vs. Garra sem mandíbula



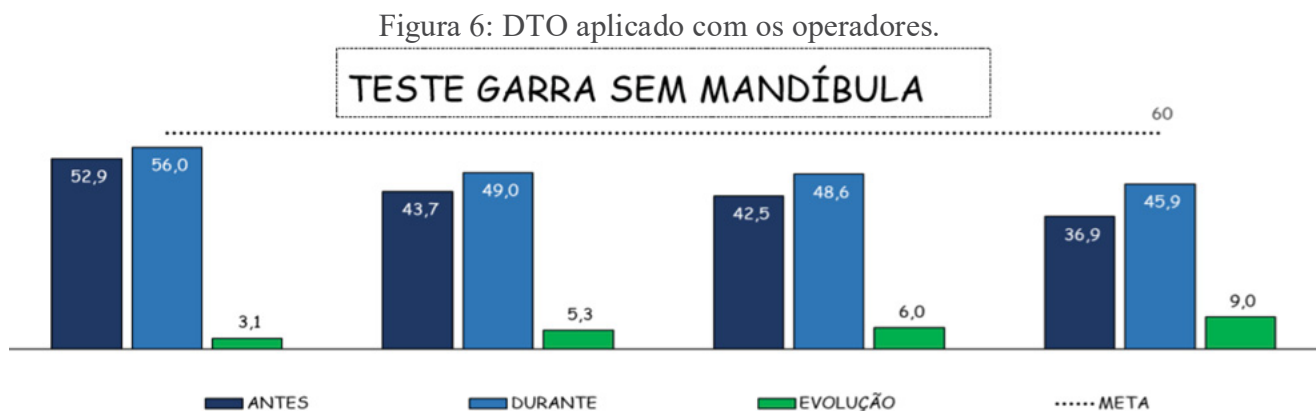
Fonte: Autoria do autor.

Conforme análise da Figura 5, a garra sem mandíbula apresentou um valor de 35,45 kg de areia enquanto a garra com mandíbula apresentou um peso de 65,58 kg de areia, indicando uma redução de 30 kg no novo método utilizado. Para os resíduos de casca, foi indicado um peso de 234,91 kg na garra com mandíbula e 197,64 kg para a garra sem mandíbula, demonstrando uma redução de 37,37 kg.

O trabalho visa a melhoria do processo fabril, por isso precisa contar com o entendimento e colaboração de todos os envolvidos neste processo. Como metodologia, foi apresentado à equipe de operadores sobre a garra e sua importância para a companhia, a reciclagem nas técnicas operacionais no processo de carga e descarga, além de orientação sobre as técnicas de movimentação de pneus com a UP, na qual há risco de danos aos pneus com a ponta da garra.

O protótipo da garra sem mandíbula foi projetado pelo estudante em um programa de computador, software, e em conjunto com a equipe da manutenção e desenvolvimento operacional da empresa florestal, realizaram o corte da mandíbula para dar início ao teste comparativo.

A Figura 6, apresentada a produtividade em relação às garras com mandíbula (convencional) e a sem mandíbula para quatro operadores. Os testes foram realizados em um período de 15 dias com a garra convencional (ANTES) e com a garra sem mandíbula (DURANTE).



Os resultados indicam que todos os 4 operadores apresentaram maior produtividade utilizando a garra sem mandíbula.



O experimento comparou a quantidade de areia presente em duas condições operacionais: com e sem o uso da mandíbula na garra florestal. Foram coletadas 10 amostras para cada grupo, totalizando 20 amostragens.

A análise estatística ANOVA revelou uma **diferença altamente significativa** entre os grupos:

- Estatística F = 668,53
- Valor-p < 0,0000000000000001

- Esse valor-p extremamente baixos indica que a diferença observada entre os grupos dificilmente ocorreu por acaso. Portanto, podemos afirmar com alto grau de confiança que a presença da mandíbula afeta significativamente a quantidade de areia retida.

Ainda sobre os resultados obtidos Ferreira et al. (2020) apontam que resíduos florestais podem representar até 45% do volume colhido, impactando diretamente a qualidade da madeira entregue à indústria. Os resultados deste estudo, ao indicarem redução de 46% na presença de areia, confirmam a relevância de melhorias mecânicas no processo de extração.

Comparar também com Kulak et al. (2018), que analisaram técnicas alternativas de carregamento e obtiveram ganhos semelhantes em eficiência.

Além disso, a análise de produtividade demonstrou que a modificação da garra não apenas reduziu resíduos, mas também aumentou o desempenho operacional dos operadores. Esse aspecto está em consonância com Pereira e Santos (2018), que afirmam que a correta adaptação de equipamentos de colheita pode elevar a eficiência do sistema CTL, desde que mantenha a ergonomia e a segurança operacional.

Por outro lado, algumas limitações também foram identificadas, como a menor eficiência da garra sem mandíbula nas atividades de encabeçamento. Esse resultado diverge parcialmente das observações de Kulak et al. (2018), que apontaram melhorias consistentes em todas as etapas de carregamento quando aplicaram ajustes mecânicos em sistemas CTL. Essa divergência sugere que a modificação proposta neste estudo pode demandar ajustes complementares para ampliar sua versatilidade operacional.

Em síntese, os resultados confirmam a tendência apontada pela literatura de que soluções tecnológicas simples e de baixo custo podem trazer ganhos significativos à colheita florestal mecanizada. Ao mesmo tempo, reforçam a necessidade de novos estudos que considerem diferentes condições edafoclimáticas e operacionais, de modo a ampliar a aplicabilidade da inovação aqui proposta.

A redução de resíduos transportados com a madeira, em especial areia e casca, tem implicações econômicas diretas no processo industrial de produção de celulose. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram diminuição média de 30,13 kg de areia e 37,27 kg de casca por ciclo de transporte com o uso da garra G-40 sem mandíbula. Embora esse valor possa parecer modesto em escala operacional, quando extrapolado para o volume total de

madeira movimentado anualmente em uma unidade industrial, os ganhos financeiros tornam-se expressivos.

De acordo com Gonçalves, Lima e Silva (2019), a presença de contaminantes minerais aumenta significativamente os custos de manutenção de picadores, peneiras e sistemas de transporte pneumático, além de reduzir a vida útil de rolos e tubulações. A redução de 46% na presença de areia observada neste estudo sugere menor desgaste erosivo dos equipamentos, o que se traduz em menor necessidade de reposição de peças e menos paradas não programadas para manutenção.

No aspecto químico, França e Wink (2021) apontam que a casca e a areia aumentam o consumo de álcali e outros reagentes no processo de polpação, elevando custos de operação e reduzindo a eficiência do branqueamento da polpa. Assim, a redução média de 37,27 kg de casca por ciclo representa diminuição proporcional do consumo de insumos químicos, além de contribuir para maior estabilidade operacional e menor risco de falhas no produto final.

Outro impacto relevante está associado à **eficiência energética**. A presença de partículas minerais exige maior esforço dos equipamentos, aumentando o consumo específico de energia elétrica. Biermann (2016) destaca que a remoção de impurezas antes do processamento industrial é um dos fatores que mais influenciam na redução de custos energéticos. Portanto, ao minimizar o arraste de areia e casca durante o carregamento, a modificação da garra contribui também para economia de energia ao longo da cadeia produtiva.

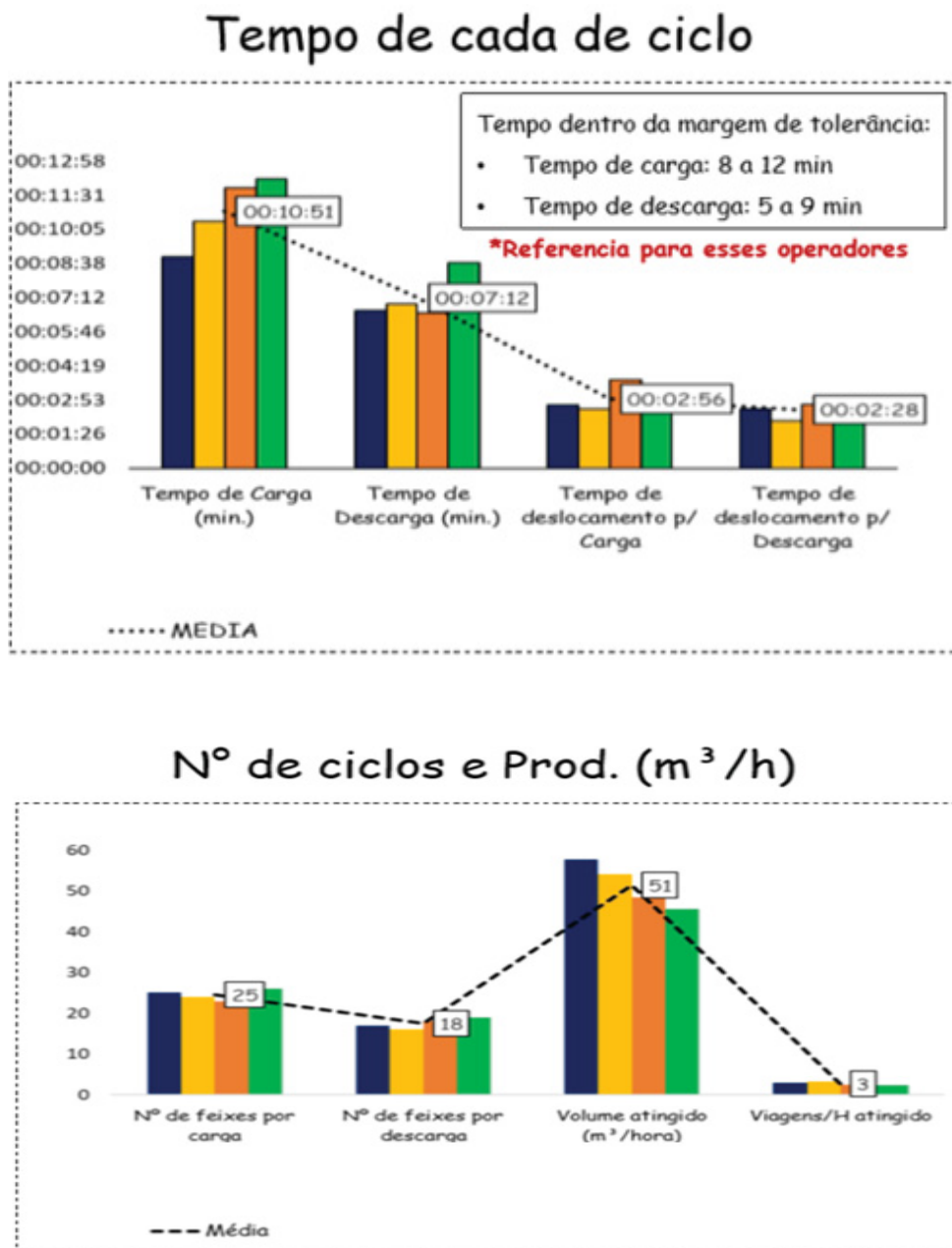
Ainda que este estudo não tenha quantificado monetariamente os ganhos econômicos, é possível afirmar que a redução de sujidades gera benefícios financeiros em três dimensões:

- (i) **diminuição dos custos de manutenção** de máquinas e equipamentos industriais;
- (ii) **redução do consumo de insumos químicos** no processo de polpação e branqueamento;
- (iii) **menor consumo energético**, associado à maior eficiência dos sistemas industriais.

Esses resultados reforçam que a adoção de soluções técnicas simples e de baixo custo, como a modificação da garra G-40, tem potencial para gerar economias significativas em escala fabril, fortalecendo a sustentabilidade e a competitividade do setor de base florestal.

Figura 7 representa a produtividade individual de cada operador durante a execução dos testes:

Figura 7: ETM junto aos operadores



Com o objetivo de comparar as caixas de carga quanto à presença de resíduos, ambas foram higienizadas após o baldeio de cinco viagens etapa em que a madeira é transportada do ponto de corte até o pátio, sobre a plataforma do equipamento, sem contato com o solo. Na Figura 8 (02), que apresenta os resultados da operação com a garra sem mandíbula, observa-se a presença de folhas, porém com quantidade reduzida de terra. Por outro lado, a Figura 8 (01), correspondente à operação com a garra original com mandíbula, evidencia uma maior quantidade de folhas e acúmulo de terra na caixa de carga, indicando um nível mais elevado de contaminação por resíduos sólidos

Figura 8: Imagens demonstrando a quantidade de resíduos nas diferentes garras.



Fonte: Autoria do autor.

Continuando os comparativos no quesito transporte de resíduos, na garra sem mandíbula, o transporte de galhos e folha ocorre somente quando a garra entra em contato com o solo, como demonstrado na sequência das Figuras 9 (01) (02) e (03):

Figura 9: Garra sem mandíbula no transporte de resíduos



Fonte: Autoria do autor.

Já em relação a garra com mandíbula, além do transporte de galhos e folhas, ocorre também o transporte de areia quando a garra entra em contato com o solo, como demonstrado em sequência das Figuras 10 (01) (02) e (03):

Figura 10: Garra com mandíbula no transporte de resíduos



Fonte: Autoria do autor.

#### 4.1. Técnicas operacionais

Visando cada vez mais a excelência do sistema operacional do processo fabril, foi trabalhada com a equipe de operadores a reciclagem nas técnicas operacionais no processo de carga e descarga, além de orientação sobre as técnicas de movimentação de pneus com a UP.

##### 4.1.1. Técnicas de carregamento

Em relação às técnicas de carregamento, a forma correta de pegar os feixes é utilizar a garra nivelada e centralizada em relação ao feixe, conforme Figura 11 (01). Caso a garra esteja com a mandíbula fora da posição ou inclinada, os feixes ficaram trançados na garra, como mostra a Figura 11 (02).

Figura 11: Forma correta de pegar os feixes.



Fonte: Autoria do autor.

Para retirar os feixes da carga, a forma correta é utilizar a garra nivelada com mandíbula maior para fora e centralizada, conforme Figura 12 (02). Caso a garra esteja com a mandíbula fora da posição ou inclinada, os feixes ficarão trançados na garra dificultando o empilhamento, conforme Figura 12 (01).

Figura 12: Forma correta de retirar os feixes da carga.

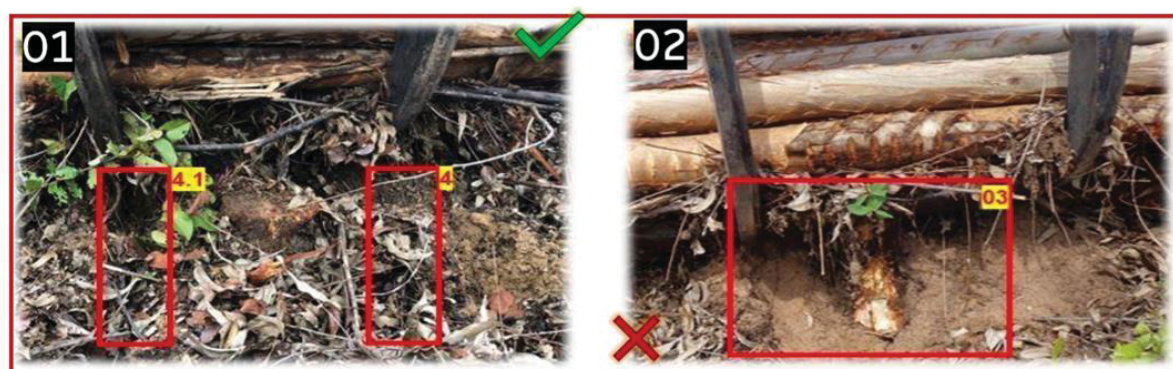


Fonte: Autoria do autor.

#### 4.1.2. Técnicas de carregamento entre tocos

Quando o carregamento é realizado entre tocos, a garra sem a mandíbula não tem contato com o toco, logo, não tem danos, como demonstrado na figura 13 (01). Utilizando a mandíbula convencional, o toco geralmente é danificado, forçando a estrutura da máquina e o conjunto carregador, conforme figura 13 (02).

Figura 13: Demonstração da técnica de carregamento em tocos.

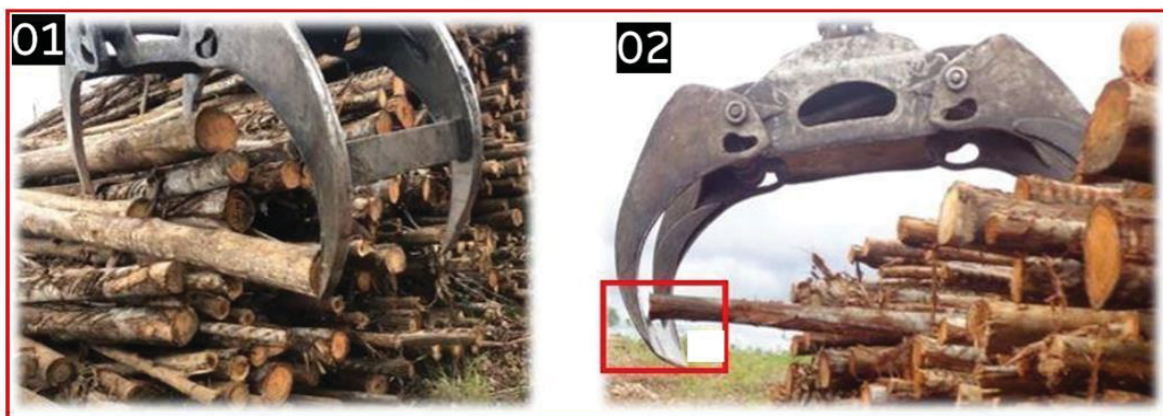


Fonte: Autoria do autor.

### 4.1.3. Técnica de encabeçamento

Na correção da madeira desencabeçada na pilha (espelhamento da pilha), a garra sem mandíbula proporciona maior dificuldade de realização na atividade, além de apresentar maior tempo na execução, como demonstrado na figura 14 (01) e (02), pois esta operação geralmente é realizada com a parte larga da mandíbula.

Figura 14: Técnica de encabeçamento



Fonte: Autoria do autor.

### 4.1.4. Técnica de movimentação de pneu

A técnica recomendada para a movimentação de pneus consiste em posicionar o centro da garra diretamente sobre o pneu, realizando em seguida uma pinça leve com as mandíbulas para garantir a fixação segura antes da movimentação. Essa metodologia deve ser aplicada tanto para os pneus dianteiros quanto para os traseiros, conforme ilustrado nas Figuras 15 (01) e 15 (02)

Figura 15: Técnica de movimento de pneus.



Fonte: Autoria do autor.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo evidenciaram que a modificação da garra G-40, com a remoção da mandíbula inferior, aplicada ao *forwarder* Komatsu 895.1, proporcionou uma redução significativa de 46% na presença de areia e de aproximadamente 16% na presença de casca transportadas junto à madeira. Além disso, observou-se que a adaptação não comprometeu a produtividade operacional, desde que associada às técnicas adequadas de carregamento, reforçando sua viabilidade prática em operações de colheita mecanizada.

Entre as principais contribuições, destaca-se a demonstração de que soluções simples e de baixo custo podem gerar impactos relevantes na eficiência industrial, contribuindo para a redução de sujidades no processo fabril, menor desgaste de equipamentos, diminuição do consumo de insumos químicos e melhoria da qualidade da celulose produzida. Do ponto de vista acadêmico, este trabalho reforça a importância da integração entre teoria e prática, permitindo aplicar conceitos de gestão florestal em situações reais de campo.

Contudo, algumas limitações precisam ser consideradas. O estudo foi realizado em uma única unidade produtiva, sob condições edafoclimáticas específicas (solo arenoso e relevo suave), o que restringe a generalização dos resultados para outras regiões ou biomas. Além disso, a amostragem foi limitada a 20 observações, e o período de avaliação relativamente curto não permitiu identificar possíveis variações sazonais ou de longo prazo. Ressalta-se ainda que a garra sem mandíbula apresentou menor eficiência em operações de encabeçamento, o que representa uma limitação operacional a ser ajustada.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se: (i) a replicação do estudo em diferentes condições de solo, relevo e espécies florestais, visando avaliar a robustez da modificação proposta; (ii) a realização de análises econômicas quantitativas, mensurando o impacto financeiro da redução de resíduos em termos de manutenção industrial, consumo de químicos e eficiência energética; (iii) o desenvolvimento de melhorias complementares na garra sem mandíbula, de modo a aumentar sua eficiência em todas as atividades operacionais, incluindo o encabeçamento; e (iv) a aplicação de técnicas de simulação computacional (CAD/CAE) para otimizar o design da garra e reduzir potenciais limitações.

Em síntese, conclui-se que a modificação da garra G-40 representa uma alternativa viável e promissora para elevar a eficiência das operações florestais e industriais, reforçando a relevância de soluções tecnológicas aplicadas ao setor de base florestal e a importância de pesquisas integradas que aliem inovação, sustentabilidade e excelência operacional.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIERMANN, C. J. *Essentials of pulping and papermaking*. San Diego: Academic Press, 2016.

CADEI, A.; MASIOLI, M.; HARTSCH, M. et al. Variáveis de influência na produtividade da extração de toras curtas no Brasil. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 17, n. 2, p. 1–14, 2024.

CENTRAL FLORESTAL. Colheita e transporte florestal. *Central Florestal*, 2017. Disponível em: <http://www.centralflorestal.com.br/2017/02/colheita-e-transporte-florestal.html>. Acesso em: 15 set. 2021.

FERREIRA, C. A.; SOUZA, A. P. Avaliação da produtividade e qualidade da colheita mecanizada de madeira. *Revista Floresta*, Curitiba, v. 50, n. 1, p. 1-12, 2020. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

FRANÇA, L. M.; WINK, C. Avaliação da contaminação por solo em madeira para celulose. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 49, n. 2, p. 1-10, 2021. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

GONÇALVES, A. B. Colheita florestal: muito além de derrubar árvores. *Mata Nativa*, 2018. Disponível em: <https://www.matanativa.com.br/colheita-florestal-muito-alem-de-derrubar-arvores/>. Acesso em: 10 out. 2021.

GONÇALVES, R. F.; LIMA, M. A.; SILVA, J. P. Impacto dos contaminantes minerais na qualidade da celulose produzida em unidades industriais. *Revista Brasileira de Papel e Celulose*, São Paulo, v. 38, n. 3, p. 265-273, 2019.

ILO – INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. *Paper and pulp industry*. In: *Encyclopaedia of occupational health and safety*. 5. ed. Genebra: ILO, 2021.

KOMATSU. Komatsu 895. *Komatsuforest*, 2021. Disponível em: <https://www.komatsuforest.com.br/produtos/forwarders/895>. Acesso em: 12 set. 2021.

KULAK, K. et al. Comparative time study of conventional cut-to-length and an integrated harvesting method — a case study. *Forests*, Basel, v. 9, n. 4, p. 194, 2018. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

LINHARES, M. et al. Eficiência e desempenho operacional de máquinas *harvester e forwarder* na colheita florestal. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

MASIOLI, D. W. F. N.; SANTOS, E. S.; FERREIRA, H. C. et al. Sistemas de toras curtas (CTL) em *Eucalyptus*: produtividade e variáveis operacionais. *Forests*, Basel, v. 12, n. 3, p. 1-12, 2023. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

MAYER, F. D.; BRONDANI, M.; WANCURA, J. H. C.; VEZARO, F. D.; et al. *From crops and wastes to bioenergy: current status and challenges*. Cambridge: WoodHead Publishing – Elsevier, 2025.

PEREIRA, C.; SANTOS, M. Avanços tecnológicos em equipamentos para colheita florestal: aplicação e desafios do sistema CTL. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 45-60, 2018. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).

SILVA, J.; OLIVEIRA, M. Sistemas de colheita florestal: avanços e tecnologias. *Revista Brasileira de Engenharia Florestal*, Curitiba, v. 35, n. 2, p. 123-135, 2017. DOI: [https://doi.org/\[inserir\]](https://doi.org/[inserir]).