



THAYNARA ANDRADE LOPES

**ESTUDO DE APONTAMENTOS NA DISPONIBILIDADE
MECÂNICA E A EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM
TRATORES DE ESTEIRA E ESCAVADEIRA HIDRÁULICA
NO PREPARO DE SOLO**

**LAVRAS-MG
2022**

THAYNARA ANDRADE LOPES

**ESTUDO DE APONTAMENTOS NA DISPONIBILIDADE MECÂNICA E A
EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM TRATORES DE ESTEIRA E ESCAVADEIRA
HIDRÁULICA NO PREPARO DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de
Bacharela.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

Ma.Fernanda Leite Cunha
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2022**

THAYNARA ANDRADE LOPES

**ESTUDO DE APONTAMENTOS NA DISPONIBILIDADE MECÂNICA E A
EFICIÊNCIA OPERACIONAL EM TRATORES DE ESTEIRA E ESCAVADEIRA
HIDRÁULICA NO PREPARO DE SOLO**

**STUDY OF NOTES ON MECHANICAL AVAILABILITY AND OPERATIONAL
EFFICIENCY IN CRAWLER TRACTORS AND HYDRAULIC EXCAVATORS IN
SOIL PREPARATION**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Engenharia
Florestal, para a obtenção do título de
Bacharela.

APROVADO em 20 de abril de 2022.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo

Ma. Fernanda Leite Cunha

Aline Renata Klitzke

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

Ma. Fernanda Leite Cunha
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, pois sei que sem Ele nada do que vivi teria sido tão especial.

Agradeço com todo amor e carinho, a minha família, por sempre apoiarem minhas escolhas e comemorarem todas as minhas conquistas. Mãe, Pai e Misa, vocês foram fundamentais para a realização de mais esse sonho.

Agradeço a vó Maria por sempre me ensinar a ser uma pessoa forte e enxergar o lado bom da vida mesmo nos momentos de dificuldade.

Agradeço aos demais familiares, avós, tios, primos, por acreditarem que eu seria capaz.

Agradeço ao Brunno, Andreia e Chelber por todo apoio e ensinamento.

Agradeço minhas melhores amigas, Nicoliee e Camila Sofia, por sempre me incentivarem e estarem ao meu lado desde sempre e para sempre.

Agradeço aos meus amigos(as) floresteiros(as), que foram companhias espetaculares. Vocês tornaram mais leve e prazerosa a minha experiência no curso. Em especial à Ana Luiza, Joana, Kevyn, Naila e Mário, que me ajudaram em todos os momentos.

Agradeço aos meus amigos, Anatoly, Artur, Gabriel, Bruna e Gustavo por sempre me fazer acreditar que tudo seria possível, mesmo quando tudo parecia fugir do controle.

Agradeço aos meus gestores Luane Aline pela oportunidade de estagiar na área de Silvicultura e a toda a equipe, em especial à Alessandra, Laís e Douglas. Obrigada por confiarem e acreditarem em mim, tive a sorte grande de trabalhar em uma equipe composta por pessoas incríveis que sempre me apoiaram, vocês tiveram um papel fundamental na minha vida pessoal e profissional.

Agradeço aos meus amigos da pensão da Terezinha e de Lages, por todo acolhimento e parceria, sem vocês morar longe de casa não teria sido uma experiência tão única.

Ao Lucas Amaral e a Fernanda Leite pelas orientações e conselhos que contribuíram para a conclusão deste trabalho.

A vida é feita de coleções e nesse período, colecionei muitas histórias para contar. Todas as pessoas que fizeram parte da minha trajetória, me trouxeram ensinamentos e me ajudaram a construir a minha melhor versão.

RESUMO

O conhecimento da capacidade produtiva e das variáveis que interferem no rendimento das máquinas é fundamental para a otimização das operações no setor florestal. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho operacional e as principais perdas mecânicas e operacionais do trator de esteira e escavadeira hidráulica, ao longo de seis meses, nas atividades de preparo do solo e limpeza de resíduos. Foram coletados o número de horas de produção, perdas mecânicas e operacionais, através de um aplicativo de Produção e Eficiência, instalado nas máquinas. A partir dos dados coletados, foram calculadas as horas totais de trabalho, eficiência operacional e disponibilidade mecânica das máquinas, analisadas em função dos meses de estudo. Os tratores de esteira apresentaram uma média de 167,2 horas de trabalho efetivo, enquanto que as escavadeiras hidráulicas apresentaram cerca de 171,6 horas. Apenas as horas de perdas operacionais, para os tratores de esteira, apresentaram diferenças significativas, ao longo dos meses, em que o mês com maior pluviosidade, apresentou maior perda operacional. A eficiência operacional média foi de 71,8% para escavadeiras e 69,4%, para tratores de esteira, em que todos os meses apresentaram médias acima do recomendado de 56%. Para a disponibilidade mecânica a média foi de 85,7 e 86,7 para escavadeiras e tratores de esteira, respectivamente, sendo que a escavadeira hidráulica e os tratores apresentaram dois e três meses abaixo da meta recomendada de 85%. Dessa forma foi observado que a alta pluviosidade pode reduzir a eficiência operacional do trabalho em campo, e que é necessário estudar as principais causas das perdas de disponibilidade mecânica, para aumentar o rendimento dos equipamentos nas atividades de preparo de solo e limpeza de resíduos.

Palavras chave: Análise de qualidade. Subsolação. Mecanização florestal.

ABSTRACT

The knowledge of the productive capacity and the variables that interfere in the performance of the machines is fundamental for the optimization of the operations in the forestry sector. The aim of this work was to evaluate the operational performance and the main mechanical and operational losses of the crawler tractor and hydraulic excavator, over six months, in the activities of soil preparation and cleaning of residues. The number of production hours, mechanical and operational losses were collected through a Production and Efficiency application installed on the machines. From the data collected, the total working hours, operational efficiency and mechanical availability of the machines were calculated, analyzed according to the months. Crawler tractors presented an average of 167.2 hours of effective work, while hydraulic excavators presented about 171.6 hours. Only the hours of operational losses for the crawler tractors showed significant differences over the months, in which the month with the highest rainfall had the highest operational loss. The average operational efficiency was 71.8% for excavators and 69.4% for crawler tractors, in which all months presented averages above the recommended level of 56%. For mechanical availability, the average was 85.7 and 86.7 for excavators and bulldozers, respectively, and the hydraulic excavator and tractor presented two and three months below the recommended target of 85%. In this way, it was observed that months with high rainfall can reduce the operational efficiency of field work, and that it is necessary to study the main causes of mechanical availability losses in the field, to increase the performance of equipment in soil preparation and waste cleaning activities.

Keywords: Quality analysis. Subsoiling. Forest mechanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica de subsetores de atuação da empresa	11
Figura 2 – Localização geográfica das áreas de atuação da empresa no estado de Santa Catarina, abrangendo 39 municípios.....	17
Figura 3 - Trator de esteira acoplado com os dois implementos (A), limpa trilho (B) e subsolador (C).....	19
Figura 4 – Escavadeira Hidráulica acoplada com os dois implementos (A), grade de limpeza de resíduo (B) e subsolador (C).....	20
Figura 5 – Disponibilidade mecânica (DM) das escavadeiras hidráulicas e dos tratores de esteira.	25
Figura 6 - Figura 6 – Eficiência operacional (EO) das escavadeiras hidráulicas e dos tratores de esteira.....	25
Figura 7 - Tipos de manutenção dos implementos agrícolas	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precipitação total das áreas de estudos, nos meses de setembro de 2021 a fevereiro de 2022	17
Tabela 2 - Análise de variância dos dados avaliados.....	23
Tabela3– Análise de perdas mecânicas e operacionais, contabilizadas em horas, para os diferentes meses avaliados, associada da precipitação total mensal.....	24
Tabela4 – Perdas mecânicas para escavadeira hidráulica e trator de esteira e sua incidência.	26
Tabela5 – Perdas operacionais para escavadeira hidráulica e trator de esteira e sua incidência	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Klabin S/A no mercado	11
2.2	Silvicultura de pinus.....	12
2.3	Preparo do solo.....	13
2.4	Preparo do solo em áreas declivosas.....	14
2.5	Análise de qualidade no setor florestal.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Local de estudo	17
3.2	Descrição do sistema de preparo do solo	18
3.3	Delineamento experimental e dados coletados	20
3.4	Estatística.....	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

O setor de árvores plantadas representou 1,2% do PIB brasileiro, totalizando 9,55 milhões de hectares no ano de 2020, indicando um crescimento de 17,6% em relação ao ano anterior (IBÁ, 2021). Um dos grandes desafios dentro do setor florestal é aumentar a mecanização das áreas cultivadas, que ainda é baixa, ao se comparar a outros segmentos da agricultura, mantendo o padrão de qualidade desejado pelas atividades (ROCHA *et al.*, 2015).

O preparo do solo é uma das principais atividades realizadas na implantação dos povoamentos florestais e objetiva disponibilizar quantidades suficientes de água e nutrientes para o mais rápido estabelecimento das mudas (GATTO, 2003). A subsolagem é o tipo de preparo do solo mais utilizado pelas empresas florestais, a qual visa mobilizar o solo em profundidade e descompactar as camadas adensadas (MONTEBELLO; BACHA, 2009; SIMÕES *et al.*, 2011).

Segundo Salvador *et al.* (2008), a subsolagem aumenta a área disponível de crescimento do sistema radicular no solo, melhorando a absorção de água e nutrientes, o que proporciona maior homogeneidade, produtividade nos plantios florestais, além de facilitar a atividade de colheita.

Apesar dos ganhos que a subsolagem proporciona, ela possui um elevado gasto energético e custo para as empresas, o que ressalta a necessidade de um controle rigoroso de qualidade em campo, para garantir a eficiência da atividade (SALVADOR *et al.*, 2008). Ao longo dos últimos anos, alguns trabalhos têm destacado a importância e os ganhos que o controle de qualidade na atividade de preparo pode proporcionar, garantindo que a área mobilizada atinja as especificações de volume, largura e profundidade, esteja limpa de torrões e as linhas de plantio sejam confeccionadas no espaçamento correto (GONÇALVES *et al.*, 2016; TRINDADE; MELO, 2016; CUNHA *et al.*, 2020).

Gava (2003), estudando a qualidade do preparo do solo em áreas de plantio para o eucalipto, observou que a avaliação da qualidade demonstrou ser eficiente, fornecendo resultados que podem ser classificados de acordo com o atendimento ou não à norma técnica estabelecida e, sobretudo, sugere possíveis causas para o funcionamento diferenciado do subsolador frente às diferentes condições de textura do solo.

Para Trindade e Melo (2016), a qualidade na atividade após o preparo do solo é essencial, visto que são analisados pontos de profundidade preparada, largura de rompimento, profundidade do fertilizante e espaçamento entre linhas. Estes parâmetros, segundo os autores, quando não observados, podem provocar em um menor volume de solo disponível à

exploração radicular, aumento da competição entre plantas e atrasa o arranque inicial das mudas, devido à distância do fertilizante.

O planejamento operacional juntamente com a análise de qualidade das atividades florestais, tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção que são determinadas pelo planejamento global da empresa, por meio do conhecimento da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e equipamentos utilizados (CECHIN, 2000).

Portanto, para o setor de mecanização dos plantios florestais, é indispensável a avaliação das perdas mecânicas, visto que têm grande contribuição no orçamento das atividades do preparo de solo mecanizado, devido aos reparos e manutenção que são realizados nos equipamentos (OLIVEIRA, 2007). Nesse raciocínio, Reis *et al.* (2005), citam que no gerenciamento do sistema mecanizado, o responsável deve estar atento aos motivos que afetam negativamente a vida útil do trator, tais como a falta de manutenção preventiva, a qualidade das peças de reposição e o treinamento inadequado do operador, pois estes motivos representam a maior parte do custo na preservação da vida útil dos tratores.

As avaliações de qualidade no setor florestal contam com *softwares* que conseguem armazenar dados de produção e perdas do sistema operacional de trabalho, auxiliando na otimização dos recursos naturais e financeiros, evitando perdas e desperdícios. Além disso, fornecem aos gestores ferramentas para a tomada de decisão e contribuem para o direcionamento de esforços em prol da excelência operacional.(TRINDADE; MELO, 2016).

Nesse contexto, objetivou-se utilizar a base de dados dos apontamentos para avaliar as perdas mecânicas e operacionais, assim como a eficiência operacional e a disponibilidade mecânica, da escavadeira hidráulica e do trator de esteira, nas atividades de subsolagem e limpeza de resíduos, nas áreas de atuação da Klabin, no estado de Santa Catarina.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

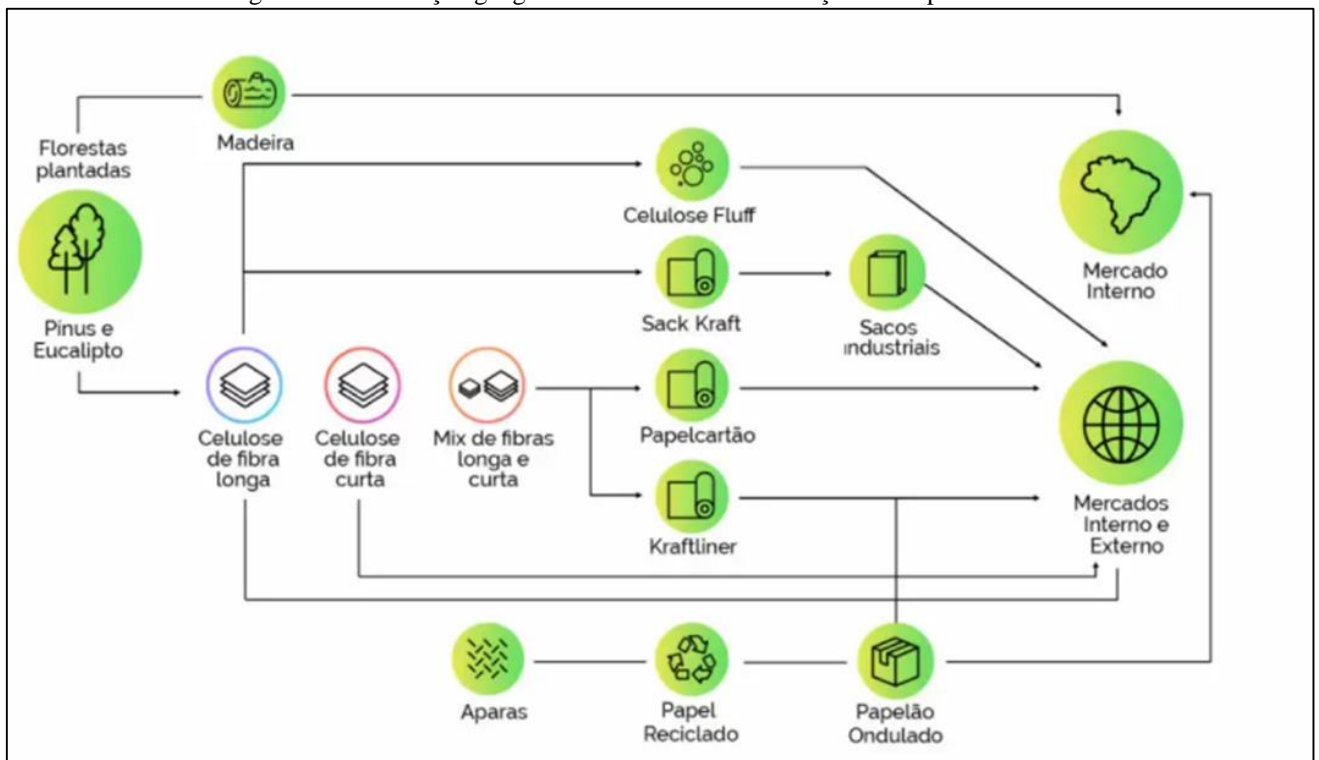
2.1 Klabin S/A no mercado

A Klabin é uma empresa de capital aberto, com 122 anos de atuação no mercado, com engajamento pela geração de valor para todos os públicos. Desde 2014, faz parte do Índice de Sustentabilidade Empresarial da B3 (ISE) e, em 2020, passou a ser a única empresa brasileira do mercado de papel e celulose a integrar o Índice *Dow Jones* de Sustentabilidade (DJSI), que ressalta as companhias com melhor performance global com base em parâmetros econômicos, ambientais e sociais de longo prazo.

Dividida em grandes subsetores, a empresa conta com a área florestal, que consiste na fonte de matéria prima e é referência mundial no manejo sustentável de florestas, sendo a maior produtora e exportadora de papéis para embalagens e de embalagens de papel do Brasil e líder na produção de cartões, embalagens de papelão ondulado e sacos industriais.

O setor de celulose da Klabin tem origem de florestas 100% plantadas e com certificação globalmente conhecida, sendo destaque no Brasil por ser a única a oferecer três diferentes tipos de celulose ao mesmo tempo: fibra curta, fibra longa e *fluff* (Figura 1).

Figura 1 - Localização geográfica de subsectores de atuação da empresa.



Fonte: Klabin (2021)

2.2 Silvicultura de pinus

O *Pinus* é o segundo gênero de árvores mais plantado no Brasil, com 1,64 milhões de hectares, o que representa 18% da área de florestas plantadas (IBÁ, 2021). O gênero tem origem na América do Norte e América Central, e se adaptou muito bem às condições edafoclimáticas do Brasil, principalmente da região sul, na qual se tornou o principal grupo de espécies plantado (MIROV, 1967; KAGEYAMA; CASER, 1982).

Como método produtivo, a silvicultura do gênero *Pinus* tem como foco a produção da madeira em toras para abastecer a cadeia produtiva da madeira, o que reduz substancialmente o impacto ambiental da pressão sobre as formações florestais nativas (VASQUEZ *et al.*, 2007).

No entanto, a espécie é conhecida pelos seus múltiplos usos, para fins estruturais, na construção civil, painéis, móveis de luxo, embalagem, celulose, biomassa, carvão, dentre outros (BELLON, 2013). Além disso, segundo o mesmo autor, algumas espécies produzem resina em quantidade viável para exploração comercial, proporcionando rendimentos adicionais aos plantios. Segundo Vasquez *et al.* (2007), as espécies mais plantadas nas regiões sul do Brasil são *Pinus taeda* e *P. elliottii* var. *Elliottii*, enquanto as mais plantadas nas regiões tropicais são *P. caribaea*, principalmente da variedade *hondurensis*, *P. oocarpa* e *P. tecunumanii*.

A silvicultura do gênero *Pinus* no sul do Brasil tem seu ponto inicial marcado pelo advento do incentivo fiscal, uma diretriz estratégica dos anos 60 e 70 para o desenvolvimento do país (VASQUEZ *et al.*, 2007). Siqueira (2003) relata que a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), em 1967, surgiu em um cenário de necessidade crescente de regulamentação do Setor Florestal, como forma alternativa de assegurar o suprimento de madeira para usos gerais e preservar as florestas remanescentes nativas.

Na década de 1960, algumas empresas começaram a instalação de testes de procedências de *Pinus*, analisando alternativas de substituição da fibra longa advinda da *Araucária angustifolia*, para ser empregado como matéria prima na produção de celulose *kraft* (BARRICHELO *et al.*, 1977), e de produção de madeira serrada, madeira laminada e na confecção de painéis (KRONKA; BERTOLANI; PONCE, 2005).

Segundo Stahl (2018), ao longo do tempo, as iniciativas do setor privado e de entidades de pesquisa, fizeram com que o gênero se consolidasse na cadeia produtiva, agregando valor e desenvolvimento econômico, principalmente na região sul do Brasil. Ainda segundo o mesmo autor, através dos trabalhos de seleção e melhoramento genético e do

aprimoramento das técnicas de manejo silvicultural, foi possível melhorar a qualidade da madeira produzida e aumentar a produtividade dos plantios de pinus. Segundo Kronka, Bertolani e Ponce (2005), o *Pinus* tem produtividade de $25 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$, podendo chegar a $45 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$.

O gênero *Pinus* é considerado de baixa exigência nutricional, devido à ausência de sintomas de deficiência, particularmente nas primeiras rotações (STAHL, 2018). Segundo Reissmann e Wisniewski (2005), o gênero possui uma capacidade extraordinária de aproveitamento dos recursos nutricionais em sítios de baixa fertilidade. Contudo, tem sido demonstrado grande potencial do aumento da produtividade dos plantios com o uso de fertilização.

Ademais, aumentos de produtividade também têm sido demonstrados para plantios de *Pinus taeda*, através da descompactação do solo (DEDECEK; MENEGOL; BELLOTE, 2000). Segundo os autores, as restrições físicas ao crescimento radicular, acentuam as deficiências hídricas e reduzem o crescimento das plantas em campo. Dedecek, Menegol e Bellote (2000), observaram que o preparo do solo na linha do plantio, favoreceu o crescimento em altura em plantios de *Pinus taeda*.

2.3 Preparo do solo em áreas florestais

O preparo do solo consiste no conjunto de operações que podem manter ou elevar a produtividade florestal, reduzindo as perdas por erosão e reduzindo também a relação custo/benefício dos recursos disponíveis, como mão de obra, máquinas, implementos, combustíveis e insumos (ROCHA *et al.*, 2015). Contudo, quando o preparo do solo é realizado de forma inadequada, pode ocorrer a degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo em poucos anos, reduzindo seu potencial produtivo (GONÇALVES *et al.*, 2002).

Os métodos de preparo mecanizado do solo podem ser variáveis, sendo agrupados em duas classes, cultivo mínimo e o cultivo convencional do solo, caracterizados pela utilização de determinadas práticas e equipamentos que devem ser adaptados às condições pedológicas locais (COSTA, 2000).

O cultivo convencional contempla o amplo revolvimento do solo, com a incorporação total ou parcial dos resíduos culturais, podendo ser usados como implementos, o arado, a grade leve e pesada, a grade *bedding*, dentre outros (GONÇALVES; STAPE, 2002).

Atualmente, a tecnologia mais aplicada no preparo do solo, para plantios florestais

tecnificados, utiliza o cultivo mínimo, realizando um preparo de solo localizado, somente na linha de plantio, sendo que a subsolagem e o coveamento são as principais operações de preparo do solo desse sistema (GATTO *et al.*, 2003; GONÇALVES *et al.*, 2002).

No meio florestal se consolidou o uso do subsolador devido às suas vantagens operacionais e econômicas. A subsolagem segue sendo a principal atividade do preparo do solo, utilizada para a mobilização do solo em profundidade, rompendo as camadas compactadas que dificultam a penetração de raízes e a infiltração de água, melhorando, dessa forma, a aeração do solo e a movimentação de água no seu perfil, diminuindo os riscos de erosão (GAMERO, 2008). Para Boller (2001), a subsolagem é uma operação que objetiva a descompactação do solo, quando a presença de uma camada compactada for superior à profundidade de 0,30 m.

No cenário atual, Gonçalves (2016), relata que o mercado conta com diversas marcas e modelos de máquinas e equipamentos disponíveis para realização da subsolagem, contando com as suas vantagens operacionais e econômicas. A haste dos subsoladores são colocadas no solo, provocando o seu rompimento para frente, para cima e para os lados, de modo tridimensionalmente e em blocos. O solo não é cortado, mas sim rompido nas suas linhas de fraturas naturais ou por meio das interfaces de seus agregados, sendo um método menos agressivo ao solo (LANÇAS, 2002).

A principal limitação do uso dos subsoladores é sua restrição de trabalho em áreas muito declivosas (GONÇALVES, 2009). Segundo Lima *et al.* (2004), Souza *et al.* (2004) e Pereira *et al.* (2012), a inclinação limite para a operação com tratores agrícolas arrastando um subsolador varia entre 17° e 22°.

2.4 Preparo do solo em áreas declivosas

O avanço da mecanização para a implantação de povoamentos florestais é escasso, principalmente quando se trata de áreas montanhosas (CUNHA *et al.*, 2020). A mecanização se restringe a regiões planas e quase sempre com adaptações de implementos usados na agricultura, que tem seu desempenho limitado conforme a declividade do terreno (LEITE *et al.*, 2011). Segundo Cunha (2020), em áreas com declividade acentuada, tem-se empregado motocoveadores, principalmente em pequenas propriedades, para realizar o preparo do solo.

Como alternativa de implemento a ser usado em áreas declivosas, a escavadeira hidráulica vem para o setor florestal com o objetivo de melhorar o rendimento e aumentar a área preparada no preparo do solo, pois apresenta estabilidade em terrenos com declividade

elevada (acima de 17°) e são menos afetadas pela presença de tocos e resíduos da colheita, quando comparadas aos tratores de rodados acoplados com subsoladores, conforme estudos pioneiros realizados por Hall (1995) e Souza *et al.* (2018).

Avaliando o cenário de segurança, a perda de estabilidade é um fator que contribui frequentemente para a capotagem de tratores (GIALAMAS *et al.*, 2006; GILFILLAN, 1967; HUNTER, 1981; SPENCER, 1978). Com isso o conhecimento dos limites de cada máquina faz-se necessário para prevenção de acidentes.

2.5 Análise de qualidade no setor florestal

A gestão da qualidade surge da necessidade de tornar o processo produtivo mais eficiente, minimizando as falhas nos produtos e, conseqüentemente, os custos de produção, tendo também o objetivo de satisfazer as necessidades do consumidor com qualidade (FERREIRA; GASPARINI, 2016).

A definição da qualidade no Brasil começou a ser apresentada no setor florestal a partir da década de 1980, com um trabalho que compreendeu o cenário de operações de estabelecimento, conservação, exploração e desbrota da floresta (FREITAS *et al.*, 1980). Logo depois, estudos que apontavam sistemas de auditoria foram desenvolvidos, sendo realizada a comparação das equipes de operações com as recomendações definidas em normas técnicas, identificando não conformidades (TRINDADE *et al.*, 2012).

Para a análise de qualidade, podem ser usadas sete ferramentas básicas, que foram difundidas por Kaoru Ishikawa e citadas por Alves e Paulista (2014), sendo o fluxograma, o diagrama de Ishikawa, as folhas de verificação, o diagrama de Pareto, o histograma, o diagrama de dispersão e o gráfico de controle. Trindade *et al.* (2007) afirmaram ainda que o uso destas ferramentas ainda é incipiente no setor florestal e o treinamento de pessoas, para sua utilização, é direcionado para supervisores e técnicos, não atingindo os níveis inferiores da hierarquia das empresas, os quais são responsáveis pela análise de qualidade. Esses autores também destacam que as ferramentas são de fácil utilização, desde que os agentes responsáveis sejam bem treinados para a execução na rotina diária.

O controle da qualidade no setor florestal pode ser observada em algumas atividades silviculturais, como na produção de mudas, fertilização, controle de formigas e preparo do solo (MOREIRA *et al.*, 2016; BAZANI *et al.*, 2016; TRINDADE; MELO, 2016; JACOVINE *et al.*, 2005; MILAN; FERNANDES, 2002). Cunha *et al.* (2020), avaliaram a qualidade do preparo do solo com a utilização da escavadeira hidráulica e observaram que, para os meses

de menor umidade do solo, a área de solo mobilizada foi reduzida, devido a sua menor friabilidade e ao aumento da incidência de torrões.

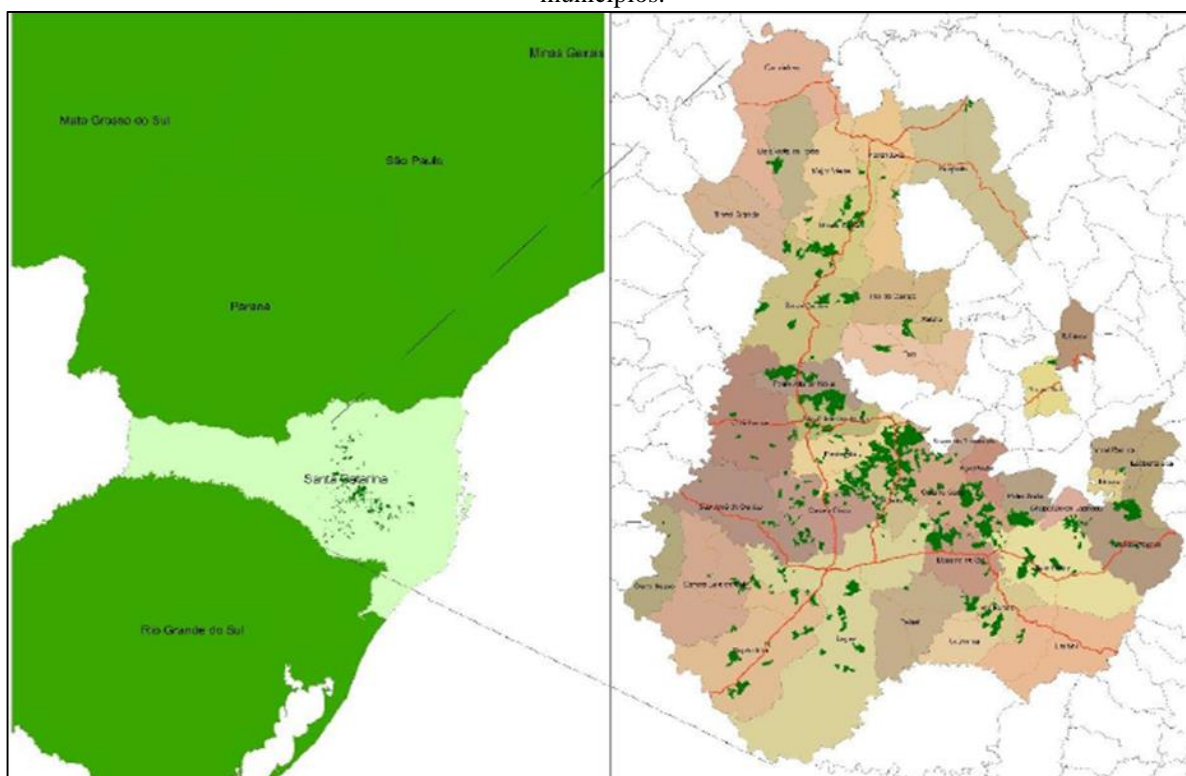
Soares *et al.* (2014), aplicando o processo de mapeamento, determinaram os indicadores de desempenho na atividade de controle de plantas invasoras em uma empresa de base florestal no estado do Paraná. Para isso, o autor separou o mapeamento das operações para o cultivo de espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, analisando alguns aspectos que supostamente poderiam causar desperdícios nos processos realizados pela empresa e como resultado, foram identificados 19 indicadores de desempenho para a atividade de controle de plantas invasoras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de estudo

O estudo foi conduzido nas fazendas pertencentes à Empresa Klabin, em 11 municípios, no estado de Santa Catarina (Figura 2), que compõem três classes de solos definidas em Latossolos, Nitossolos e Cambissolos. A região é caracterizada segundo a classificação de Köppen como Cfb, com temperatura média anual em torno de 17°C e precipitação média anual 1841 mm, com a ocorrência de geadas nos períodos de inverno (KLABIN, 2021). Os meses de estudo do presente trabalho foram de setembro de 2021 a fevereiro de 2022, com precipitação variando de 56,4 a 187,8 mm (Tabela 1).

Figura 2 - Localização geográfica das áreas de atuação da empresa no estado de Santa Catarina, abrangendo 39 municípios.



Fonte: Klabin (2022)

Tabela 1 - Precipitação total das áreas de estudos, nos meses de setembro de 2021 a fevereiro de 2022

Meses/Ano	Precipitação (mm)
Setembro/2021	184,8
Outubro/2021	162,1
Novembro/2021	117,7
Dezembro/2021	59,4
Janeiro/2022	155,0
Fevereiro/2022	56,4

Fonte: Klabin (2022)

3.2 Descrição do sistema de preparo do solo

No presente estudo, foram avaliados dois conjuntos mecânicos, o trator de esteira, que opera em declividades de até 15°, e a escavadeira hidráulica, que opera entre 15° a 25° de declividade. Ambos os conjuntos fazem duas atividades silviculturais, a limpeza de resíduos e a subsolagem. As atividades não são realizadas de forma simultânea, pois, primeiramente, quando a área possui excesso de resíduos, de forma a prejudicar o rendimento e qualidade do preparo do solo, é recomendado que as máquinas realizem a limpeza dos resíduos na área. Após o procedimento, os mesmos maquinários realizam a atividade de subsolagem, conforme descrito a seguir.

O trator de esteira, possui dois implementos (Figura 3A), em que na frente do trator é acoplado o limpa trilho, o qual é composto por um bico avançado para remoção de resíduos acumulados sobre o solo, no local em que será preparada a linha de plantio, sendo esse bico de 3 metros de largura e um conjunto de seis dentes para ajudar no processo de remoção do resíduo, cada um com 50 cm de comprimento e 6 cm de largura (Figura 3B). Na parte de trás do trator de esteira, são acoplados dois subsoladores que preparam duas linhas de uma vez, presos por uma barra, na distância de 2,5 ou 3 m, de acordo com o espaçamento do plantio, e possuem dois discos em cada haste que fecham o sulco, eliminando os torrões e os bolsões de ar (Figura 3C).

Para a realização da atividade de limpa trilho, o trator entra na linha, posiciona-se no centro da mesma e abaixa o bico do limpa trilho. Ao chegar ao fim da linha, o trator retira a haste do solo e realiza a manobra, dando início a uma nova linha de limpeza. Já para a atividade de subsolagem, a máquina entra na área que será preparada, de acordo com o mapa de recomendação, posiciona-se entre as linhas que serão preparadas e abaixa a haste subsoladora até a profundidade recomendada. Ao chegar ao fim da linha, o trator retira a haste do solo e realiza a manobra, dando início a duas novas linhas de preparo, utilizando a baliza para ajustar a distância entre linhas, com distância de 2,5 a 3 m, variando com o espaçamento do plantio. O rendimento para o trator de esteira, na limpeza de resíduo e subsolagem, é em torno de 1 ha⁻¹hora⁻¹, sendo que esse rendimento pode variar em torno de 10% devido a vários fatores relacionados a área que está sendo preparada.

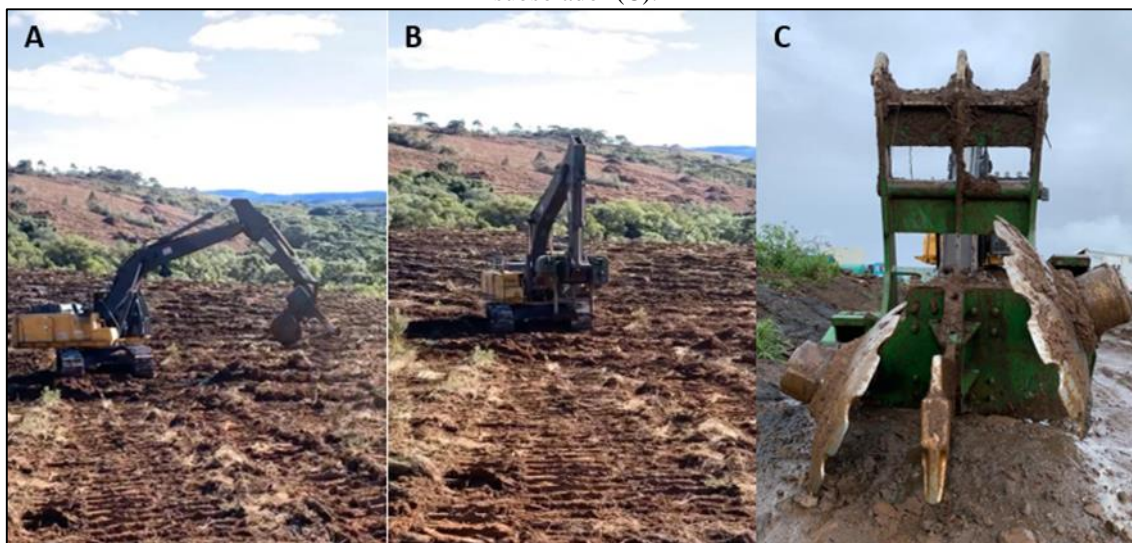
Figura 3 - Trator de esteira acoplado com os dois implementos (A), limpa trilho (B) e subsolador (C).



Fonte: Da Autora (2022)

As áreas com maior declividade (15° a 25°), exigem que as atividades ocorram com a escavadeira hidráulica, a qual possui dois implementos adaptados em seu braço mecânico em substituição do conjunto original com caçamba (Figura 4A). Um dos implementos utilizados é a grade de limpeza, com largura de 1,30 m, com três dentes para ajudar a revolver o solo, sendo um com 50 cm e os outros dois com 30 cm, na ponta do braço hidráulico (Figura 4B) e a haste subsoladora (Figura 4C). Para realizar o preparo do solo, a ponta do braço hidráulico da escavadeira é também acoplada com uma haste subsoladora, da marca SAVANNAH®, com a adição de duas grades de disco, sendo possível a realização do preparo na linha, a eliminação dos bolsões de ar e o destorroamento do solo.

Figura 4 - Escavadeira Hidráulica acoplada com os dois implementos (A), grade de limpeza de resíduo (B) e subsolador (C).



Fonte: Da autora (2022)

Para a realização da limpeza de resíduos, a escavadeira se posiciona no talhão, abaixa a grade de limpeza e faz a remoção do resíduo em área total. Já para o preparo do solo, a máquina entra na área, posiciona-se na entrelinha em que será feito o plantio, estende o braço hidráulico até 6,8 m e abaixa a haste subsoladora até a profundidade recomendada, recolhendo o braço com a haste sob o solo até que se aproxime da máquina. Ao término da primeira linha a cabine gira em 180° e realiza o preparo do outro lado. O rendimento para a escavadeira nas atividades de limpeza de resíduo e subsolagem é em torno de $0,25 \text{ ha}^{-1} \text{ hora}^{-1}$, sendo que esse rendimento pode variar em torno de 10% devido a vários fatores relacionados à área que está sendo trabalhada.

3.3 Delineamento experimental e dados coletados

Como o trator de esteira e a escavadeira hidráulica não trabalham na mesma área do declive do terreno, as máquinas foram avaliadas em dois experimentos diferentes. Para avaliar os maquinários utilizados nas atividades de limpeza de resíduos e preparo do solo, os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizado (DBC), em que foi avaliado o desempenho dos maquinários ao longo de seis meses completos (setembro de 2021 a fevereiro de 2022). As repetições foram representadas pelos maquinários, cinco escavadeiras hidráulicas e quatro tratores esteiras.

Para avaliar o desenvolvimento das atividades em campo, produtividade, perda mecânica e operacional, foi instalado o sistema de apontamento do serviço, o qual é feito em

tablets que estão instalados nas máquinas, através de um aplicativo de Produção e Eficiência, desenvolvido pelo time de Tecnologia da Informação da própria empresa, em que todo processo é apontado pelos operadores.

O sistema contabiliza as horas em que os equipamentos estão trabalhando em campo, e as pausas, as quais são classificadas em:

- a) perdas operacionais (reabastecimento, deslocamento para outra área, troca de turno, dentre outros); ou
- b) perdas mecânicas (manutenção da máquina, manutenção de implemento, dentre outros).

Além das horas trabalhadas, perdas mecânicas e operacionais, o sistema armazena as informações sobre o operador e o turno.

Foi calculada a disponibilidade mecânica dos equipamentos avaliados, a qual é definida como: a porcentagem de tempo em que um equipamento ficou disponível para utilização, sem intervenções mecânicas, em relação ao tempo total programado. Ou seja, é a parcela de tempo em que o equipamento fica livre das paradas com manutenção. Para o cálculo, segue a equação utilizada:

$$DM = ((TP - TM)/TP) * 100$$

Em que:

DM = Disponibilidade Mecânica, em %;

TP = tempo programado para o trabalho, em horas;

TM = Tempo utilizado para manutenção do equipamento – manutenção preditiva, preventiva, corretiva, semanal, inspeções, lavagem, lubrificação, abastecimento, normalmente em horas.

Além disso, também foi calculada a eficiência operacional para as máquinas avaliadas, a qual é definida da seguinte maneira: porcentagem de tempo utilizado para trabalho em relação ao tempo em que o equipamento ficou disponível, sendo esse tempo disponível calculado pelo tempo programado menos o tempo de manutenção. Para o cálculo, segue a equação utilizada:

$$EO = ((TT/TD))$$

Em que:

EO = Eficiência Operacional em %;

TT = tempo de trabalho em que o equipamento executou o serviço (h);

TD = tempo disponível ou (tempo programado – tempo manutenção), normalmente em horas.

As metas da empresa correspondem em 85% para DM e de 56%, para EO, ou seja, em toda carga horária disponível dentro da jornada de trabalho diária para a máquina operar são aceitáveis 15% de perdas mecânicas e 44% de perdas operacionais, seguindo os indicadores de análise de qualidade.

Ademais, também foram feitas análises qualitativas, avaliando as principais causas de perdas mecânicas e operacionais, diagnosticados nos apontamentos do *software* de campo alocado nas máquinas.

3.4 Análise estatística

Foram obtidas médias das horas trabalhadas, perda mecânica e operacional, dos meses avaliados, sendo estas submetidas ao teste de normalidade, Shapiro Wilk (ROYSTON, 1983) e, quando verificada a distribuição normal, as médias foram submetidas a análise de variância (ANAVA). No momento em que se mostra significativo, realizou-se o teste de SkottKnott a 5% de probabilidade de erro. As análises foram realizadas por meio do Sisvar 5.6 (FERREIRA, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância, para as atividades de silvicultura, utilizando a escavadeira hidráulica e o trator de esteira, encontram-se na Tabela 2. Observa-se que apenas para as perdas operacionais, para o trator de esteira, houve diferenças significativas entre os diferentes meses estudados.

Tabela 2 -Análise de variância dos dados avaliados.

Escavadeira hidráulica				
FV	GL	QM		
		Perdas Mecânicas	Perdas Operacionais	Produção
Mês	5	379,7 ns	291,7ns	3.391,8ns
Repetição	3	923,7	776,1	4.065,8
Erro	15	424,7	1.215,2	3.418,6
Total	23	-	-	-
CV	-	51,9	55,8	33,9
Média (horas)	-	40,0	75,7	171,6
Trator de esteira				
FV	GL	QM		
		Perdas Mecânicas	Perdas Operacionais	Produção
Mês	5	994,3 ns	3.983,9*	2.130,6ns
Repetição	4	2.292,0	2.902,6	82,9
Erro	20	469,2	269,5	1.627,2
Total	29	-	-	-
CV	-	51,9	20,3	23,9
Média (horas)	-	37,3	79,2	167,2

Fonte: Da autora (2020)

Observando as variáveis para ambas as máquinas analisadas, não foram constatadas diferenças significativas nas horas trabalhadas e nas perdas mecânicas para a escavadeira hidráulica (171,6 e 40,0 h) e o trator de esteira (167,2 e 37,3 h) (Tabela 2). Estes resultados demonstram a eficiência do uso dessas máquinas em campo, durante os meses de avaliação.

Para as perdas operacionais, a escavadeira hidráulica não apresentou diferença significativa, com média geral de 75,7 h. Já o trator de esteira apresentou diferença significativa, em que o mês de setembro apresentou a maior perda operacional (144 horas), provavelmente ocorrido em função da maior precipitação mensal total, de 184,8 mm. Em contrapartida, o mês com menor precipitação total mensal (fevereiro com 54,6 mm) foi o que apresentou a menor perda operacional (34,2 horas).

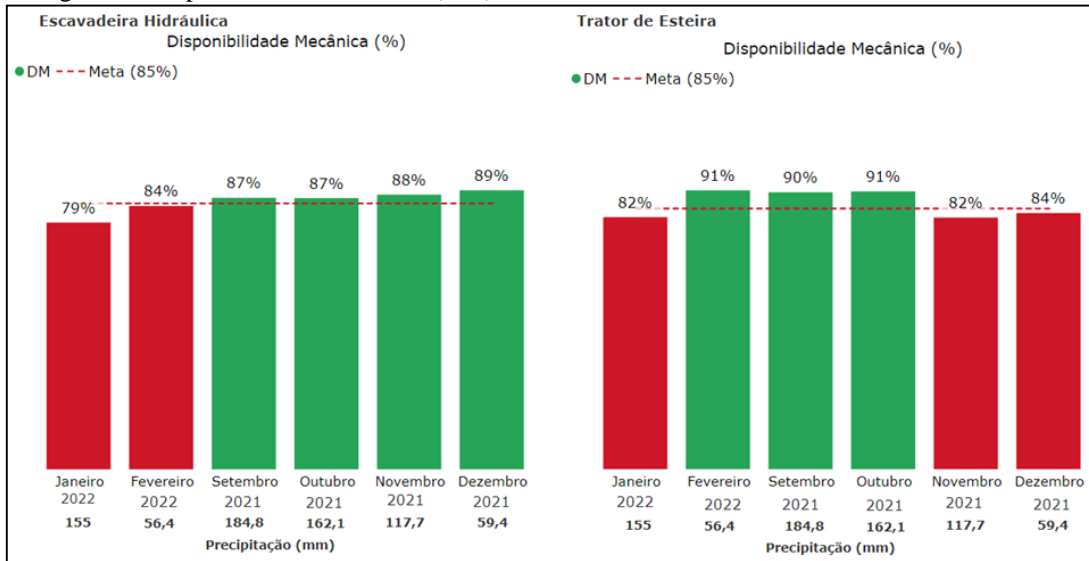
Tabela 3 –Análise de perdas mecânicas e operacionais, contabilizadas em horas, para os diferentes meses avaliados, associada da precipitação total mensal.

Escavadeira Hidráulica				
Mês	Precipitação (mm)	Produção (horas)	Perda mecânica (horas)	Perda operacional (horas)
set/21	184,8	173,9 a	34,4 a	59,0 a
out/21	162,1	195,3 a	40,9 a	71,9 a
jan/22	154,9	148,9 a	58,6 a	69,8 a
nov/21	117,7	207,8 a	36,2 a	52,4 a
dez/21	59,4	165,0 a	31,7 a	67,5 a
fev/22	56,4	138,8 a	38,4 a	57,7 a
Média	122,6	171,6	40,0	75,7
Trator de esteira				
Mês	Precipitação (mm)	Produção (horas)	Perda mecânica (horas)	Perda operacional (horas)
set/21	184,8	189,0 a	33,6 a	144,0 c
out/21	162,1	154,1 a	24,9 a	86,3 b
jan/22	154,9	150,0 a	47,2 a	60,8 b
nov/21	117,7	201,5 a	50,7 a	66,4b
dez/21	59,4	172,8 a	50,5 a	83,3 b
fev/22	56,4	136,2 a	16,8 a	34,2 a
Média	122,6	167,2	37,3	79,2

Fonte: Da autora (2022)

O levantamento dos dados de disponibilidade mecânica (Figura 5), demonstra que as escavadeiras apresentaram um rendimento abaixo da meta nos meses de jan/22 e fev/22 (79% e 84%, respectivamente). Para os tratores, a disponibilidade mecânica abaixo da meta foi observada nos meses de nov/21, dez/21 e jan/22 (84%, 82% e 82%, respectivamente). Para evitar que esta situação seja recorrente, é importante realizar uma análise das condições mecânicas das máquinas, listar os principais motivos dos estragos, e avaliar se o custo da manutenção, e da perda de horas produtivas do equipamento, ao longo do tempo, é maior do que o custo para adquirir uma nova escavadeira hidráulica ou trator de esteira. Apesar dos registros abaixo da meta estabelecida, os resultados encontrados de disponibilidade mecânica, no presente trabalho, ficaram próximos aos sugeridos por Fontes e Machado (2002), de aproximadamente 92%, para equipamentos novos, e 85%, para equipamentos com maior tempo de uso.

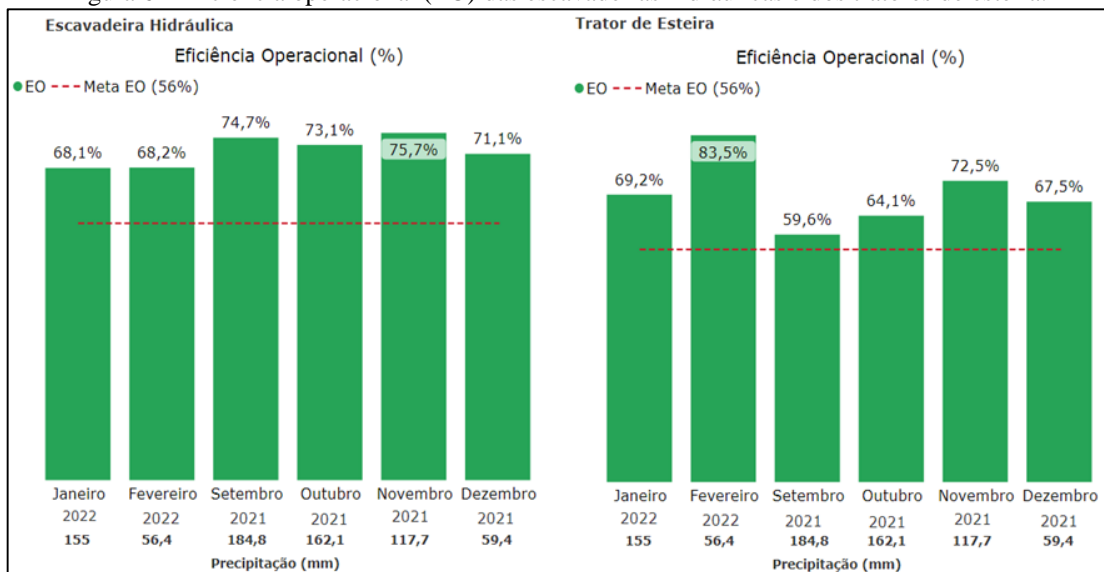
Figura 5 - Disponibilidade mecânica (DM) das escavadeiras hidráulicas e dos tratores de esteira.



Fonte: Da autora (2022)

A meta de eficiência operacional no cenário estudado, é de 56% e nos dados levantados (Figura 6), observa-se que as escavadeiras hidráulicas e os tratores responderam de forma satisfatória, sendo 68,1% a menor eficiência da escavadeira. Para o trator, o mês de menor eficiência operacional foi o de set/21 (56,4%), o que ocorreu devido a maior precipitação registrada neste mês (184,8 mm). Linhares *et al.* (2012), estudando sobre eficiência operacional em máquinas de colheita florestal, observaram meses com baixa pluviosidade, aumentando a produtividade do maquinário em campo, devido às melhores condições de tráfego do solo, facilitando o deslocamento das máquinas dentro do talhão

Figura 6 - Eficiência operacional (EO) das escavadeiras hidráulicas e dos tratores de esteira.



Fonte: Da autora (2022)

As principais perdas mecânicas para a escavadeira hidráulica e para o subsolador, encontram-se na Tabela 4. Desta forma, observa-se que os principais fatores estão relacionados às manutenções das máquinas: Manutenção da máquina base (40,0 e 47,0%), manutenção do implemento (18,7 e 18,6%) e aguardando as peças para manutenção (18,1 e 16,0%), respectivamente.

Tabela 4 - Perdas mecânicas para escavadeira hidráulica e trator de esteira e sua incidência.

Escavadeira Hidráulica	
Principais perdas mecânicas	Perdas (%)
Manutenção da máquina base	40,0
Manutenção de implemento	18,7
Aguardando peças	18,1
Aguardando mecânico interno	9,3
Análise de falhas e ajustes	6,2
Manutenção preventiva	3,9
Aguardando mecânico externo	1,5
Lavagem de máquina	1,7
Máquina na oficina central	0,6
Trator de esteira	
Principais perdas mecânicas	Perdas (%)
Manutenção da máquina base	47,0
Manutenção de implemento	18,1
Aguardando peças	16,0
Aguardando mecânico interno	7,4
Manutenção preventiva	4,7
Análise de falhas e ajustes	2,2
Aguardando mecânico externo	2,0
Máquina na oficina central	2,0
Lavagem de máquina	0,6

Fonte: Da autora (2022)

O fator da manutenção de máquina base está diretamente ligado a todo processo que pode interferir no desenvolvimento da máquina. Reis *et al.* (2005) comentam que o nível de entendimento dos operadores, sobre a importância de se fazer as manutenções no tempo correto, podem minimizar a severidade e o tempo das perdas mecânicas. Junto a isso, eles mencionam que apenas 93% dos apontamentos para manutenção e troca de óleo, ocorrem no momento correto, o que pode gerar complicações na vida útil do equipamento com o tempo.

Segundo Pinto e Nascif (2009), as principais manutenções dos equipamentos são corretivas não planejada, corretiva planejada, preventiva, preditiva e detectiva (Figura 7). Os autores enfatizam, que as manutenções dos equipamentos devem ocorrer, principalmente, para prevenir perdas mecânicas e manutenções não desejadas, de forma a aumentar a eficiência do equipamento em campo e sua vida útil. Pesquisas estatísticas de reparos agrícolas indicam que cerca de 90% das peças danificadas são substituídas devido ao desgaste excessivo e 80% devido ao desgaste abrasivo (BROZEK, 2012). Contudo, o objetivo da manutenção não pode

ser apenas para reparar o equipamento, mas sim mantê-lo em sua plena capacidade de produção, reduzindo ao máximo a probabilidade de uma parada de produção não planejada (PINTO; NASCIF, 2009).

Figura 7 - Tipos de manutenção dos implementos agrícolas.



Fonte: Pinto e Nascif(2009)

As atividades realizadas em campo são susceptíveis a longas perdas mecânicas, por não apresentarem materiais e equipamentos disponíveis, muitas das vezes por estarem em lugares de difícil acesso e distantes de algum centro de manutenção ou centros comerciais. Linhares *et al.* (2012), observam que as máquinas permanecem paradas em média por 213,8 horas aguardando peças em campo, o que poderia ser reduzido consideravelmente. Essas perdas, podem ser reduzidas levando peças reservas para campo, e através da melhoria nos processos de comunicação interna da empresa.

As principais causas das perdas operacionais para a escavadeira hidráulica e do trator de esteira, encontram-se na Tabela 5. As maiores perdas ocorrem devido à troca de turno (28,0 e 30,6%), à locomoção de pessoal (21,2 e 12,2%), ao abastecimento e lubrificação (12,3 e 15,4%) e à realização do *checklist* (18,4 e 19,0%).

Tabela 5 - Perdas operacionais para escavadeira hidráulica e trator de esteira e sua incidência.

Escavadeira Hidráulica	
Principais perdas operacionais	Perdas (%)
Troca de turno	28,0
Locomoção de pessoal	21,2
CheckList	18,4
Abastecimento e lubrificação	12,3
Locomoção de máquina	4,8
Reunião/DD/Treinamento	3,7
Chuva	3,7
Falta de operador	3,6
Transporte de máquinas	1,5
Esperando prancha	1,2
Aguardando combustível	0,8
Apoio a outras máquinas	0,8
Trator de esteira	
Principais perdas operacionais	Perdas (%)
Troca de turno	30,6
Checklist	20,1
Abastecimento e lubrificação	15,4
Locomoção de pessoal	12,2
Chuva	8,6
Locomoção de máquina	4,3
Reunião/DD/Treinamento	2,4
Esperando prancha	2,3
Transporte de máquinas	1,7
Falta de operador	0,9
Máquina encalhada	0,8
Umidade do solo	0,7

Fonte: Da autora (2022)

As trocas de turno e locomoção do pessoal são perdas operacionais, constantes e inevitáveis dentro do sistema. A locomoção de pessoal de uma fazenda para outra, pode ser planejada, estudando-se as menores rotas de forma a minimizar as horas de trabalho perdidas por deslocamento.

O *checklist* é uma atividade fundamental, que é apontada todos os dias antes de iniciar a operação. Através dele é verificado a disponibilidade mecânica dos equipamentos, se há presença de algum dano, ou necessidade de alguma manutenção. Há a autorização de trabalho da máquina apenas se esta apresentar condições adequadas para operar, com base no levantamento do *checklist*. Sena (2020), traz em seu trabalho a importância da criação do *checklist*, pois o mesmo consiste em uma lista de itens que foram previamente estabelecidos para certificar as condições de um serviço, produto, processo ou equipamento, sendo que seu intuito é garantir que todos os itens da lista foram cumpridos de acordo com o programado.

Para o sistema de abastecimento e lubrificação, de acordo com o trabalho de Campos *et al.* (2009), é essencial garantir o abastecimento de combustível para a operação da máquina, e evitar o desgaste prematuro do sistema. Os autores ainda afirmam que somente um sistema

eficiente de lubrificação, pode garantir maior conservação aos motores, por meio da redução do atrito entre seus mecanismos.

Para os meses de maior pluviosidade, principalmente em setembro de 2021, com 184,8 mm de chuva, observou-se que houve uma maior perda operacional (Tabela 3), e a menor eficiência operacional (Figura 6) para o trator de esteira, o que pode ser justificado pelos 8,6% das perdas operacionais por chuva para o implemento. O excesso de chuva pode atrapalhar a visibilidade e as condições de tráfego para os implementos, devido ao aumento da umidade do solo, que causaram cerca de 0,7% das perdas operacionais.

Em teores de baixa umidade, o solo é mais coeso, devido à cimentação entre suas partículas secas, facilitando a mecanização das áreas, à medida que o solo umedece, moléculas de água são adsorvidas na superfície de suas partículas, diminuindo a sua coesão, aumentando sua friabilidade (SASAKI; GONÇALVES; BENTIVENHA, 2005). Caso o teor de água no solo seja muito elevado, as operações de preparo se tornam praticamente ineficazes, devido ao efeito lubrificante da água (ROSA JÚNIOR, 2000; SILVA et al., 2002).

De forma geral, observou-se que o excesso de chuva prejudica a eficiência operacional dos maquinários, entretanto todos os meses avaliados obtiveram eficiência satisfatória conforme os índices de qualidade estabelecidos. As médias de disponibilidade mecânica para as escavadeiras hidráulicas e o trator de esteira, ao longo dos seis meses avaliados foram de 85,7% e 86,7%, respectivamente, atingindo a meta de 85%. Contudo, foi observado que houve alguns meses em que os maquinários não atingiram as metas e obtiveram valores abaixo do recomendado, devido ao aumento de horas de manutenção das máquinas na oficina. Uma das formas de minimizar este problema é com a troca dos maquinários antigos que apresentam danos recorrentes. Além disso, as manutenções preventivas dos maquinários, e o conhecimento dos principais motivos das perdas mecânicas possibilitam com que as atividades sejam melhor planejadas, de forma a minimizar as perdas.

Ademais, a contratação de operadores experientes, e o nivelamento do conhecimento dos funcionários quanto ao funcionamento das máquinas, possibilitam maior sensibilidade dos mesmos, na percepção da ocorrência de danos do maquinário, no momento correto, evitando perdas mecânicas longas e desgastes desnecessários dos equipamentos. Neste contexto, destaca-se a importância da supervisão dos líderes de campo, uma vez que os mesmos dão o devido suporte para os operadores identificando falhas no processo e técnicas que melhorem o desempenho operacional e a eficiência das máquinas.

Diante do exposto, conclui-se que o estudo de apontamentos se faz necessário para o entendimento de toda a dinâmica de processos que envolve as atividades em campo, podendo

verificar se as atividades atendem às especificações da empresa, na tentativa de maximizar a produtividade e reduzir os custos de produção.

5 CONCLUSÃO

O estudo de apontamentos é fundamental para observar problemas e promover a melhoria contínua das atividades de preparo do solo e limpeza da área.

Não foram verificadas diferenças estatísticas entre os meses avaliados para as horas de produção e as perdas mecânicas para o trator de esteira e para escavadeira hidráulica.

As perdas operacionais apresentaram diferenças significativas apenas para o trator de esteira, com maior perda para o mês de setembro de 2021 e menor perda para o mês de fevereiro de 2022, resultado influenciado pela precipitação total mensal nesses meses.

O aumento de danos e horas de manutenção das máquinas foram os fatores que influenciaram para que os tratores de esteira e as escavadeiras hidráulicas não apresentaram disponibilidade mecânica dentro dos padrões de qualidade da empresa (85%), em determinados meses do estudo. Já a eficiência operacional apresentou-se dentro da meta estabelecida (56%), para ambas as máquinas, durante todo o período de avaliação.

REFERÊNCIAS

- ALVES, R. A.; PAULISTA, P. H. Análise de aplicações das setes ferramentas da qualidade: uma abordagem teórica. CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FEPI, 5., **Anais...** Itajubá: Centro Universitário de Itajubá – FEPI, 2014. Disponível em: <http://revista.fepi.br/revista/index.php/revista/article/view/136>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- BARRICHELO, L. E. G. *et al.* Estudos de Procedências de *Pinus Taeda* Visando seu Aproveitamento Industrial. **IPEF**, n. 15, p. 1-14, 1977 Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr15.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- BAZANI, J. H. *et al.* Qualidade Silvicultural: a fertilização de base e sua influência no desenvolvimento inicial de plantações de eucalipto. **Série Técnica IPEF**, v. 24, n. 45, p. 11-20, 2016. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr45/st45-cap02.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- BELLON, K. R. R. da. **Modificação Térmica da Madeira de Três Espécies de Florestas Plantadas Pelo Processo VAP HolzSysteme®**. 2013. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/37706>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- BOLLER, W. Cuidados com o solo. **Revista Cultivar Máquinas**, v.5, p. 06-08, 2001.
- BROZEK, M. Wear resistance of multi-layer overlays. INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT, 11., **Anais...** Jelgava: LATVIA, 2012. Disponível em: https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2012/Papers/036_Brozek_M.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.
- CAMPOS, D. S. *et al.* Levantamento qualitativo de tratores e suas principais manutenções na região do município de Bambuí - MG. Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG campus Bambuí, 2., **Anais...** Bambuí: IFMG campus Bambuí, 2009. Disponível em: https://bambui.ifmg.edu.br/jornada_cientifica/sct/trabalhos/Controle%20e%20Processos%20Industriais/166-PT-2.pdf. Acesso em: 15 abr. 2022.
- CECHIN N. F. **Análise da Eficiência e do Desempenho Operacional das Máquinas e dos Equipamentos Utilizados no Corte Raso de Povoamentos Florestais na Região do Planalto Norte de Santa Catarina**. 2000. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/25286>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- COSTA, L. M. *et al.* Adequação do método e equipamento de preparo do solo às condições morfológicas, estruturais e texturais do solo. SEMINÁRIO SOBRE MÉTODOS E EQUIPAMENTOS DE PREPARO DO SOLO PARA PLANTIOS DE FLORESTAS. **Anais...** Piracicaba: IPEF, 2000.
- CUNHA, F. L. *et al.* Indicadores de qualidade da subsolagem com escavadora hidráulica em áreas declivosas em duas diferentes umidades do solo. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 128, p. 1–10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n128.16>. Acesso em: 15 abr. 2022.

DEDECEK, R. A.; MENEGOL, O.; BELLOTE, A. F. J. Avaliação da compactação do solo em plantios jovens de *Pinus taeda*, com diferentes sistemas de preparo do solo. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 40, p. 5-21, 2000. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/280581/avaliacao-da-compactacao-do-solo-em-plantios-jovens-de-pinus-taeda-com-diferentes-sistemas-de-preparo-do-solo>. Acesso em: 15 abr. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>. Acesso em: 15 abr. 2022.

FERREIRA, J. D.; GASPARINI, V. A. Análise da Gestão de Qualidade da Produção de Macarrão: um Estudo de Caso na Empresa “Beta”. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 20, n. 32, p. 70–76, 2016. Disponível em: <https://seer.pgskroton.com/index.php/rcger/article/view/4471>. Acesso em: 15 abr. 2022.

FONTES, J. M.; MACHADO, C. C. Manutenção mecânica. In: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa: UFV, 2002, p. 243-291.

FREITAS, M. *et al.* Avaliação e controle de qualidade em florestas de *Eucalyptus*. **Circular Técnica IPEF**, n. 91, p. 1-8, 1980. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr091.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GAMERO, A. C. **Desempenho Operacional de um Subsolador de Hastes com Curvatura Lateral (“Paraplow”), em Função de Diferentes Velocidades de Deslocamento e Profundidades de Trabalho**. 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) — Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90467>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GATTO, A. *et al.* Efeito do método de preparo do solo, em área de reforma, nas suas características, na composição mineral e na produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 27, p. 635–646, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000500006>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GAVA, J. L. Avaliação da qualidade do preparo do solo em áreas de eucalipto plantado no sistema de cultivo mínimo do solo. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 47, p. 55–68, 2003. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/1608>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GIALAMAS, T. A. *et al.* Tractor stability estimation using adjusting testing-bench. In: THE INTERNATIONAL CONFERENCE HAICTA, 2006, Volos. **Proceedings...** Volos: 2006, p. 179-186.

GILFILLAN, G. Attitude of a tractor on sloping land. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 12, n. 4, p. 293–296, 1967. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(67\)80049-0](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(67)80049-0). Acesso em: 15 abr. 2022.

GONÇALVES, J. L. M. Cultivo mínimo aumenta produção florestal. **Visão Agrícola**, n. 9, p. 183-186, 2009. Disponível em: <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/VA9-Desafios03.pdf>. Acesso em: 15

abr. 2022.

GONÇALVES, J. L. M. *et al.* Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, 2002.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba, 2002.

GONÇALVES, S. B. *et al.* Efeito da Profundidade de Trabalho na Qualidade da Operação de Subsolação Para Implantação Florestal. **Revista Árvore**, v. 40, n. 1, p. 29–37, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-67622016000100004>. Acesso em: 15 abr. 2022.

HALL, P. Mechanical site preparation using excavators. **New Zeland Florestry**. p. 31-35, 1995. Disponível em: http://nzjf.org.nz/free_issues/NZJF40_2_1995/EDEA1B93-E7A6-419F-86CD-C63075419350.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

HUNTER, A. G. M. Tractor safety on slopes. **Agricultural Manpower**, Wallingford, v. 36, n. 4, p. 95-98, 1981.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório 2019**. São Paulo, Brasília: IBÁ, 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

JACOVINE, L. A. G. *et al.* Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 391–400, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000300006>. Acesso em: 15 abr. 2022.

KAGEYAMA, P. Y.; CASER, R. L. Adaptação de espécies de pinus na região nordeste do Brasil. **Série Técnica IPEF**, v. 3, n. 10, p. 33-56, 1982. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/tecnica/nr10/cap02.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

KLABIN. **Onde estamos**. São Paulo: KLABIN, 2022. Disponível em: <https://klabin.com.br/nossa-essencia/onde-estamos>. Acesso em: 15 abr. 2022.

KLABIN. **Relatório de Sustentabilidade**. São Paulo: KLABIN, 2021. Disponível em: https://klabin.com.br/documents/400373575/0/klabin-RS20-PT_web.pdf/99b929c4-b187-c0dd-ea35-798c5233cbba?t=1628017383350. Acesso em: 15 abr. 2022.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. **A cultura do Pinus no Brasil**. Brasileira de Silvicultura, 2005.

LANÇAS, K. P. Subsolação ou sacarificações: mobilização do solo sem muita agressão. **Cultivar Máquinas**, n. 14, p.3 8-41, 2002.

LEITE, F. *et al.* Evaluation of tractive performance of four agricultural tractors in laterally inclined terrain. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 5, p. 923–929, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000500010>. Acesso em: 15 abr. 2022.

- LIMA, J. S. de S. *et al.* Estimativa das estabilidades longitudinal e transversal de tratores florestais utilizados na colheita de madeira. **Revista Árvore**, v. 28, n. 6, p. 839–844, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000600008>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- LINHARES, M. *et al.* Eficiência e desempenho operacional de máquinas Harvester e Forwarder na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 212–219, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000200007>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 2, p. 261–266, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162002000200009>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- MIROV, N. T. **The genus Pinus**. New York, Ronald Press Co., 1967.
- MONTEBELLO, A. E. S.; BACHA, C. J. C. Avaliação das pesquisas e inovações tecnológicas ocorridas na silvicultura e na produção industrial de celulose no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 47, n. 2, p. 485–517, 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032009000200008>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- MOREIRA, G. G. *et al.* A qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* impacta o aproveitamento final de mudas, a sobrevivência e o crescimento inicial. **Série Técnica IPEF**, v. 24, n. 45, p. 33-37, 2016. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr45/st45-cap05.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- OLIVEIRA, E. de. *et al.* Custos operacionais da colheita mecanizada do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 827–831, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000600009>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- PEREIRA, D. P. *et al.* Efficiency of Subsoiling Depth According to the Slope of the Land. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 607–612, 2012. Disponível em: <https://cerne.ufla.br/site/index.php/CERNE/article/view/859>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- PINTO, A. K.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Qualitymark, 2009.
- REIS, G. N. dos *et al.* Manutenção de tratores agrícolas e condição técnica dos operadores. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 282–290, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000100031>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000, p. 135-166.
- ROCHA, J. H. T. *et al.* Considerações Finais: Conservação e preparo do solo. **Série Técnica IPEF**, v. 23, n. 44, p. 60-61, 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr44.aspx>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- ROSA JÚNIOR, E. J. **Efeito de sistemas de manejo da cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Roxo na região de Dourados-MS**. Botucatu, 2000. 112p. Tese (Doutorado) –

Botucatu, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, 2000.

ROYSTON, J. P. Some Techniques for Assessing Multivariate Normality Based on the Shapiro-Wilk W. **Applied Statistics**, v. 32, n. 2, p. 121, 1983. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2347291>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SALVADOR, N.; BENEZ, S. H.; MION, R. L. Consumo de combustível na operação de subsolagem realizada antes e depois de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 256–262, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000200006>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SASAKI, C. M.; GONÇALVES, J. L. de M.; BENTIVENHA, S. R. P. Desempenho operacional de hastes subsoladoras em função da ponteira e do tipo do solo. **Scientia Forestalis**, n. 67, p. 44–52, 2005. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr67.aspx>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SENA, M. C. G. **Desenvolvimento e Aplicação de Um Sistema Para Controle de Manutenção em Uma Empresa de Locação de Máquinas de Construção**. 2020. 45 f. Monografia (Engenheiro Mecânico) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Rio Grande do Norte, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5726>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SILVA, A. P. *et al.* Avaliação da compactação de solos florestais. In: GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002, p.351-357.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R. da; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/11634>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SIQUEIRA, J. D. P. **Os Conflitos Institucionais da Gestão Florestal no Brasil - Um Benchmarking Entre os Principais Produtores Florestais Internacionais**. 2003. 101 f. Tese (Doutor em Ciências Florestais) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/32167>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SOARES, P. R. C. *et al.* Sistema de Medição de Performance Para o Controle de Plantas Invasoras em Plantações Florestais. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 175-184, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V45I1.35996>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SOUZA, G. S. de *et al.* Avanços na mecanização do cafeeiro conilon. **Revista Incaper**, v. 9 p. 31-41, 2018. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3368>. Acesso em: 15 abr. 2022.

SOUZA, L. H. S. *et al.* Determinação da estabilidade lateral de um conjunto trator recolhedora de feijão para o trabalho de campo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 12, n. 1, p. 66-71, 2004.

SPENCER, H. B. Stability and control of two-wheel drive tractors and machinery on sloping ground. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 23, n. 2, p. 169–188, 1978.

Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0021-8634\(78\)90047-1](https://doi.org/10.1016/0021-8634(78)90047-1). Acesso em: 15 abr. 2022.

STAHL, J. **Estratégias Silviculturais de Manejo da Adubação Para Povoamentos de *Pinus taeda* L. no Planalto Sul Catarinense e na Região de Telêmaco Borba, Paraná.** 2018. 101 f. Tese (Doutor em Engenharia Florestal) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/56424>. Acesso em: 15 abr. 2022.

TRINDADE, C. *et al.* **Ferramentas da qualidade:** aplicação na atividade florestal. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2007.

TRINDADE, C. *et al.* **Gestão e Controle da Qualidade na Atividade Florestal.** Editora UFV, 2012.

TRINDADE, C.; MELO, E. A. S. C. Controle de qualidade das práticas silviculturais. **Série Técnica IPEF**, v. 24, n. 45, p. 21-25, 2016. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr45/st45.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2022.

VASQUEZ, A. G. *et al.* Uma Síntese da Contribuição do Gênero *Pinus* Para o Desenvolvimento Sustentável no Sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 3, p. 445–450, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v37i3.9941>. Acesso em: 15 abr. 2022.