

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

RENAN RODRIGUES FERNANDES

**DESEMPENHO E CUSTO OPERACIONAL DA SUBSOLAGEM EM ÁREA TOTAL
PARA PLANTIO FLORESTAL**

Curitibanos

2022

RENAN RODRIGUES FERNANDES

**DESEMPENHO E CUSTO OPERACIONAL DA SUBSOLAGEM EM ÁREA TOTAL
PARA PLANTIO FLORESTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Florestal do Campus de Curitibanos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador(a): Prof. Marcelo Bonazza, Dr.

Curitibanos

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Fernandes, Renan Rodrigues
DESEMPENHO E CUSTO OPERACIONAL DA SUBSOLAGEM EM ÁREA
TOTAL PARA PLANTIO FLORESTAL / Renan Rodrigues Fernandes ;
orientador, Marcelo Bonazza, 2022.
37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus
Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal,
Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Preparo do solo. 3.
Silvicultura. 4. Indicadores operacionais. 5. Custo de
produção. I. Bonazza, Marcelo. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III.
Título.

Renan Rodrigues Fernandes

Desempenho e custo operacional da subsolagem em área total para plantio florestal

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Florestal e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal.

Curitiba, 22 de novembro de 2022.

Insira neste espaço
a assinatura

Coordenação do Curso

Banca examinadora

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Marcelo Bonazza, Dr.

Orientador(a)

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Neilor Bugoni Riquetti Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Insira neste espaço
a assinatura

Prof. Djalma Eugenio Schmitt Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Curitiba, 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais que me colocaram no mundo e me deram todo o apoio para que esse trabalho fosse concluído. Ao meu professor Marcelo Bonazza por todos os puxões de orelha, compreensão e ensinamentos repassados com toda calma e maestria. Ao pessoal da Juliana Florestal LTDA que me receberam de braços abertos e possibilitaram-me a coleta de dados desse trabalho. A minha filha que é o combustível para seguir em frente independente das dificuldades enfrentadas. A Deus eu agradeço pela saúde e poder viver ao lado de quem amo!

RESUMO

O preparo do solo em plantios florestais é fundamental para melhorias na aeração do solo e possibilitar o melhor desenvolvimento das raízes, assim como para trocas gasosas radiculares. Entretanto, essa atividade comumente apresenta custo elevado na silvicultura, o que justifica esforços para melhor entender a influência de fatores externos sobre o desempenho e custos dessa operação, possibilitando maior assertividade em seu planejamento. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho operacional e custos de produção do trator de esteira 850J com subsolador de 3 hastes, na subsolagem em área total para plantio de pinus a 60 cm de profundidade. Para isso, o tempo em trabalho produtivo e interrupções foram cronometrados, considerando cada linha de preparo como uma amostra. Além disso, o comprimento das linhas de preparo foi mensurado e a umidade do solo determinada em cada dia que a operação ocorreu. A partir dos dados foi calculada a disponibilidade mecânica, taxa de utilização do tempo disponível, taxa de utilização do tempo programado, produtividade e custo de produção da operação. O número de tocos em cada linha de preparo também foi quantificado para a verificação do impacto deles em perdas adicionais de tempo com manobras. O efeito do comprimento da linha de preparo e umidade do solo na produtividade da operação foi analisado por meio do modelo linear geral ($p < 0,05$). A produtividade média nas condições de estudo foi de $0,228 \text{ ha.PMH}_0^{-1}$ (ha.PMH_0^{-1} – hectares subsolados por hora-máquina produtiva livre de interrupções). Essa variável mostrou tendência de aumento à medida que o comprimento das linhas de preparo e umidade do solo foram maiores dentro da amplitude das condições de estudo. O custo de produção médio foi de R\$ 984,88 por hectare e apresentou tendência de aumento com a diminuição do comprimento da linha de preparo. O aumento do número de tocos na linha de preparo resultou em maiores perdas de tempo com manobras, porém esse tipo de interrupção não demonstrou alta representatividade nas interrupções, ocupando apenas cerca de 1,9% do tempo programado de trabalho. A partir do estudo foi possível concluir que o comprimento da linha de preparo mostrou-se uma variável passível de utilização para a predição da produtividade da subsolagem, podendo ser utilizada no planejamento dessa atividade.

Palavras-chave: Preparo do solo; Silvicultura; Indicadores operacionais; Custo de produção.

ABSTRACT

Soil preparation in forest plantations is essential for improving the availability of soil aeration and enable better root development s, as well as for their root gas exchange. However, this activity commonly has a high cost in forestry, which justifies efforts to better understand the influence of external factors on the performance and costs of this operation, allowing greater assertiveness in its planning. Thus, the objective of this study was to evaluate the operational performance and production costs of the 850J crawler tractor with 3-rod subsoiler, in subsoiling in a total area for pine plantations 60 cm deep. For this, the time in productive work and interruptions were recorded, considering each preparation line as a sample. In addition, the length of the tillage lines was measured and the soil moisture determined on each day that the operation took place. From the data, mechanical availability, rate of use of available time, rate of use of programmed time, productivity and production cost of the operation were calculated. The number of stumps in each preparation line was also quantified to verify their impact on additional time losses with maneuvers. The effect of tillage row length and soil moisture on the productivity of the operation was analyzed using the general linear model ($p < 0.05$). The results showed low mechanical availability and utilization rate, mainly due to the high time spent on maintenance. The average productivity under the study conditions was $0.228 \text{ ha.PMH}_0^{-1}$ (ha.PMH_0^{-1} – hectares tillage per productive machine hour). This variable showed a tendency to increase as the length of the tillage lines and soil moisture were greater. The average production cost was R\$ 984.88 per hectare and showed a tendency to increase with preparation line length decrease. The increase in the number of stumps in the preparation line resulted in greater losses of time with maneuvers, but this type of interruption did not show representativeness, occupying only about 1.9% of the scheduled work time. From the study, it was possible to conclude that the length of the tillage line proved to be a variable that can be used for the prediction of subsoiling productivity, and can be used in the planning of this activity.

Keywords: Soil preparation; Forestry; Operational indicators; Production cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Trator 850J John Deere acoplado com o subsolador de 3 hastes.	18
Figura 2 - Interface do aplicativo utilizado no estudo.	20
Figura 3 - Amostras do solo coletado antes da secagem.....	20
Figura 4 - Distribuição percentual das interrupções em operação de subsolagem em área total com trator 850J John Deere acoplado com o subsolador de 3 hastes.	26
Figura 5 - Tempo médio das interrupções ocasionadas por presença de tocos de pinus da rotação anterior nas linhas de preparo do solo.	27
Figura 6 – Representatividade do tempo efetivo de trabalho consumido nos elementos do ciclo operacional.....	28
Figura 7 - Produtividade (ha.PMH_0^{-1}) em função do comprimento de linha do preparo do solo na operação de subsolagem em área total.....	29
Figura 8 - Variação dos custos de produção em função do comprimento da linha de preparo do solo.	30
Figura 9 - Produtividade (ha.PMH_0^{-1}) da operação de subsolagem em área total em função umidade média do solo.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição do ciclo operacional do trator de esteira.....	19
Tabela 2 - Pressupostos assumidos para o cálculo do custo operacional horário da subsolagem em área total.	23
Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis estudadas na subsolagem em área total..	28
Tabela 4 - Custo operacional horário da subsolagem em área total.	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.1.1	Objetivo geral	12
1.1.2	Objetivos específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	SETOR FLORESTAL	14
2.2	PREPARO DO SOLO.....	14
2.3	ASPECTOS TÉCNICOS DA SUBSOLAGEM	15
2.4	ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS	16
3	METODOLOGIA	18
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2	OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO	18
3.3	COLETA DE DADOS	19
3.4	ANÁLISE DOS DADOS.....	21
3.4.1	Indicadores de desempenho operacional	21
3.4.1.1	<i>Disponibilidade mecânica</i>	21
3.4.1.2	<i>Taxa de utilização do tempo disponível</i>	21
3.4.1.3	<i>Taxa de utilização do tempo programado</i>	22
3.4.1.4	<i>Produtividade</i>	22
3.4.1.5	<i>Interrupções</i>	22
3.4.2	Custos operacionais	23
3.4.3	Análise estatística	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAL	25
4.2	MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO	29
4.3	CUSTOS OPERACIONAIS	31
5	CONCLUSÕES	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Mesmo durante os últimos anos de crise no mercado brasileiro, o setor de árvores plantadas seguiu investindo e mantendo nível de emprego (3,7 milhões de empregos gerados: diretos, indiretos e resultantes do efeito de renda) e, deve continuar crescendo nos próximos anos, uma vez que a projeção de investimentos até 2024 gira em torno de R\$ 57,4 bilhões (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ, 2021). Segundo os dados da Associação Catarinense de Empresas Florestais - ACR (2022), a área de florestas plantadas em Santa Catarina ocupa pouco mais de 1 milhão de hectares de área, sendo 713 mil hectares com pinus e 316 mil com eucalipto. Os resultados econômicos da silvicultura também chamam a atenção, visto que no último ano, o valor bruto da produção florestal de Santa Catarina foi de R\$ 1,38 bilhão, sem contar o faturamento dos outros segmentos da cadeia produtiva. Atualmente são 5,6 mil empresas relacionadas ao setor, que geram mais 90 mil empregos diretos em Santa Catarina.

Esses resultados somente são possíveis devido à aptidão edafoclimática brasileira para cultivos florestais e às boas práticas silviculturais, que cada vez mais vem sendo adotadas pelas empresas do ramo, visando o estabelecimento adequado das mudas que serão transplantadas. Dentre essas práticas, no cultivo de pinus, uma das principais é o preparo do solo, que melhora as condições físicas do solo que receberá as mudas, podendo gerar melhorias na disponibilidade de água e nutrientes e suportar o rápido crescimento das florestas plantadas (DEDECEK e GAVA, 2005).

Geralmente, dentre os métodos de preparo de solo, o mais utilizado pelos produtores florestais é o cultivo mínimo ou reduzido, o qual é realizado pela ação de um subsolador apenas na linha de plantio ou ainda por coveamento localizado realizado pelo método manual ou semimecanizado (GONÇALVES et al., 2002). Esse método prevê uma menor mobilização do solo, o que possibilita melhora nas condições físicas no local onde a muda será plantada, e ao mesmo tempo, promove maior proteção contra processos erosivos, uma vez que não há mobilização de solo nas entrelinhas (SARTORI, 2013).

Embora a adoção de práticas de cultivo mínimo seja uma tendência, alguns produtores florestais ainda optam por realizar o preparo do solo em área total, para isso realizam a desagregação e revolvimento das camadas subsuperficiais do solo por meio de subsolagem. Outro aspecto importante a ser considerado, é que

frequentemente, para o cultivo de florestas, a profundidade de preparo é superior àquelas adotadas para cultivos agrícolas. Assim, utilizando-se o preparo em área total em grandes profundidades, busca-se maximizar o volume de solo mobilizado e uniformizar o preparo em toda a área, de forma a favorecer o estabelecimento inicial da floresta.

Essas características denotam peculiaridades a esse tipo de operação florestal, pois além de não serem tão frequente na prática, normalmente envolve custos elevados para sua execução, o que pode oferecer riscos à viabilidade econômica dos plantios florestais. Nesse contexto, pesquisas destinadas ao conhecimento do desempenho operacional e custos de produção dessas operações são fundamentais para o sucesso econômico dos plantios florestais, pois possibilitam melhorias a serem implementadas *in loco*. Ademais, a determinação de relações entre os indicadores de desempenho e custos de produção em função de variáveis do processo são determinantes para o planejamento florestal (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2009).

Tendo em vista o exposto, o presente trabalho trabalha com as seguintes hipóteses: I) a produtividade e os custos de produção podem ser preditos em função do comprimento da linha de preparo com finalidade de uso no planejamento florestal; II) a umidade do solo influencia a produtividade da subsolagem em área total; e, III) a quantidade de tocos na linha de preparo afeta negativamente a taxa de utilização da operação devido a maior necessidade de levantar o implemento em relação ao nível do solo para desviar os tocos presentes na área.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse estudo é avaliar o desempenho e custo operacional do trator de esteira 850J com o subsolador de 3 hastes na subsolagem em área total para o plantio de pinus.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Determinar os indicadores operacionais relacionados ao uso do tempo e interrupções da operação de subsolagem;
- Determinação dos custos de produção da subsolagem;
- Estimar a produtividade e custos da operação em função de variáveis do processo;
- Determinar a influência da presença de tocos na linha de preparo quanto ao tempo em interrupções.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SETOR FLORESTAL

O setor florestal é um importante aliado da economia brasileira em franca expansão, contribuindo cada vez mais com a geração de empregos, arrecadação de tributos, mitigação dos danos ambientais e desenvolvimento social do país. O gênero *Pinus* se destaca nessa contribuição na região Sul do Brasil.

A atividade florestal de árvores plantadas registrou uma receita bruta de R\$ 116,6 bilhões, um crescimento de 17,6% em relação ao ano de 2018. A cadeia produtiva dos associados à Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ contribuiu com 1,2% na formação do produto interno bruto brasileiro no ano de 2019. Pensando também em desenvolvimento sustentável o setor tem investido para transformar resíduos e subprodutos dos processos das indústrias em produtos renováveis e inovadores (IBÁ, 2021).

Os plantios do gênero *Pinus* ocupam uma área de 2 milhões de hectares concentrando-se principalmente nos estados do Paraná e em Santa Catarina com 49% e 35% respectivamente, onde as condições edafoclimáticas favorecem uma alta produtividade de 34 a 37 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Além das condições favoráveis ao plantio do *Pinus* no Sul do Brasil é lá também que se encontram a maioria das empresas consumidoras desse produto (ACR – Associação Catarinense de Empresas Florestais, 2022).

2.2 PREPARO DO SOLO

O preparo do solo para o plantio de espécies florestais com finalidades econômicas tem por objetivo proporcionar que as interações da planta com o solo sejam as melhores possíveis. Além de ser o meio em que a muda se estabiliza, o solo disponibiliza água e nutrientes para suportar o rápido crescimento das florestas plantadas (ARTHUR JUNIOR, 2014).

Até o final da década de 80 o preparo do solo dos futuros plantios florestais se dava através da queima dos resíduos que ali estavam com um revolvimento intenso de toda a camada superficial do solo com equipamentos e maquinários semelhantes aos utilizados no setor agrícola (MOLIM e SILVA JÚNIOR, 2003). Esse modo de

preparo era muito intensivo e o risco de causar alguma degradação física, química e biológica no solo era grande. Com a rápida evolução científica e tecnológica da silvicultura brasileira surgiram outros métodos com menor intensidade (GONÇALVES et al., 2002).

Atualmente, o processo de preparo do solo mais utilizado pelos produtores florestais é o cultivo mínimo, o qual normalmente é realizado pela ação de um subsolador apenas na linha de plantio ou através de coveamento manual ou semimecanizado, resultando em menor mobilização do solo (GONÇALVES et al., 2002). Esse método promove maior proteção contra processos erosivos e uma disponibilidade gradativa de nutrientes, pois os resíduos vegetais da rotação anterior ficam dispostos nas entre-linhas (SARTORI, 2013).

O cultivo mínimo apresenta como suas principais vantagens manter ou melhorar as características físicas do solo, reduzir as perdas de nutrientes do ecossistema, manter ou elevar a atividade biológica do solo, reduzir os custos de implantação e reforma das florestas. Suas desvantagens são não conseguir manter a homogeneidade do crescimento inicial dos povoamentos florestais e maior dificuldade de combate às plantas invasoras e manejo da floresta (GONÇALVES et al., 2002).

2.3 ASPECTOS TÉCNICOS DA SUBSOLAGEM

Um dos motivos de preparar o solo é fornecer condições ideais ao crescimento radicular das mudas, sendo utilizados para isso diferentes tipos de implementos. Segundo Dedecek et al. (2007) as respostas das plantas não ocorrem diretamente ao preparo do solo, mas ao ambiente criado em função desta atividade, a qual favorece a movimentação da água, aeração e disponibilidade de nutrientes, sendo a profundidade a variável mais importante. Essas operações demandam energia, tempo e custos, as quais estão diretamente relacionadas à profundidade de trabalho e o número de operações.

Os implementos são ferramentas indispensáveis no preparo do solo e na área florestal o que mais se destaca é o subsolador devido aos seus benefícios às plantas e sua capacidade de trabalho ser maior com custo menor comparado ao escarificador (SASAKI et al, 2002).

Os subsoladores são implementos equipados com uma barra porta-ferramentas, na qual está presa uma haste de aço, objetivando aumentar o volume de

solo preparado. Este implemento pode ser arrastado ou acoplado ao sistema hidráulico do trator. As hastes possuem três formatos, reto, curva ou parabólica, sendo esta última mais usada no meio florestal por exigir menor força de tração. A subsolagem tem a função principal de romper camadas do solo maiores que 40 cm de profundidade e resultam no rompimento do solo para frente, para cima e para os lados, formando um corpo tridimensional triangular na linha de preparo (FESSEL, 2003).

A formação deste corpo tridimensional, que representa o volume de solo preparado, se deve ao efeito das aletas ou ponteiras. Bentivenha et al. (2003) estudou os efeitos da subsolagem no crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* fazendo uso de diferentes configurações de hastes e aletas. No período analisado, 11 meses após o plantio, não foram encontradas diferenças no crescimento inicial na comparação entre formatos da haste (reta inclinada e parabólica), nem com o tipo de ponteira (com asa e sem asa), ainda que ponteira da haste alada tenha proporcionado maior mobilização de solo, a qual foi cerca de 30% maior.

Outro efeito importante do preparo do solo na produtividade da floresta relaciona-se ao volume de solo preparado, sobretudo em solos coesos e/ou regiões com maior deficiência hídrica, porém cabe ao silvicultor ponderar a relação custo versus risco, os quais são inversamente proporcionais. Caso este opte em maiores investimentos, numa melhor condição de preparo do solo, assegurará maior ritmo de crescimento, homogeneidade e sobrevivência das mudas (SUITER FILHO et al., 1980).

2.4 ESTUDO DE TEMPOS E MOVIMENTOS

O estudo de tempos é a medição, classificação e posterior análise sistemática e crítica do consumo de tempo no trabalho, com o objetivo de reduzir o dispêndio de tempo sem utilidade. Já o estudo de movimento é a análise sistemática e crítica de movimentos de trabalho com o propósito de descrevê-los, reduzindo movimentos inúteis e organizando os restantes na melhor sequência para executar as operações (BARNES, 1977).

A partir desse tipo de estudo visa-se reduzir, controlar e padronizar o tempo necessário para realizar uma determinada tarefa, melhorando a produtividade no

processo produtivo de forma que seja executado da melhor forma possível (CASTRO et al., 2012).

Desse modo, esse estudo é muito utilizado para estimar a produtividade em busca da otimização das operações florestais, pois permite organizar os ciclos operacionais, avaliando os tempos consumidos para cada operação realizada e posteriormente pode possibilitar a redução dos custos de produção com alguns ajustes (FERNANDES et al., 2009).

Conforme Barnes (1977), os métodos mais usados no estudo de tempos e movimentos são:

a) Método de tempo contínuo: no método de tempo contínuo, o cronômetro não é zerado, realizando-se a leitura no ponto de medição e a anotação do tempo conforme indicado no cronômetro. O tempo individual dos elementos é obtido depois por subtração;

b) Método de tempo individual (leitura repetitiva): O observador inicia a cronometragem ao início de cada tarefa, quando ela é finalizada o cronômetro é pausado, a leitura é relatada na folha de observação e zera-se o cronômetro. Esse método fornece os tempos individuais sem precisar fazer a subtração, porém o observador deve ser treinado;

c) Método multimomento: Neste método o cronômetro não é zerado, girando continuamente, e não sendo medidos os tempos dos elementos, mas sim a frequência com que ocorrem em intervalos previamente definidos. Não se recomenda este método quando alguns elementos representam uma pequena fração de tempo, pois gera um maior erro na transcrição da frequência dos elementos.

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo pertence a uma empresa florestal que está situada em Caçador – SC, 26° 45' 17"S de latitude e 51° 04' 38"O de longitude, com aproximadamente 1000 m de altitude. Segundo a classificação de Köppen o clima predominante na região é do tipo "Cfb", também chamado de clima temperado úmido com verão temperado. A precipitação média anual fica entre 1600 mm e 1900 mm. A temperatura média anual é de 16,6°C e a umidade relativa média do ar é de 78,2% (ALVARES et al., 2014). De acordo com Embrapa (2004), as classes predominantes de solos da região dos povoamentos são cambissolos.

O estudo foi conduzido em uma área de reforma florestal, a qual havia sido colhida recentemente e possuía um povoamento de pinus com 39 anos de idade até o momento da colheita. Esse cultivo havia sido implantado com um espaçamento de 1,90 x 2,00 m e passou por 4 desbastes, portanto, os tocos daquelas árvores que remanesceram até o corte final estavam distribuídos de forma aleatória ao longo da área estudada. Os talhões analisados apresentavam declividade média que variava de 7° a 18°.

3.2 OPERAÇÃO DE PREPARO DO SOLO

O preparo do solo foi realizado por um subsolador acoplado a um trator de esteira da marca John Deere modelo 850J com lâmina frontal e subsolador de 3 hastes (Figura 1).

Figura 1 - Trator 850J John Deere acoplado com o subsolador de 3 hastes.



Fonte: O autor, 2022.

A subsolagem foi realizada a 60 cm de profundidade em área total, pois, conforme citado anteriormente, existiam tocos de grandes dimensões em toda a área, e como o espaçamento anteriormente utilizado era inferior aquele que seria adotado, não havia possibilidade de realizar o preparo somente nas entrelinhas da rotação anterior. Ademais, quando necessário, a lâmina dianteira era utilizada para desobstruir o caminho e retirar a vegetação de maior porte. A atividade de subsolagem foi realizada sempre em mesma marcha e por apenas um operador. O horímetro da máquina no início do estudo era de 7.150 horas.

3.3 COLETA DE DADOS

Os tempos da operação foram subdivididos em fases do ciclo operacional conforme Tabela 1, sendo considerado como um ciclo completo quando o trator subsolava uma determinada faixa e manobrava para começar outra faixa, quando o subsolador encostava no solo novamente para iniciar o preparo do solo, contabilizava-se o próximo ciclo. Portanto, cada faixa de preparo foi considerada como uma unidade amostral.

Tabela 1 - Descrição do ciclo operacional de trabalho na atividade de subsolagem em área total

Fase do ciclo	Descrição
Subsolagem	Tempo consumido pelo equipamento quando o subsolador está preparando o solo
Manobra	Tempo consumido pelo equipamento quando o trator está manobrando para começar uma nova faixa de preparo
Interrupções	Tempo referente a outras atividades que não são relacionadas ao ciclo de trabalho

Fonte: O autor, 2022.

A mensuração do tempo da operação foi efetuada por meio do aplicativo gratuito WorkStudy+6 com o objetivo de facilitar a coleta de dados do estudo (Figura 2).

Figura 2 - Interface do aplicativo utilizado no estudo.



Fonte: O autor, 2022.

Além dos registros dos tempos, em cada ciclo de trabalho, também foram medidas algumas variáveis do processo: comprimento da linha de preparo, umidade do solo e número de tocos.

O comprimento da linha de preparo do solo foi medido pelo aparelho TruPulse 360 e a largura dessa faixa por meio de 3 medições (início, meio e fim da linha de preparo) com trena métrica, contabilizando a média das observações.

A umidade do solo foi determinada antes da passagem do trator pela coleta de 3 amostras em cada dia, no mesmo horário de operação, analisado em duas profundidades (0 a 20 cm e 20 a 40 cm), totalizando 48 amostras. Essas foram pesadas antes e após serem secas em estufa a 105 ± 2 °C por 24 horas (Figura 3).

Figura 3 - Amostras do solo coletado antes da secagem.



Fonte: O autor, 2022.

O teor de umidade do solo para cada amostra foi determinado em base seca, conforme Equação 1.

$$U = \frac{(\mu - ms)}{ms} \times 100 \quad (1)$$

Em que: U = umidade do solo (%); μ = massa úmida (gramas); e ms = massa seca (gramas).

Por fim, foi contabilizado o número de tocos presentes em cada linha de preparo, com o objetivo de investigar as perdas de tempo decorrentes da necessidade de levantar o subsolador em relação ao nível do solo para a continuidade da operação.

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

3.4.1 Indicadores de desempenho operacional

A partir do estudo de tempos e movimentos, determinou-se alguns indicadores de desempenho operacional como a disponibilidade mecânica, taxa de utilização do tempo disponível (TU_{TD}), taxa de utilização do tempo programado (TU_{TP}) e produtividade. Além disso, foram analisados os tempos consumidos em cada fase do ciclo operacional e interrupções com suas respectivas causas.

3.4.1.1 Disponibilidade mecânica

Percentual do tempo programado de trabalho no qual a máquina está disponível mecanicamente para desempenhar sua função de trabalho de acordo com condições preestabelecidas conforme Equação 2 (CANTO, 2003).

$$DM = \frac{(TP - TM)}{TP} * 100 \quad (2)$$

Onde: DM = Disponibilidade mecânica (%); TP = Tempo programado para trabalho (horas); e TM = tempo em manutenção (horas).

3.4.1.2 Taxa de utilização do tempo disponível

É a percentagem do tempo utilizado em relação ao tempo disponível para trabalho (Equação 3), ou seja, desconsiderando-se o tempo despendido em manutenções.

$$TU_{TD} = \frac{(TP - TOI)}{(TP - TM)} * 100 \quad (3)$$

Em que: TU_{TD} = taxa de utilização do tempo disponível (%); TP = Tempo programado para trabalho (horas); TOI = tempo em outras interrupções (horas) e TM = tempo em manutenção (horas).

3.4.1.3 Taxa de utilização do tempo programado

É o percentual do tempo programado de trabalho efetivamente utilizado na execução do trabalho (Equação 4).

$$TU_{TP} = \frac{(TP - TM - TOI)}{TP} * 100 \quad (4)$$

Em que: TU_{TP} = taxa de utilização do tempo programado (%); TM = tempo em manutenção (horas); TP = Tempo programado para trabalho (horas) e TOI = tempo em outras interrupções (horas).

3.4.1.4 Produtividade

A determinação da produtividade do equipamento foi obtida através da razão entre a área total preparada em cada linha de preparo e o tempo despendido para tal (Equação 5). A produtividade foi determinada em hectares subsolados por hora-máquina produtiva livre de interrupções ($ha.PMH_0^{-1}$).

$$\text{Produtividade} = \frac{AT}{TE} \quad (5)$$

Em que: AT = área total subsolada (ha) e TE = tempo de trabalho efetivo (horas produtivas de trabalho, PMH_0);

3.4.1.5 Interrupções

Os tempos em interrupções que ocorreram durante o estudo foram classificados de acordo com o modelo proposto pela União Internacional de Organizações de Pesquisa Florestal (IUFRO) (BJÖRHEDEN et al, 1995).

3.4.2 Custos operacionais

O custo horário e de produção foram determinados conforme metodologia proposta pela FAO (1974). Todos os dados e taxas utilizadas (Tabela 2) foram obtidos com a empresa ou determinados à campo e são referentes ao período de maio/junho de 2019.

Tabela 2 – Pressupostos assumidos para o cálculo do custo operacional horário da subsolagem em área total.

Valor de aquisição – Trator + implemento (R\$)	648.000,00
Valor de revenda (% do valor de aquisição)	20
Vida útil (PMH ₀)	20.000
Vida útil (anos)	15
Taxa de seguro (%)	1,5
Taxa de juros (%)	4,2
Salário operador (R\$)	4.300,00
Consumo de combustível (L.PMH ₀ ⁻¹)	20,67
Preço do combustível (R\$.L ⁻¹)	3,27
Lubrificantes e óleo hidráulico (% combustível)	10
Preço da esteira (R\$)	10.000,00
Vida útil da esteira (PMH)	7.000,00
Número de esteiras	2
Índice de manutenção (% depreciação)	60
Taxa de administração (%)	10
Nº horas efetivas trabalhadas anualmente (PMH ₀ ano ⁻¹)	1309

Fonte: O autor, 2022.

3.4.3 Análise estatística

O erro de amostragem relativo da produtividade (Equação 6) foi determinado conforme Murphy (2005).

$$E = \frac{t \cdot \sigma \cdot 100}{\sqrt{n} \cdot \bar{x}} \quad (6)$$

Em que: E = erro de amostragem relativo (%); t = t de Student para o nível de 5% de significância; σ = desvio padrão da produtividade (ha.PMH₀⁻¹); n = número de ciclos de trabalho coletados; \bar{x} = média da produtividade (ha. PMH₀⁻¹).

A estatística descritiva foi usada por meio de medidas de tendência central e dispersão para descrever os tempos consumidos nos elementos do ciclo de trabalho, produtividade, custo de produção, comprimento da linha de preparo e umidade do solo no momento da subsolagem. O tempo das interrupções em manobras devido a existência de tocos na linha de preparo também foi avaliado de forma descritiva e por meio de análise de regressão de Pearson (r , $p < 0,05$).

Análise de regressão linear foi utilizada para o ajuste de equações para prever a produtividade e custos de produção em função do comprimento da linha de preparo e umidade média do solo (0 a 40 cm). As estatísticas de ajuste avaliadas nas equações foram o coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão da estimativa percentual ($S_{yx}\%$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo foram analisados 251 ciclos operacionais, sendo que o erro de amostragem relativo foi de 4,1%. Dessa forma obteve-se suficiência amostral no estudo de acordo com o erro máximo estipulado de 5%.

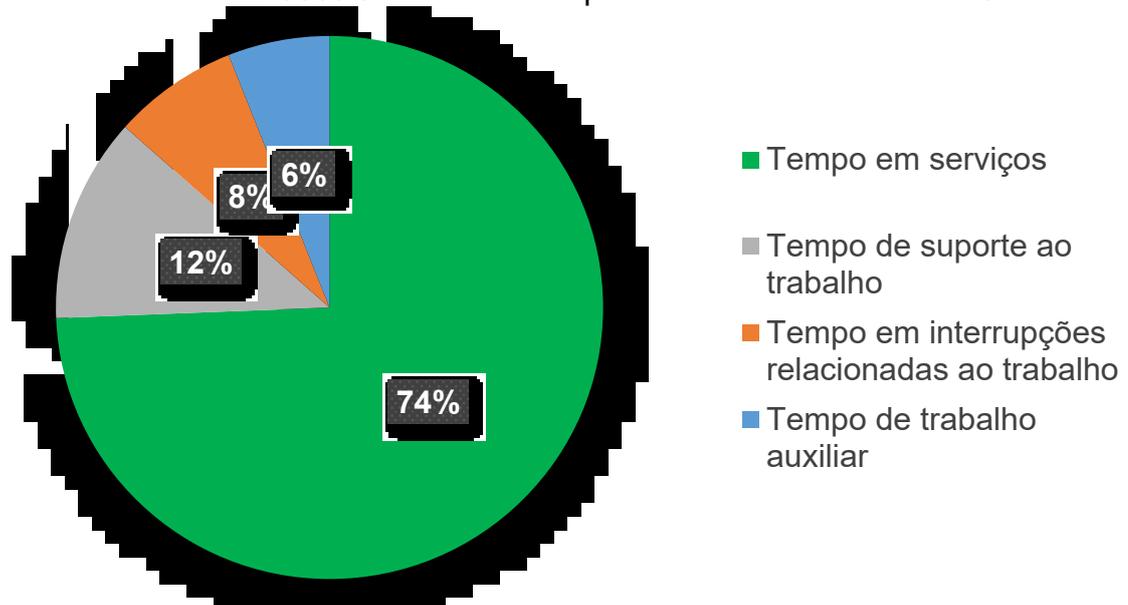
4.1 INDICADORES DE DESEMPENHO OPERACIONAL

A disponibilidade mecânica encontrada foi de 71,9%, a taxa de utilização do tempo disponível foi de 86,5% e a do tempo programado 62,2%. Contudo, vale ressaltar que o presente estudo teve escopo de curto prazo, podendo não ser tão preciso quanto a estimativa desses indicadores em relação ao que acontece a médio e longo prazo a campo. Magagnotti e Spinelli (2012) preconizam estudos de longo prazo para o acompanhamento desses indicadores operacionais.

A disponibilidade mecânica foi baixa quando comparada a outros estudos. Simões et al (2011) encontram uma disponibilidade mecânica de 96,96%. Campos (2013) menciona que os valores médios ideais devam permanecer próximo de 90%, inferindo valores de 82,87% e 96,17% em seu estudo. No entanto, a adoção de valores de referência também deve levar em consideração as horas que o maquinário já foi utilizado, pois há tendência de diminuição da disponibilidade mecânica com o passar da vida útil das máquinas devido à maior necessidade de manutenções.

As principais interrupções foram ocasionadas pelos tempos em serviços que englobam reparos, manutenção e reabastecimento (Figura 4). Além disso, destaca-se outras manutenções que ocorreram durante o estudo, como limpeza da esteira para livrar os roletes e não os superaquecer, lubrificação geral, aperto de parafusos, limpeza do subsolador para que as mangueiras não sofressem possíveis injúrias e manutenção preventiva. O tempo despendido com manutenção pode ser reduzido através do imediato deslocamento de suporte mecânico e um maior planejamento para que as manutenções passem de corretivas para preventivas, aumentando assim a taxa de utilização e reduzindo os custos da operação (LINGNER, 2017).

Figura 4 - Distribuição percentual das interrupções em operação de subsolagem em área total com trator 850J John Deere acoplado com o subsolador de 3 hastes.



Fonte: O autor, 2022.

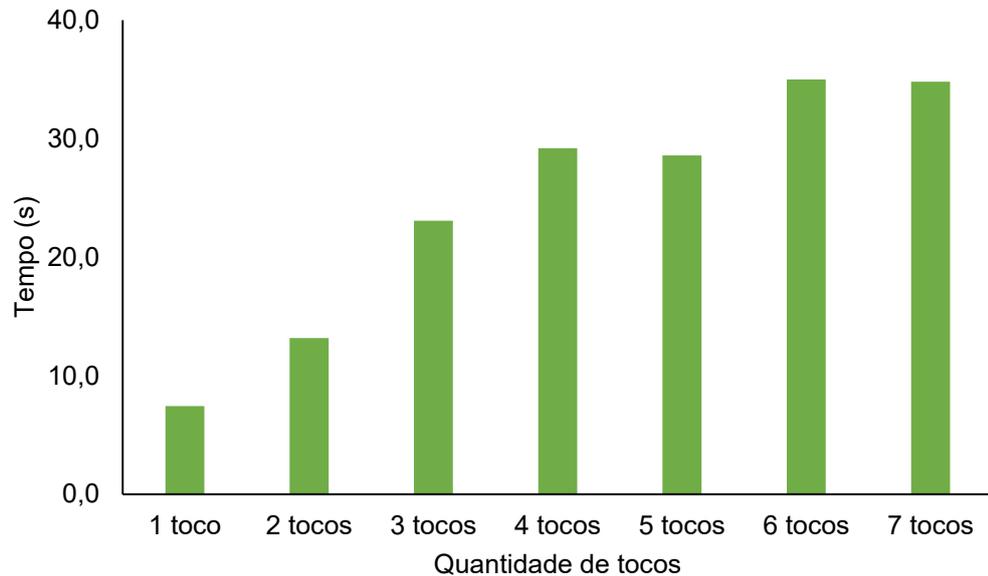
O elevado tempo em interrupções relacionadas a manutenção exerceu influência na taxa de utilização do tempo programado, que apresentou valor inferior aos recomendados por Deere e Company (1975), Folle e Franz (1990), Stone e Silveira (2001) e Molin e Milan (2002), que preconizaram um percentual de 70 a 90% para esse indicador de eficiência de uso do tempo. Contudo, Simões, Silva e Fenner (2011) encontraram um valor médio de 61,35% para essa variável, resultado próximo ao do presente estudo.

O tempo de suporte ao trabalho (apontamento, diálogo com o líder, rádio e mudança de área), tempo de trabalho auxiliar (limpeza do terreno) e tempo em interrupções relacionadas ao trabalho (necessidades fisiológicas, toco na linha preparada) representaram em torno de 14,5% do tempo programado de trabalho, tendo menor impacto sobre as taxas de utilização de tempo quando comparados às interrupções relacionadas à manutenção do equipamento.

A quantidade de tocos nas linhas de preparo do solo influenciou o tempo efetivo de trabalho de forma negativa (Figura 5), pois quanto maior o número de tocos na faixa preparada, maior foi o tempo gasto com manobras para desviar o toco, visto que possui um elevado diâmetro. Contudo, embora o número de tocos tenha se relacionado positivamente com tempo gasto ($r = 0,76$, $p < 0,01$), essa classe de interrupção apresentou pouca representatividade no tempo total em interrupções, em

torno de 2%, sendo a mesma englobada na classe de interrupções relacionadas ao trabalho (Figura 4).

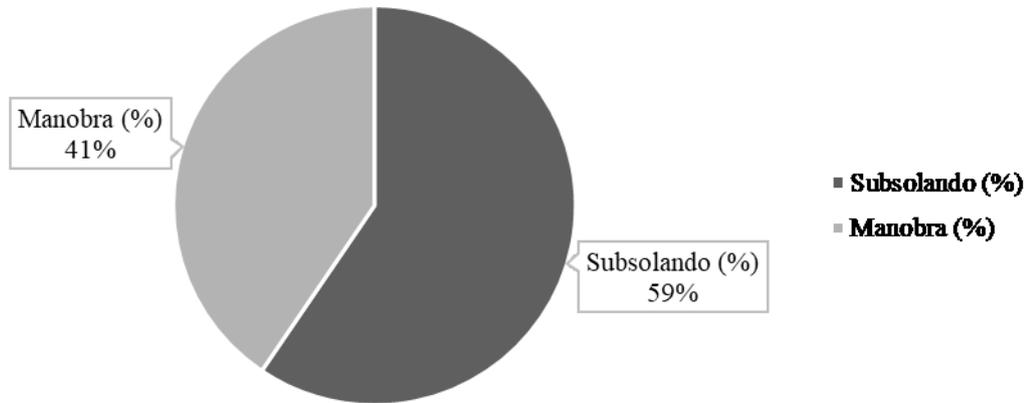
Figura 5 - Tempo médio das interrupções ocasionadas por presença de tocos de pinus da rotação anterior nas linhas de preparo do solo.



Fonte: O autor, 2022.

O conjunto mecanizado analisado apresentou maior dispêndio de tempo em subsolagem quando comparado ao tempo gasto em manobra (Figura 6). Entretanto, ainda assim pode-se considerar elevada a participação das manobras no ciclo de trabalho. Isso ocorreu devido às linhas de trabalho serem majoritariamente curtas (abaixo de 50 m), pois a definição dos talhões na região de estudo é realizada de acordo com o relevo. Além disso a presença de pedras na área também pode ter contribuído para a alta participação das manobras no ciclo de trabalho.

Figura 6 – Representatividade do tempo efetivo de trabalho consumido nos elementos do ciclo operacional.



Fonte: O autor, 2022.

Simões et al. (2011) avaliaram a operação de subsolagem em uma área de reforma considerando diferentes declividades e inferiram uma representatividade de média de 65% da subsolagem em relação ao tempo de trabalho programado, o que pode ser explicado pelas diferenças relacionadas ao comprimento médio da linha de preparo e pedregosidade da área estudada por eles. Contudo, os autores não controlaram esses fatores em seu estudo.

As variáveis estudadas apresentaram coeficientes de variação elevados (32,9% a 64,6%) devido ao fato de existirem grandes amplitudes entre valores máximos e mínimos (Tabela 3). Um dos fatores que levaram a ocorrência dessas grandes amplitudes foi a elevada variabilidade dos tempos consumidos na operação.

Tabela 3 - Estatística descritiva das variáveis estudadas na subsolagem em área total.

Variável	n	média	σ	CV (%)	Mín.	Máx.	Curt.	Assim.
Sub. (s)	251	154,3	90,0	58,4	19,4	405,0	-0,5	0,6
Man. (s)	251	105,1	60,7	57,8	4,9	340,1	1,1	1,2
TT ef. (s)	251	259,4	121,3	46,8	24,3	622,0	-0,2	0,4
Pr (ha.PMH ₀ ⁻¹)	251	0,228	0,006	32,9	0,06	0,357	-0,97	-0,36
CL (m)	251	65,9	42,6	64,6	7,6	231,2	0,6	0,9

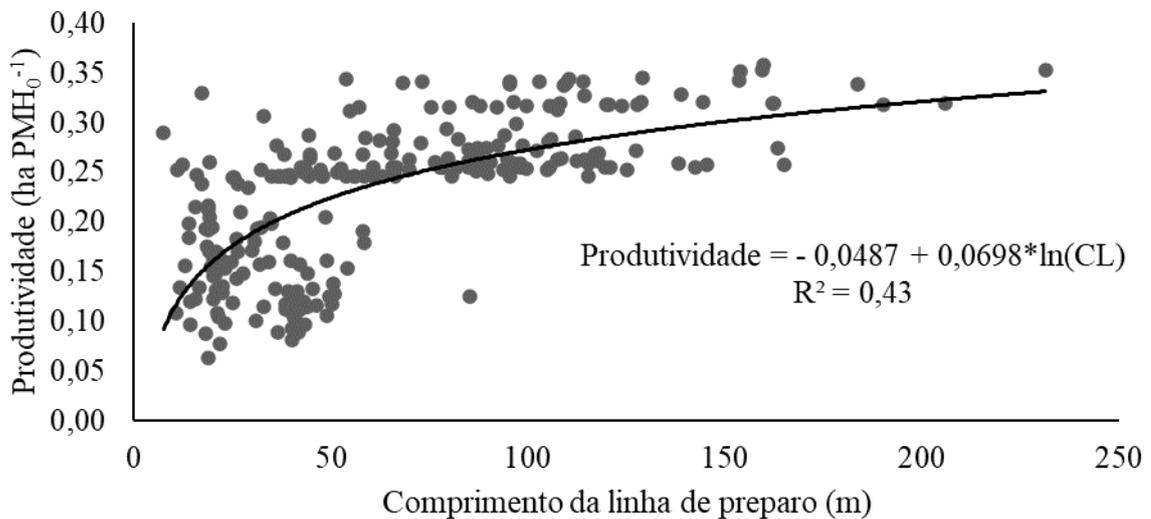
Legenda: Sub. = subsolagem; Man. = manobra; TT ef.: tempo total efetivo; Pr: produtividade; CL = comprimento de linha do preparo; n = número de amostras; σ = desvio padrão; CV = coeficiente de variação; Mín. = mínimo; Máx. = máximo; Curt. = curtose; Assim. = assimetria;

Fonte: O autor, 2022.

4.2 MODELAGEM DA PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO

A produtividade média da subsolagem foi de $0,228 \text{ ha.PMH}_0^{-1}$, apresentando tendência de aumento à medida que o comprimento da linha de preparo foi maior ($p < 0,01$). A relação entre essas variáveis apresentou comportamento logarítmico (Figura 7), com coeficiente de determinação de 0,43 e erro padrão da estimativa de 24,3%.

Figura 7 - Produtividade (ha.PMH_0^{-1}) em função do comprimento de linha do preparo do solo na operação de subsolagem em área total.

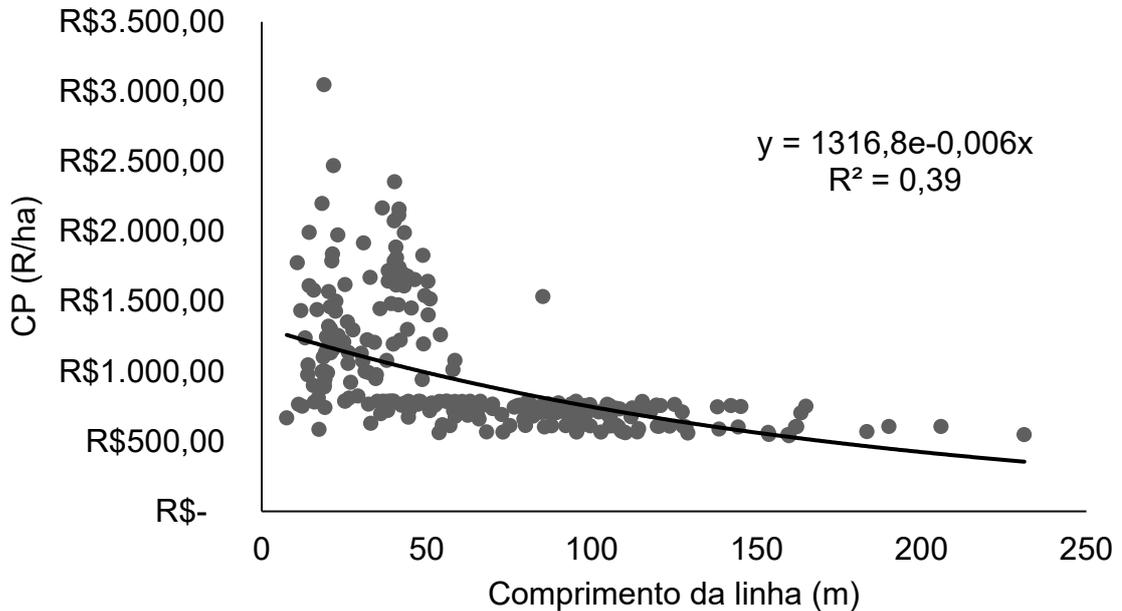


Fonte: O autor, 2022.

Um estudo de preparo do solo realizado no estado do Espírito Santo por Neto et al (2013) com um cabeçote coveador chegou a produção de $1,2 \text{ ha.dia}^{-1}$ em uma área com declividade de 19 a 22°. Simões et al. (2011) afirma que o aumento da declividade é uma variável que está correlacionada diretamente à diminuição da produtividade e aumento do custo de produção.

Por outro lado, esse comportamento foi contrário na análise dos custos de produção, que apresentou valor médio de R\$ 984,88 por hectare. De forma geral, houve aumento do custo para menores comprimentos da linha de preparo (Figura 8), como reflexo do efeito do comprimento da linha de preparo sobre a produtividade da operação, o qual está relacionado à participação das manobras no ciclo de trabalho efetivo.

Figura 8 - Variação dos custos de produção em função do comprimento da linha de preparo do solo.



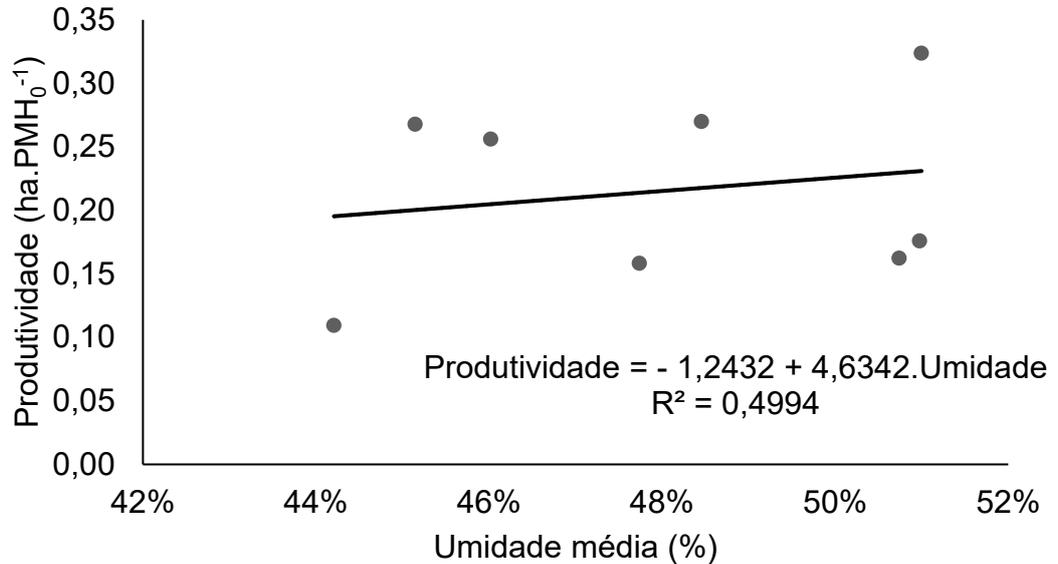
Fonte: O autor, 2022.

Em menores comprimentos da linha de preparo, as manobras possuem uma maior representatividade no ciclo de trabalho efetivo, ao passo que a tendência contrária é observada para os maiores comprimentos. O coeficiente de correlação de Person entre a representação percentual das manobras no ciclo de trabalho efetivo e o comprimento da linha de preparo foi de -0,61 ($p < 0,01$), confirmando a relação negativa entre as essas variáveis.

É importante salientar que uma taxa de utilização do maquinário superior a encontra no estudo resultaria em custos menores pois a produtividade iria aumentar em um mesmo espaço de tempo considerado.

Outra variável que influenciou na produtividade foi a umidade (Figura 9). Alguns pesquisadores como (Gava, 2002; Gonçalves, 2002; Sasaki et al., 2002), afirmam que a subsolagem é mais eficiente se realizada em teores de água mais baixos e que isso pode ser atribuído à maior força de coesão entre as partículas do solo. É importante ressaltar que a umidade do solo na área de estudo não era elevada a ponto de influenciar a patinação do trator e contribuir para o aumento no tempo de trabalho.

Figura 9 - Produtividade (ha.PMH₀⁻¹) da operação de subsolagem em área total em função umidade média do solo.



Fonte: O autor, 2022.

Nichols et al. (1958) afirmam que quanto mais coeso o solo, mais eficiente é a propagação dos efeitos da subsolagem nos seus planos de cisalhamento (à frente, acima e lateralmente à haste subsoladora). Outro fator que deve ser considerado é o efeito lubrificante da água, que é reduzido quando o solo está mais seco, proporcionando maior mobilização (SASAKI e GONÇALVES 2002).

4.3 CUSTOS OPERACIONAIS

O custo operacional horário foi de R\$ 193,32 PMH₀⁻¹ com maior representatividade do custo com combustível, seguido de pessoal operacional e depreciação (Tabela 4). Simões et al (2013) corroboram com o presente estudo ao relatarem o custo com combustível como o mais representativo em seu estudo, representando cerca de 39% do custo operacional horário. Ibañes e Rojas (1994) também corroboram a esses resultados relatando uma representação de 35 a 45% dessa categoria no custo de produção.

O custo com combustível encontrado por Simões, Silva e Fenner (2013) foi de 39% sendo o mais representativo também, o qual fundamentalmente segundo representa 35% a 45% do custo total de produção, seguido de custo de mão-de-obra com 18% e, do custo de manutenção que representou 12%, sendo esse um importante

indicador do momento ótimo para a substituição do conjunto mecanizado (BAIO et al, 2004).

Tabela 4 - Custo operacional horário da subsolagem em área total.

Categoria de custo	(R\$.PMH ₀ ⁻¹)	%
Custos Fixos		
Depreciação	25,92	13,4
Juros e seguros	17,66	9,1
Pessoal operacional	39,41	20,4
Custos Variáveis		
Combustível	67,59	35
Lubrificantes e óleo hidráulico	6,76	3,5
Rodados	2,86	1,5
Manutenção	15,55	8
Custo administrativo	17,57	9,1
Custo operacional horário	193,32	100

Fonte: O autor, 2022.

Alguns dos fatores que justificam esses valores encontrados é a demanda de maior exigência de potência do trator utilizado devido ao fato de preparo do solo ser em área total, custo elevado de aquisição do equipamento, além da função do maior consumo de combustível que onera o custo variável, sendo esse o maior custo encontrado.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados desse estudo foi possível concluir que:

- As interrupções foram ocasionadas principalmente por tempos em manutenção, o que se refletiu em baixa disponibilidade mecânica do maquinário e influenciou a taxa de utilização do tempo programado.
- A quantidade de tocos nas linhas de preparo do solo influenciou o tempo efetivo do trabalho de forma negativa, embora tenha apresentado baixa representatividade dentre as interrupções.
- O comprimento da linha de preparo mostrou-se uma variável passível de utilização para a predição da produtividade da subsolagem, podendo ser utilizada no planejamento dessa atividade.
- O custo de produção médio foi de R\$ 984,88 ha⁻¹ e apresentou tendência de aumento com a diminuição do comprimento da linha de preparo, sendo o custo com combustível o mais representativo, seguido de pessoal operacional e depreciação.

REFERÊNCIA

ACR – **Associação Catarinense de Empresas Florestais**. Anuário Estatístico de Base Florestal para o estado de Santa Catarina 2022 (Ano base 2021). 2022.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G.. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, n. 6, p. 711-728, 2014.

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

BENTIVENHA, S. R. P.; GONÇALVES, J. L. M.; SASAKI, C. M.; Mobilização do solo e crescimento inicial do eucalipto em função do tipo de haste subsoladora, profundidade de trabalho e características do solo. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.588605, set./dez. 2003.

BJÖRHEDEN, R.; APEL, K.; SHIBA, M.; THOMPSON, M. A. **IUFRO Forest work study nomenclature**. Garpenberg: Department of Operational Efficiency, Swedish University of Agricultural Science, 1995. 16 p.

CASTRO, D. R. C.; RAMOS, M. O.; COSTA, D. O. C. Estudo de Tempos e Movimentos no Processo de Flow Rack em uma Empresa de Distribuição. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2012, BENTO GONÇALVES, RS. **Anais....** Bento Gonçalves, 2012.

CANTO, J. L. **Avaliação de desempenho operacional de Harvester e Forwarder na colheita de *Pinus taeda***. 2003. 54f. Relatório de Estágio (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

DEDECEK, R. A.; GAVA, J. L.; Influência da compactação do solo na produtividade da rebrota de eucalipto. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.383- 390, 2005.

DEDECEK, R. A.; CURCIO, G. R.; RACHWAL, M. F. G.; SIMON, A. A.; Efeitos de sistemas de preparo do solo na erosão e na produtividade da acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 205-215, jul-set, 2007.

EMBRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina (Boletim de desenvolvimento e pesquisa)**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos – CNPS. 2004. 745p.

FAO. **Logging and log transport in manmade forests in developing countries**. Roma: 1974. 90p. (Forest Paper - FAO, 18).

FERNANDES, H. C.; LOPES, S. E.; TEIXEIRA, M. M.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N.; BERNARDES, A. M. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 225-232, 2009.

FESSEL, V. A. G.; **Qualidade, desempenho operacional e custo de plantios, manual e mecanizado, de *Eucalyptus grandis*, implantados com cultivo mínimo de solo**. Piracicaba, 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

FOLLE, S. M.; FRANZ, C. A. B. **Trator agrícola: características e fundamentos para sua seleção**. 1990.

DE CAMPOS, A. A.; **Desempenho operacional e análise de custos da implantação florestal mecanizada de eucalipto**. Jerônimo Monteiro, 2013. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L.; 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*. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.27, n.5, p.635-646, 2003.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L.; 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: IPEF, 2002. 498p.

IBÁ – **Indústria Brasileira de Árvores**; Relatório Anual 2021 (Ano base: 2020). 121 p. 2021. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2022.

IBAÑEZ, M. *et al.* Costos de operación y producción por concepto de maquinaria agrícola. Chile, [s. n.], 1979.

MOLIN, J. P.; SILVA JÚNIOR, R. L. da. **Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade**. Engenharia Rural, Piracicaba, v. 14, p. 49-58, 2003.

MOLIN, J. P. *et al.* Determinação de parâmetros de desempenho de colheita mecanizada utilizando dados geo-referenciados. In: **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, Anais...**, Piracicaba: Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2002.

MURPHY, G. Determining sample size for harvesting cost estimation. **New Zealand Journal of Forestry Science**, Rotorua, v. 35, n. ½, p. 166 - 169, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, E. D.; SEIXAS, F.; BATISTA, J. L. F. Produtividade de feller-buncher em povoamento de eucalipto em relevo acidentado. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 905-912, dez. 2009. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/16327/10799>>. Acesso em: 08 mar. 2021.

ARTHUR JUNIOR, J. C. Preparo do solo. **Opiniões**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 34, p. 12-13, dez.-fev. 2014. Disponível em: <

<https://issuu.com/opinioesbr/docs/opcp34?fr=sYTA2NDEzOTgzMDA>>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SARTORI, M. S. **Proposta de otimização para reflorestamento de eucalipto utilizando multiprodutos**. 2013. 70 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

SASAKI, C.M.; BENTIVENHA, S.R.P.; GONÇALVES, J.L.M. Configurações básicas de subsoladores florestais. In: GONÇALVES, J.L.M.; STAPE, J.L. **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. Piracicaba: IPEF, 2002. cap 12, p.393-407.

SIMÕES, Danilo; SILVA, Magali Ribeiro da; FENNER, Paulo Torres. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, p. 692-700, 2011.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 395-401, 2001.

SUITER FILHO, W.; REZENDE, G. C.; MENDES, C. J.; CASTRO, P. F.; Efeitos de diversos métodos de preparo de solo sobre o desenvolvimento de *Eucalyptus grandis* hill (ex. Maiden) plantado em solos com camadas de impedimento. **Circular Técnica** N° 60, IPEF, 1980.