

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Paulo Willy Becker Reichl

Desempenho e custos do coveamento semimecanizado de brocas de perfuração em solo muito argiloso para plantio de mudas.

Curitibanos, SC

2025

Paulo Willy Becker Reichl

Desempenho e custos do coveamento semimecanizado de brocas de perfuração em solo muito argiloso para plantio de mudas.

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Bonazza.

Curitiba, SC

2025

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.

Dados inseridos pelo próprio autor.

Reichl, Paulo Willy Becker

Desempenho e custos do coveamento semimecanizado de brocas de perfuração em solo muito argiloso para plantio de mudas. / Paulo Willy Becker Reichl ; orientador, Marcelo Bonazza, 2025.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Coveamento semimecanizado. 3. Motocoveador. 4. Mecanização Florestal. 5. Engenharia Florestal. I. Bonazza, Marcelo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Paulo Willy Becker Reichl

Desempenho e custos do coveamento semimecanizado de brocas de perfuração em solo muito argiloso para plantio de mudas.

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 27 de novembro de 2025.



Documento assinado digitalmente

MARCELO BONAZZA

Data: 09/12/2025 16:59:26-0300

CPF: ***.641.899-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Bonazza
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

MARCELO BONAZZA

Data: 09/12/2025 16:59:53-0300

CPF: ***.641.899-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Bonazza
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

MARCELO CALLEGARI SCIPIONI

Data: 09/12/2025 19:17:56-0300

CPF: ***.081.889-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Marcelo Callegari Scipioni
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente

Djalma Eugenio Schmitt

Data: 09/12/2025 17:45:02-0300

CPF: ***.180.539-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Dr. Djalma Eugênio Schmitt
Avaliador

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, à minha noiva e a Deus.

AGRADECIMENTOS

À Deus (YHWH), pela guiança física e espiritual ao longo desta jornada acadêmica que se iniciou em 2016, no curso de Agronomia. Que esse trabalho reflita não apenas esforço humano, mas também a graça divina que me conduziu até aqui.

À minha noiva, Jéssica Casali, cuja fé, amor e companheirismo foram de suma importância para que eu desenvolvesse este trabalho. Que esse trabalho também seja um testemunho da nossa caminhada juntos.

Aos meus pais, agradeço profundamente por todo o apoio, incentivo e cobrança que permitiram que eu me dedicasse aos estudos e terminasse a graduação.

Aos professores Marcelo Bonazza e Djalma Eugênio Schmitt, que gentil e atenciosamente colaboraram com o suporte técnico no desenvolvimento desse trabalho.

Agradeço ao CNPq (406062/2023-4) pelo suporte na aquisição de equipamentos e ferramentas que possibilitaram a realização deste trabalho.

Aos professores Marcelo Callegari Scipioni, Vinicius Costa Cysneiros, Joni Stolberg e Eduardo Marques Martins que contribuíram com paciência e compromisso para que eu concluísse suas respectivas disciplinas.

A todos os supracitados, minha profunda gratidão.

“A natureza fornece o que é suficiente, o homem é que transforma o suficiente em
escassez” (Epicuro, 300 a.C., p.88)

RESUMO

Este trabalho avaliou o desempenho operacional e os custos do coveamento semimecanizado em solo muito argiloso (Nitossolo Bruno), utilizando duas brocas de geometrias distintas acopladas a um motocoveador Stihl BT131: uma broca espiral (200 mm) e uma broca triangular vazada (260 mm). O estudo foi conduzido na Área Experimental Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina. Devido as condições do solo e para melhorar a ergonomia durante a operação, o experimento foi conduzido por dois operadores simultaneamente. Foram conduzidas análises de tempos e movimentos, caracterização física do solo, qualidade das covas e estimativa de custos operacionais. A caracterização das covas apontou que a broca espiral produziu covas mais profundas, embora tenha revolvido menor quantidade de solo, em comparação com a broca vazada. As análises de solo foram realizadas em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm). A granulometria apresentou teor médio de 65,09% de argila, 29,91% de silte e 5,00% de areia na camada 0-20 cm, enquanto para a camada 20-40 cm obteve-se um teor médio de 68,50% de argila, 26,35 de silte e 5,14% de areia. Os limites de liquidez e plasticidade apresentaram um valor médio de 42,82% e 36,13% para a camada 0-20 cm e 43,41% e 38,02% para a camada 20-40 cm, respectivamente. Os resultados mostraram que a broca espiral apresentou produtividade média de 130,6 covas/PMH₀, tempo consumido médio de 5,2 PMH₀/ha, custo operacional horário de 59,35 e custo de produção de R\$ 309,10/ha, enquanto a broca vazada apresentou produtividade média de 57,6 covas/PMH₀, tempo consumido médio de 12,2 PMH₀/ha, custo operacional horário de 55,41 e custo de produção de R\$ 678,23/ha. Conclui-se que a broca espiral é a alternativa mais eficiente, estável e economicamente viável para o coveamento semimecanizado em solos muito argilosos com umidade abaixo do limite de plasticidade.

Palavras-chave: mecanização florestal; produtividade operacional; *Araucaria angustifolia*.

ABSTRACT

This study evaluated the operational performance and costs of semi-mechanized pit digging in a highly clayey soil (Bruno Oxisol), using two auger designs attached to a Stihl BT131 motorized auger: a helical auger (200 mm) and a hollow triangular auger (260 mm). The experiment was conducted at the Forest Experimental Area of the Federal University of Santa Catarina. Due to soil conditions and to improve operator ergonomics, the operation was carried out by two operators simultaneously. Time and motion analysis, physical soil characterization, pit quality evaluation, and operational cost estimation were performed. The pit analysis showed that the helical auger produced deeper pits, despite displacing less soil than the hollow auger. Soil samples were collected at two depths (0–20 cm and 20–40 cm). The 0–20 cm layer contained 65.09% clay, 29.91% silt, and 5.00% sand, while the 20–40 cm layer had 68.50% clay, 26.35% silt, and 5.14% sand. Liquid and plastic limits averaged 42.82% and 36.13% in the 0–20 cm layer, and 43.41% and 38.02% in the 20–40 cm layer, respectively. Results indicated that the helical auger achieved an average productivity of 130.6 pits/PMH_o, with an average time of 5.2 PMH_o/ha, hourly operational cost of R\$ 59.35, and production cost of R\$ 309.10/ha. In contrast, the hollow auger reached 57.6 pits/PMH_o, consumed 12.2 PMH_o/ha, and incurred higher costs of R\$ 55.41/hour and R\$ 678.23/ha. It is concluded that the helical auger is the most efficient, stable, and economically viable option for semi-mechanized pit digging in highly clayey soils with moisture content below the plastic limit.

Keywords: forest mechanization; operational productivity; *Araucaria angustifolia*.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	IMPORTÂNCIA DO COVEAMENTO NA SILVICULTURA	14
2.2	INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO.....	14
2.3	ESTUDO DE TEMPO E MOVIMENTOS	16
2.4	desempenho operacional e custos	17
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.2	OPERAÇÃO DE COVEAMENTO	19
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	21
3.4	COLETA DE DADOS	21
3.4.1	Estudos de Tempos e Movimentos	21
3.4.2	Análises Físicas do Solo	22
3.4.3	Caracterização das Dimensões das Covas	23
3.4.4	Custos Operacionais	23
3.5	ANÁLISE DE DADOS	24
3.5.1	Desempenho Operacional	24
3.5.2	Análises Físicas do Solo	25
3.5.3	Caracterização Das Dimensões Das Covas.....	26
3.5.4	Custos Operacionais	26
3.5.5	Análise Estatística.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO SOLO.....	27

4.1.1	Textura.....	27
4.1.2	Limites de <i>Atterberg</i> (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade).....	28
4.2	QUALIDADE DAS COVAS	30
4.3	COMPARAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E CUSTO OPERACIONAL.....	32
5	CONCLUSÃO.....	39
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal no Brasil possui uma grande importância econômica, sendo responsável por uma parcela significativa da produção mundial de celulose, papel, painéis de madeira e biomassa energética. Atualmente o Brasil conta com mais de 10 milhões de hectares de florestas plantadas, predominando espécies de rápido crescimento, como o eucalipto e o pinus, que se destacam pela produtividade, em decorrência das condições edafoclimáticas e também do manejo intensivo com o auxílio da tecnologia (IBÁ, 2024). A competitividade e expansão do setor florestal estão intimamente ligadas à eficiência das práticas silviculturais, principalmente o preparo do solo e o coveamento, que são etapas importantes para o sucesso no estabelecimento de povoamentos florestais (HAKAMADA *et al.*, 2013).

A preparação do solo impacta positivamente no estabelecimento e no crescimento inicial das mudas, pois estabelecem condições físicas que favorecem o enraizamento, a disponibilidade hídrica, a aplicação de corretivos e fertilizantes, bem como diminui a competição com plantas espontâneas (GATTO, 2003). O coveamento, que pode ser realizado de forma manual, semimecanizado e mecanizado, é uma etapa fundamental do preparo do solo em plantios florestais. Essa etapa do preparo do solo torna-se ainda mais relevante em plantios de menores dimensões, áreas de restauração ecológica ou em terrenos declivosos que apresentam restrições para o uso de maquinário pesado.

O plantio de mudas de maior porte tem se destacado como uma estratégia eficiente para a recuperação de áreas degradadas, especialmente em projetos de migração assistida, que buscam aumentar a taxa de sobrevivência das espécies nativas e adaptadas ao ambiente local. Mudas mais desenvolvidas, como as de *Araucaria angustifolia*, apresentam maior resistência às condições adversas, como competição com plantas invasoras, déficit hídrico e ataques de herbívoros, favorecendo o estabelecimento inicial e o crescimento vigoroso das plantas. Além disso, o uso de mudas de maior porte em projetos de migração assistida contribui para acelerar o processo de restauração ecológica, pois essas mudas tendem a superar mais rapidamente os estágios críticos de desenvolvimento, reduzindo a mortalidade de mudas e aumentando a eficiência do reflorestamento (Maran *et al.*, 2016; Sanquetta *et al.*, 2005). Estudos indicam que a adoção dessa abordagem, aliada ao manejo adequado do solo e ao acompanhamento técnico, potencializa a recuperação de ecossistemas degradados, promovendo maior diversidade florística e funcionalidade ambiental (Machado *et al.*, 2024).

Nesse contexto, para potencializar os benefícios do plantio de mudas de maior porte, torna-se fundamental adotar métodos de preparo do solo que atendam às necessidades dessas plantas e às características das áreas a serem recuperadas. O coveamento semimecanizado, que utiliza motocoveadores com diferentes tipos de brocas acopladas, surge como uma solução intermediária entre o coveamento manual e o mecanizado, contribuindo para o sucesso dos projetos de restauração. Esse sistema operacional tem se mostrado eficaz para manter o equilíbrio entre produtividade e redução de custos, possibilitando a realização de plantios em áreas onde o coveamento totalmente mecanizado é inviável e, ao mesmo tempo, diminuindo o esforço físico exigido do operador em comparação ao coveamento manual (SILVA *et al.*, 2007).

Embora aspectos como a ergonomia do trabalhador no coveamento semimecanizado já tenham sido abordadas em estudos como os realizados por Guedes *et al.* (2010), Silva *et al.* (2007), Reboleto *et al.* (2017), Fiedler *et al.* (2011), dentre outros, e a comparação na produtividade de Eucalipto implantado sob o tratamento coveamento, subsolagem e a gradagem, realizado por Hakamada *et al.* (2013), ainda há a escassez de estudos experimentais que abordem a relação entre o tipo de broca utilizada no coveamento e a produtividade e os custos operacionais envolvidos.

Além disso, a ausência de protocolos padronizados para a coleta de dados técnicos, como o tempo de perfuração por cova, consumo de combustível, desgaste de componentes e produtividade por hora efetiva, dificulta a análise comparativa entre os sistemas utilizados. Essa lacuna metodológica compromete a formulação de recomendações técnicas consistentes, dificultando a tomada de decisão por parte dos responsáveis técnicos e empresas florestais.

Assim, este trabalho parte do seguinte problema: de que forma o tipo de broca influencia o desempenho operacional, os custos de produção e a qualidade do coveamento semimecanizado em solo muito argiloso? A hipótese é que diferentes geometrias de brocas impactam significativamente o tempo de operação, a produtividade e o custo por hectare, afetando a viabilidade técnica e econômica do reflorestamento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Determinar a produtividade e custos do coveamento semimecanizado do solo com duas brocas de perfuração diferentes para mudas de *Araucaria angustifolia* com 12 meses de idade.

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos do trabalho foram:

- Avaliar a qualidade do coveamento quanto ao seu diâmetro e profundidade para as duas brocas de perfuração estudadas.
- Caracterizar o solo quanto a sua umidade no momento da operação, textura, limite de liquidez e limite de plasticidade.
- Comparar o desempenho e custo do coveamento semimecanizado entre as duas brocas de perfuração estudadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA DO COVEAMENTO NA SILVICULTURA

O coveamento é uma das etapas mais importantes da implantação de povoamentos florestais, pois cria condições adequadas para o desenvolvimento inicial das mudas. Segundo Schumacher *et al.* (2016), o preparo do solo é determinante para o sucesso e a produtividade das florestas plantadas, uma vez que suas características físicas e químicas afetam diretamente a absorção de nutrientes, a penetração das raízes e o equilíbrio hídrico das plantas.

O coveamento consiste na abertura localizada do solo para o plantio das mudas, sendo responsável por romper camadas compactadas, melhorar a aeração, favorecer a infiltração de água e permitir a aplicação de corretivos e fertilizantes próximos à zona radicular. De acordo com Chapman & Allan (1978), trata-se de uma prática essencial para facilitar o enraizamento e reduzir a competição com a vegetação existente, especialmente em locais onde o crescimento de outras plantas pode prejudicar o estabelecimento das mudas.

Além de seus benefícios físicos e químicos, o coveamento também contribui para a conservação do solo. Em áreas declivosas, a disposição das covas em nível (em contorno) ajuda a reduzir a erosão e a aumentar a retenção de umidade no solo. Schumacher *et al.* (2016) destacam que um solo bem preparado permite o desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo e distribuído, o que melhora a estabilidade e o aproveitamento de nutrientes pelas árvores.

2.2 INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DO SOLO

As propriedades físicas do solo, especialmente a granulometria, determina como será seu comportamento mecânico em diferentes níveis de umidade, influenciando diretamente a qualidade e a eficiência das operações florestais. Solos muito argilosos como os Nitossolos Brunos apresentam alto teor de argila (partículas inferiores a 0,002 mm), o que lhes confere textura fina, elevada coesão e baixa friabilidade (ALMEIDA, 2004; SILVA *et al.*, 2010; EMBRAPA, 2018). Essas características dificultam a escavação, principalmente quando o solo está seco, ou seja, com o teor de umidade abaixo do Limite de Plasticidade, ocasionando em aumento do esforço mecânico e limitando a profundidade da operação.

Existem alguns métodos de análise textural do solo, como o Método da Pipeta e o Método do Hidrometro, conforme descrito por DONAGEMMA *et al.* (2017). A análise textural busca quantificar os teores de Areia, Silte e Argila, a fim de classificar o solo de acordo com o Triângulo Textural do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2017), adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (EMBRAPA, 2018), fator importante para auxiliar no entendimento do comportamento do solo, juntamente com os Limites de Attenberg.

A análise dos limites de Atterberg permite compreender o comportamento plástico e a consistência do solo em função da umidade, pois definem as transições entre os estados físico-mecânicos do solo. Os Limites de Atterberg é composto pelo Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP) e Índice de Consistência (IC). Essas informações são essenciais para o planejamento das operações florestais que envolvem o preparo e o manejo do solo (REICHERT *et al.*, 2009).

O Limite de Liquidez (LL) indica a umidade em que o solo passa do estado plástico para o estado líquido, ou seja, é a umidade máxima em que o solo ainda consegue manter sua forma antes de se comportar como um fluido. O Limite de Liquidez (LL) é definido como o teor de umidade do solo com o qual uma ranhura feita requer 25 golpes para se fechar numa concha (Aparelho de Casagrande). Várias repetições são realizadas, com diferentes umidades e anota-se o número de batidas necessárias para a ranhura se fechar e através da interpolação dos resultados se obtém o limite (REICHERT *et al.*, 2009). O procedimento é padronizado pela NBR 6459 (ABNT, 2016).

O Limite de Plasticidade (LP) indica o menor teor de umidade no qual o solo ainda apresenta comportamento plástico, ou seja, pode ser moldado sem se romper, abaixo desse limite, o solo torna-se friável e perde a capacidade de deformar-se sem fraturar. O Limite de Plasticidade (LP) é definido como o menor teor de umidade com o qual se consegue moldar um cilindro com 3 mm de diâmetro sem se fragmentar (REICHERT *et al.*, 2009). O procedimento é padronizado pela NBR 7180 (ABNT, 2016).

Segundo Almeida (2004), a diferença entre esses valores determina o Índice de Plasticidade ($IP = LL - LP$), indica a faixa de umidade na qual o solo apresenta comportamento plástico, ou seja, quanto maior o Índice de Plasticidade (IP), mais coesivo e deformável é o solo. Com o IP é possível determinar a classificação do solo em francamente, medianamente e altamente plástico, como descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos solos pelo Índice de Plasticidade (IP).

Classificação	Intervalo
Francamente Plástico	$1 < IP < 7$
Medianamente Plástico	$7 < IP < 15$
Altamente Plástico	$IP > 15$

Fonte: Almeida (2004).

Segundo Almeida (2004), o Índice de Consistência (IC) é um parâmetro da mecânica dos solos que indica o grau de consistência ou a rigidez de um solo natural em relação aos seus Limites de Liquidez e Limites de Plasticidade. Através do teor de umidade (h), Limite de Plasticidade (LL) e Índice de Plasticidade (IP), é possível calcular o Índice de Consistência (IC), com a Equação 1:

$$IC = \frac{(LL-h)}{IP} \quad (1)$$

Onde:

LL = Limite de liquidez;

h = Teor de umidade;

IP = Índice de plasticidade.

As operações florestais tendem a ser mais eficientes quando a umidade natural do solo está próxima ao Limite de Plasticidade (LP), pois nesse estado o solo oferece menor resistência à penetração e menor aderência às ferramentas. Quando a umidade está abaixo desse limite, o solo se comporta como uma massa rígida e compacta, dificultando a escavação e reduzindo a produtividade das operações (REICHERT *et al.*, 2009; CAPUTO, 1988).

2.3 ESTUDO DE TEMPO E MOVIMENTOS

O estudo de tempo e movimentos é ferramenta fundamental para avaliar a eficiência de operações manuais e mecanizadas. Aplicados ao coveamento, esses estudos permitem quantificar a produtividade, identificar gargalos operacionais, estimar custos e otimizar o desempenho dos operadores e equipamentos (CORREA, 2023; MAGAGNOTTI & SPINELLI, 2012).

Segundo Barnes (1977), o estudo de tempo e movimentos consiste no fracionamento detalhado do ciclo operacional em etapas, projetando e padronizando os métodos de trabalho, resultando em menor custo e identificando o tempo gasto por operador devidamente treinado, trabalhando em ritmo normal. De forma complementar, Magagnotti e Spinelli (2012) destacam que a mensuração do trabalho deve considerar entradas (tempo, energia, combustível), saídas (volume, peso ou qualidade do produto) e variáveis de processo (condições do solo, tecnologia, organização), de modo a garantir comparabilidade e repetibilidade entre estudos.

O estudo de tempos e movimentos tem a finalidade e é composto majoritariamente por duas partes: o estudo de movimentos, que consiste em encontrar o melhor método de se executar a tarefa; e o estudo de tempos, que visa determinar o tempo que o operador levou para executar determinada tarefa (BARNES, 1977). Para isso, recomenda-se a subdivisão do ciclo em elementos funcionais (deslocamento, coveamento, eventuais ajustes), permitindo identificar quais etapas concentram maior consumo de tempo e onde podem ser aplicadas melhorias (MAGAGNOTTI & SPINELLI, 2012)

Para à execução do estudo de tempos e movimentos, é necessário um aparelho medidor de tempo para o registro dos tempos, uma filmadora para o registro de todos os movimentos precisamente e uma prancheta para eventuais anotações sobre a operação (BARNES, 1977).

O meio áudio visual pode ser usado com várias finalidades no estudo de tempos e movimentos. A gravação deve ser feita a uma distância e angulação que permitam a observação nítida e total de todos os movimentos realizados pelos operadores, facilitando a análise do vídeo posteriormente. É aconselhável fixar a câmera em um local que abranja o visual de toda a operação, pois não é possível prever os movimentos dos operadores. Contudo, em situação onde é possível ter a previsibilidade da sequência das operações, as gravações podem ser feitas de diversas posições (BARNES, 1977).

Os estudos de tempo e movimentos fornecem subsídios técnicos valiosos para a escolha do equipamento mais adequado, o treinamento dos operadores e o planejamento logístico da operação, com impacto direto sobre a viabilidade técnica e econômica da implantação florestal (SILVA, 2004).

2.4 DESEMPENHO OPERACIONAL E CUSTOS

Segundo Miyata (1980), a correta estimativa dos custos operacionais deve considerar tanto os custos fixos, como depreciação, juros, seguros e impostos, quanto os custos variáveis,

incluindo combustível, manutenção, lubrificantes, pneus e mão de obra. O autor destaca que o custo horário total da máquina é obtido pela soma desses componentes, e que o custo unitário por metro cúbico, hectare ou outra unidade de produção é determinado pela divisão desse custo pelo volume efetivamente produzido.

Miyata (1980) também ressalta que a variabilidade de custos entre equipamentos similares pode ser significativa, dependendo de fatores como frequência e qualidade da manutenção, consumo específico de combustível e regime de operação (contínuo ou intermitente). Assim, decisões técnicas devem estar fundamentadas em dados reais de campo, considerando o desempenho sob as condições específicas de solo, clima e escala operacional.

Segundo Magagnotti & Spinelli (2012), o desempenho operacional em operações florestais é a relação entre os insumos usados (tempo, energia, combustível, mão de obra) e os produtos obtidos (volume, peso ou qualidade da biomassa). Essa relação pode ser medida pela produtividade (quanto se produz por unidade de tempo) ou pelo consumo de tempo (quanto tempo se gasta para produzir uma unidade). O desempenho não depende apenas da máquina, mas também da tecnologia, da técnica de trabalho, da habilidade do operador e das condições do ambiente, como relevo, textura e umidade do solo.

Magagnotti & Spinelli (2012) também destacam que o desempenho deve ser analisado em diferentes níveis, como turno, ciclo ou etapas do ciclo, para identificar pontos de melhoria. Ressaltam ainda que o efeito do operador pode explicar grande parte da variação de produtividade, mostrando a importância do treinamento. Além do tempo, recomendam avaliar também o consumo de combustível e os impactos ambientais, pois a eficiência deve ser vista de forma integrada, considerando não só os aspectos técnicos e econômicos, mas também a sustentabilidade da operação.

Nesse contexto, o tempo efetivo é o período em que a máquina ou o operador estão de fato realizando a atividade principal de produção, sem contar paradas ou atrasos. O tempo efetivo serve de base para calcular a produtividade por hora efetiva (PMH₀), amplamente usada nas operações florestais. Ao separar o tempo efetivo dos tempos de apoio ou de espera, pode-se avaliar com mais precisão a eficiência da operação e comparar diferentes métodos ou equipamentos (MAGAGNOTTI & SPINELLI, 2012).

A avaliação conjunta desses aspectos permite estimar com maior precisão o retorno econômico da operação e planejar intervenções futuras com maior eficiência. Portanto, o desempenho operacional e os custos devem ser tratados de forma conjunta e sistematizada,

como parte de um processo contínuo de melhoria e otimização no manejo florestal mecanizado (CAMPOS, 2013).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido na Área Experimental Florestal da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), localizada no município de Curitibanos, no estado de Santa Catarina, inserido na região do Planalto Serrano Catarinense, que integra o Planalto Sul-Brasileiro, coordenadas 27°19'14"S, 50°42'43"W. O clima da região é classificado como subtropical úmido (Cfb, segundo Köppen-Geiger), com precipitação média anual de aproximadamente 1.500 mm bem distribuídos e temperatura média anual em torno de 17 °C (EPAGRI, 2013).

O solo foi classificado como Nitossolo Bruno, solo típico do Planalto Sul-Brasileiro, especialmente em áreas de origem basáltica, como em Curitibanos/SC. Apresenta coloração bruno-amarelada, textura argilosa a muito argilosa e estrutura em blocos, que se desfaz em agregados menores quando seco. Possui alta coesão e elevada plasticidade, o que lhe confere estabilidade estrutural e resistência à erosão, mas pode dificultar o preparo mecanizado, já que quando úmido torna-se pegajoso e, quando seco, excessivamente duro. Além disso, apresenta alto teor de matéria orgânica no horizonte superficial (SANTOS *et al.*, 2018).

3.2 OPERAÇÃO DE COVEAMENTO

A abertura das covas foi realizada utilizando o motocoveador Stihl BT 131, com 36,3 cm³ cilindradas e 1,90 cavalos de potência. (STIHL, 2023). Considerando as características do solo e visando melhorar as condições ergonômicas, o motocoveador foi manuseado por dois trabalhadores em conjunto em cada linha de plantio ao longo de toda a operação, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1: Manuseio do motocoveador durante a operação de coveamento.



Fonte: O Autor (2025).

Durante o experimento, foram avaliadas duas brocas distintas acopladas ao motocoveador, com diferenças em geometria, diâmetro e comportamento de expulsão do solo, conforme a Figura 2. A primeira, denominada Broca Espiral (B1), possui diâmetro de 200 mm e é projetada para promover a ejeção contínua do solo ao longo da perfuração. Já a segunda, a Broca Vazada (B2), apresenta diâmetro de 260 mm e uma estrutura aberta que impossibilita a ejeção de solo durante a operação.

Figura 2: Brocas Testadas.



Onde: B1 = Broca Espiral; B2 = Broca Vazada.

Fonte: O autor (2025).

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental foi o Delineamento Inteiramente Casualizado, devido a uniformidade da área de estudo, testando dois tratamentos, correspondentes ao tipo de broca utilizada (B1 e B2). O número de repetições foi estabelecido com base em ciclos de trabalho filmados em campo: 52 ciclos para a broca espiral e 45 ciclos para a broca vazada. Cada ciclo foi composto pelas etapas de perfuração, deslocamento e, quando necessário, limpeza da cova. O espaçamento adotado para o plantio foi de 4 x 4 m, resultando em uma densidade de 625 covas por hectare.

3.4 COLETA DE DADOS

3.4.1 Estudos de Tempos e Movimentos

O registro de toda a operação se deu por meio audiovisual de forma contínua, com a gravação realizada através de um smartphone. Posteriormente, em um computador, com o software de reprodução nativo do Windows 11, foi realizada a coleta dos tempos de coveamento, composto pelas etapas de deslocamento, perfuração e limpeza da cova, conforme definido na Tabela 2, e fundamentado nos princípios descritos por Barnes (1977) e Magagnotti & Spinelli (2010).

Tabela 2 – Descrição dos Tempos da Operação.

Elemento do Ciclo de Trabalho	Descrição
Deslocamento	Do passo inicial em direção à próxima cova até firmar ambos os pés para iniciar novo ciclo
Perfuração	Do acionamento do motocoveador até a completa saída da broca ao finalizar a perfuração.
Limpeza da Cova (somente para B2)	Registrada quando necessária (apenas na broca vazada). Do momento em que a pá foi introduzida na cova até a remoção completa do solo.

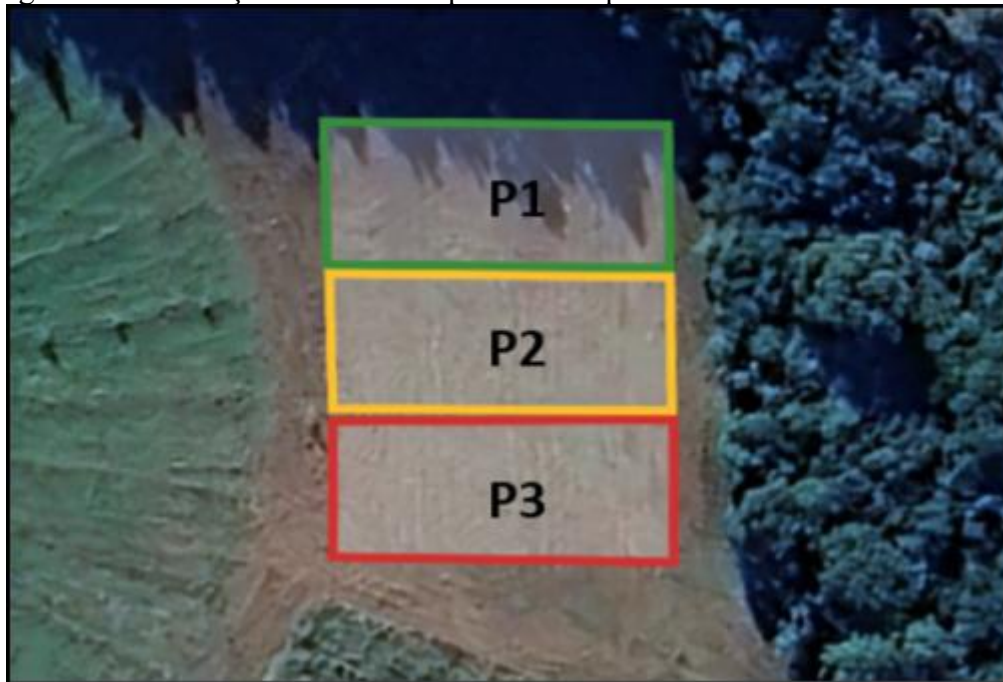
Fonte: O Autor (2025).

Nas covas perfuradas pela Broca Vazada (B2), o solo revolvido ficava no interior da cova, exigindo uma operação adicional de retirada de solo para posterior plantio. Já nas covas perfuradas pela Broca Espiral (B1), não houve a necessidade dessa etapa adicional de retirada de solo, pois o solo era expulso automaticamente pela geometria da broca durante o processo de perfuração.

3.4.2 Análises Físicas do Solo

Foram coletadas 30 (trinta) amostras de solo, distribuídas em 3 (três) faixas da área experimental (P1 – primeiro terço, P2 – segundo terço, P3 – terceiro terço) e em duas profundidades (0–20 cm e 20–40 cm), conforme demonstrado na Figura 3. De uma pequena fração de cada uma das 30 amostras determinou-se o teor de umidade no momento da operação.

Figura 3: Distribuição das faixas experimentais para coleta das amostras de solo.



Fonte: O Autor (2025).

Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas, formando 6 (seis) amostras compostas para cada faixa da área experimental (P1, P2 e P3) e profundidade (0-20 e 20-40 cm), para a determinação dos Limites de Liquidez, Limites de Plasticidade, Índice de Plasticidade e Índice de Consistência, bem como da granulometria do solo.

3.4.3 Caracterização das Dimensões das Covas

A caracterização das covas foi realizada por meio de medidas diretas de profundidade (cm) e largura (cm), obtidas imediatamente após a abertura de cada cova com os dois tipos de broca. Para cada cova avaliada, registraram-se as duas dimensões utilizando uma trena.

3.4.4 Custos Operacionais

Para a realização dos cálculos, foram adotados os parâmetros apresentados na Tabela 3, correspondentes aos valores praticados no mês de agosto de 2024.

Tabela 3 – Dados técnicos e econômicos para estimativa dos custos operacionais.

Item	Unidade	Valor adotado
Motocoveador	R\$	3.950,00
Broca Espiral (B1)	R\$	1.000,00
Broca Vazada (B2)	R\$	1.090,00
Vida Útil do Motocoveador	PMH ₀	1.200
Vida útil das brocas	PMH ₀	450
Salário-base do operador	R\$/mês	1.518,00
Encargos sociais	R\$/mês	582,00
Dias trabalhados	dias/mês	23
Horas programadas por dia	h/dia	8,8
Índice do custo de manutenção	%	65
Taxa de utilização do tempo	%	55
Taxa de administração	%	5
Preço da gasolina	R\$/L	6,70
Preço do óleo 2T	R\$/L	118,00

Onde: PMH₀ = hora-máquina produtiva livre de interrupções.

Fonte: O Autor (2025).

Para o motocoveador e as brocas utilizadas no experimento, utilizou-se os valores de aquisição dos equipamentos. A mão de obra foi calculada com base em um salário mensal de R\$ 1.518,00, acrescido de R\$ 582,00 em encargos sociais, conforme médias regionais observadas em Curitiba-SC no ano de 2025. A jornada diária de 8,8 horas e os 23 dias úteis

por mês seguiram o padrão de atividades florestais semimecanizadas. A taxa de utilização do tempo (55%), obtida por observações em campo e respaldada por Magagnotti & Spinelli (2010), representou o percentual de tempo efetivamente produtivo em relação ao total programado, considerando pequenas pausas e deslocamentos. O valor do combustível e do óleo 2T, foram definidos de acordo com a média praticada na região da área do estudo.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

3.5.1 Desempenho Operacional

Para a determinação do desempenho operacional, utilizou-se as formulações derivadas dos princípios de estudo de tempos descritos por Barnes (1977) e das metodologias de análise operacional propostas por Magagnotti e Spinelli (2010).

Com os tempos obtidos para cada elemento do ciclo, por meio da Equação 2 foi calculado o Tempo Total Efetivo (TT ef.), que corresponde à soma dos tempos produtivos associados à execução de cada cova.

$$TT\ ef = \sum T_i \quad (2)$$

Onde:

$TT\ ef$ = Tempo Total efetivo;

T_i = Tempo de cada elemento produtivo do ciclo (s)

A partir do TT ef., por meio da Equação 3 determinou-se a Produtividade Operacional (PMH₀).

$$P = \frac{3600}{TT\ ef} \quad (3)$$

Onde:

P = produtividade (covas/PMH₀);

$TT\ ef$ = Tempo Total efetivo.

Em seguida, por meio da Equação 4, calculou-se o Tempo Consumido por hectare (PMH₀/ha), que expressa o número de horas efetivas necessárias para atender à demanda de covas por hectare.

$$TC = \frac{N_{ha}}{P} \quad (4)$$

Onde:

TC = Tempo Consumido (PMH₀/ha);

N_{ha} = número de covas por hectare (covas/ha);

P = produtividade operacional (covas/PMH₀).

Após essa etapa, foram calculadas estatísticas descritivas (média, desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimo e máximo), permitindo caracterizar a variabilidade dos dados e subsidiar a comparação entre as brocas avaliadas.

3.5.2 Análises Físicas do Solo

Com uma pequena fração de cada uma das 30 (trinta) amostras, foi obtido o teor de umidade no momento da operação, através do método gravimétrico, com secagem a 105 °C por 24h, segundo a norma NBR 6457 (ABNT, 2016).

Com as 6 (seis) amostras compostas formada foram determinados o Limite de Liquidez (LL), segundo a NBR 6459 (ABNT, 2016) e do Limite de Plasticidade (LP) segundo a NBR 7180 (ABNT, 2016). Nessa análise foram realizadas 5 (cinco) repetições para cada amostra. A partir dos resultados obtidos, foi possível calcular o Índice de Plasticidade (IP) e o Índice de Consistência (IC).

Para a determinação da granulometria, visando determinar os teores de Argila, Silte e Areia, usou-se do Método da Pipeta, segundo o descrito no Manual de Métodos de Análise do Solo (DONAGEMMA *et.al.*, 2017). Foram realizadas 5 (cinco) repetições para cada uma das 6 (seis) amostras compostas formadas anteriormente.

3.5.3 Caracterização Das Dimensões Das Covas

A partir das medidas de profundidade e largura obtidas experimentalmente, calculou-se o volume de solo deslocado por cova por meio da Equação 5, expresso em cm^3/cova e dm^3/cova .

$$V = \frac{\pi \cdot L^2}{4} \cdot P \quad (5)$$

Onde:

V = Volume de solo deslocado (cm^3/cova);

L = Largura da cova (cm);

P = Profundidade da cova (cm);

$\pi = 3,1416$.

Em seguida, foram geradas as estatísticas descritivas (média, desvio padrão e coeficiente de variação) para cada tratamento, permitindo comparar o formato das covas perfuradas pelos dois tipos de brocas testadas.

3.5.4 Custos Operacionais

Considerou-se para os cálculos o consumo de combustível em diferentes condições de perfuração do solo. O equipamento utilizado possuía um tanque com capacidade de 800 ml. Com a Broca Vazada (B2), o consumo observado foi de 800 ml de combustível para a realização de 67 buracos, resultando em uma média de 12 ml por cova. Já ao utilizar a Broca Espiral (B1), foi possível realizar 90 covas com 800 ml, o que corresponde a uma média de 9 ml por cova.

A análise dos custos operacionais seguiu a metodologia de Miyata (1980), que divide o custo total em fixos e variáveis. Os custos fixos incluíram depreciação, juros sobre o capital e administração, calculados pelo método linear a partir da vida útil e do valor de aquisição dos equipamentos. Os custos variáveis abrangeram combustível, óleo lubrificante, manutenção, substituição de peças e mão de obra, expressos em $\text{R}\$/\text{PMH}_0$. A soma dos custos fixos e variáveis resultou no custo total horário de operação do motocoveador com cada tipo de broca.

Com base nesses valores, o custo por hectare (R\$/ha) foi obtido pela relação entre o custo horário e a produtividade operacional (ha/PMH₀), permitindo comparar o desempenho técnico e econômico das Broca Espiral (B1) e Broca Vazada (B2).

3.5.5 Análise Estatística

A variável produtividade e tempo consumido exigiu transformação logarítmica para atender à normalidade dos resíduos (Shapiro-Wilk) e à homogeneidade de variâncias (Levene). Após a transformação, os resíduos apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, permitindo a aplicação da ANOVA, para testar o efeito da broca sobre a produtividade operacional e tempo consumido na operação de coveamento. Não foi necessária aplicação de testes pós-hoc, visto que há apenas dois tratamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO

4.1.1 Textura

A caracterização granulométrica do solo da área experimental destinada ao coveamento mecanizado revelou importantes informações sobre sua textura e comportamento físico. A Tabela 4 apresenta os valores médios obtidos para o teor de argila, silte e areia.

Tabela 4– Granulometria média por amostra de solo na área do experimento.

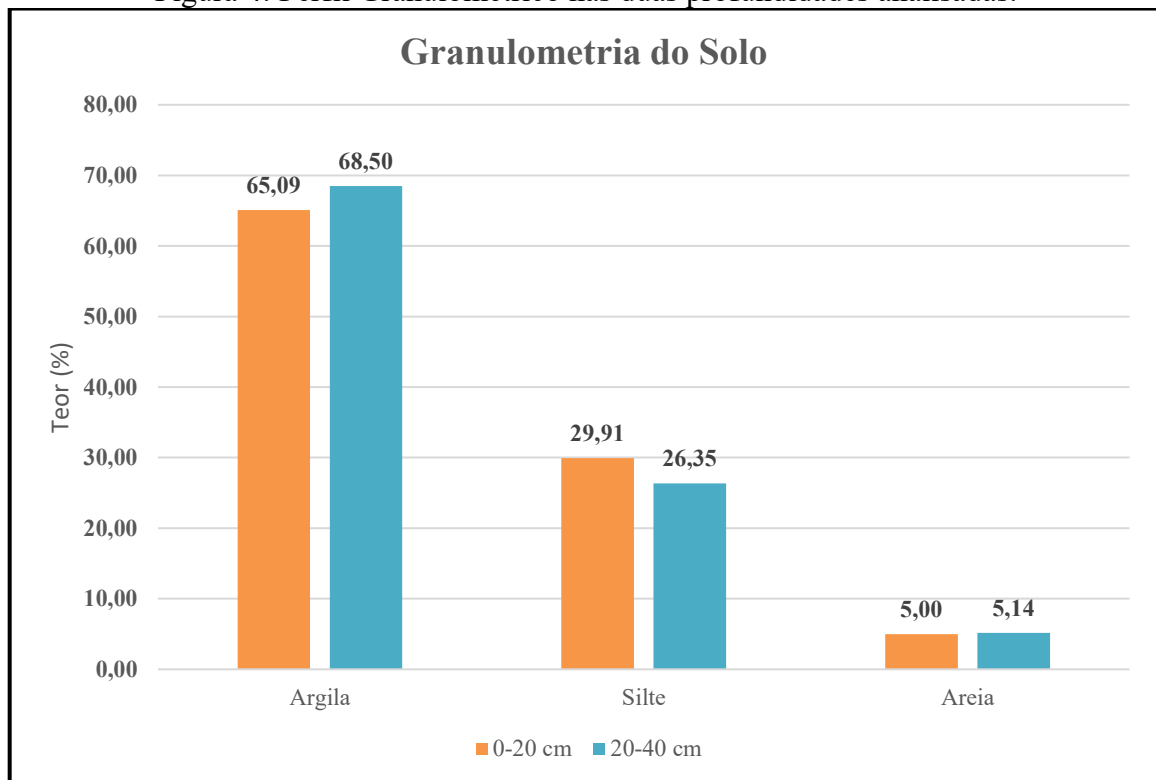
Amostra	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Classificação
P1 0 - 0,20	65,55 ± 1,40	30,16 ± 1,29	4,29 ± 0,49	Muito argilosa
P2 0 - 0,20	65,73 ± 2,21	29,95 ± 2,28	4,32 ± 0,57	Muito argilosa
P3 0 - 0,20	63,98 ± 4,55	29,62 ± 4,42	6,40 ± 0,51	Muito argilosa
P1 0,20 - 0,40	69,54 ± 2,18	26,28 ± 2,16	4,18 ± 0,27	Muito argilosa
P2 0,20 - 0,40	68,30 ± 0,76	25,78 ± 1,71	5,92 ± 2,34	Muito argilosa
P3 0,20 - 0,40	67,67 ± 3,20	27,01 ± 2,96	5,33 ± 1,05	Muito argilosa

Fonte: O autor (2025).

Os dados mostram teores de argila variando entre 63,98% e 69,54%, silte entre 25,78% e 30,16%, e areia entre 4,18 e 6,40%. Esses valores reforçam a classificação do solo como muito argiloso, conforme estabelecido pelo triângulo textural do USDA (2017), confirmando características típicas de Nitossolo Bruno (EMBRAPA, 2018).

A observação do perfil granulométrico nas duas camadas de profundidade testadas (0-20 cm e 20-40 cm) revelou que na camada superficial (0-20 cm), o teor médio de argila é de 65,09%, aumentando para 68,50% na camada subsuperficial (20-40 cm). Em contrapartida, o teor de silte decresce de 29,91% para 26,35%, enquanto o de areia apresenta leve redução de 5,00% para 4,14%. Essa síntese dos dados médios por profundidade é apresentada na figura 4.

Figura 4: Perfil Granulométrico nas duas profundidades analisadas.



Fonte: O Autor (2025).

4.1.2 Limites de Atterberg (Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade)

Os resultados indicam que o limite de liquidez (LL) variou entre 41,34% e 44,19%, e o limite de plasticidade (LP) entre 35,48% e 38,95%, resultando em índices de plasticidade (IP) de 4,93 a 7,32, e um Índice de Consistência (IC) de 2,31 a 3,91, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Limites de Atterberg para as duas profundidades de solo analisadas.

Amostra	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IC
P1 0–20 cm	43,42 ± 2,83	36,10 ± 0,42	7,29	2,31
P2 0–20 cm	43,73 ± 1,26	36,80 ± 0,97	6,93	2,40
P3 0–20 cm	41,34 ± 3,33	35,48 ± 0,58	5,85	3,91
P1 20–40 cm	42,00 ± 0,97	37,07 ± 1,41	4,93	3,30
P2 20–40 cm	44,05 ± 0,83	38,04 ± 0,44	6,01	2,66
P3 20–40 cm	44,19 ± 2,17	38,95 ± 0,37	5,25	3,53

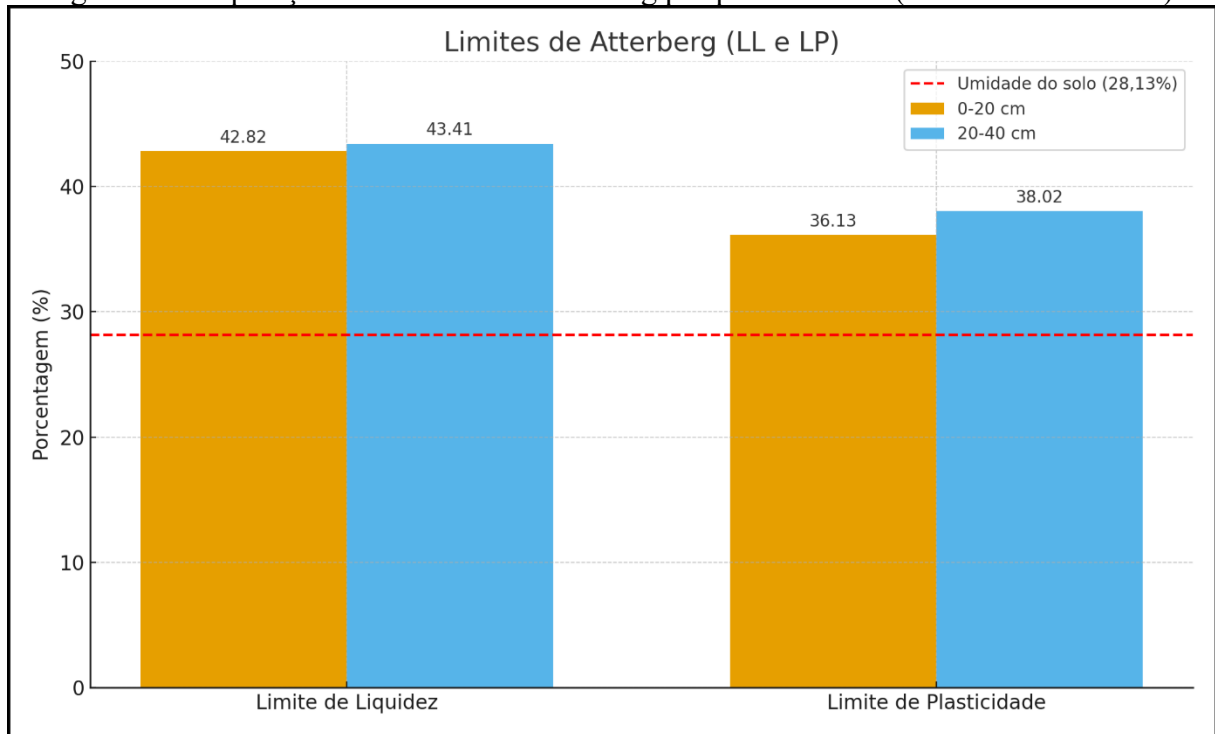
Onde: LL = Limite de Liquidez; LP = Limite de Plasticidade; IP = Índice de Plasticidade; e IC = Índice de Consistência.

Fonte: O autor (2025).

Segundo Almeida (2004) e conforme descrito por Casagrande (1948), valores de IP inferiores a 7% e 10%, respectivamente, caracterizam solos de baixa plasticidade, com baixo potencial de expansão e retração, pouca deformabilidade e estrutura estável mesmo sob variações moderadas de umidade. Esse comportamento é típico de materiais com argilas de baixa atividade, como a caulinita, associadas à presença de óxidos de ferro e alumínio, minerais predominantes nos Nitossolos Brunos (SANTOS *et al.*, 2018; EMBRAPA, 2021).

O Limite de Plasticidade (LP) médio geral apresentou o valor de 37,11%, sendo assim, a umidade natural da área estava cerca de 9% abaixo do Limite de Plasticidade (LP), visto que a umidade média da área no momento da operação era de 28,13% ± 0,68%, como apresentado na Figura 5, indicando que o solo se encontrava abaixo do limite de plasticidade, friável e sem a capacidade de se deformar sem formar pequenos blocos, ou seja, resistente à penetração.

Figura 5: Comparação dos Limites de Atterberg por profundidade (0-20 cm e 20-40 cm).



Fonte: O Autor (2025).

De acordo com Terzaghi *et al.* (1996), o comportamento do solo varia significativamente em função do teor de umidade relativo aos limites de Atterberg. Quando a umidade está próxima ao limite de plasticidade, o solo encontra-se em sua condição plástica ideal, apresentando coesão adequada e resistência moderada, o que favorece o corte e o deslocamento uniforme durante o coveamento semimecanizado. Abaixo desse limite, o solo torna-se rígido e quebradiço, aumentando o esforço de penetração e o desgaste de ferramentas. Acima do limite de liquidez, o material passa a se comportar como quase-líquido, perdendo estabilidade e podendo aderir às brocas ou colapsar dentro das cavidades.

Estudos experimentais realizados por El-Gendy *et al.* (2009) corroboram que em condições semelhantes às encontradas nesse trabalho, o solo abaixo do Limite de Plasticidade (LP), ou seja, mais seco e resistente, ocorre o conseqüente aumento da resistência a penetração.

4.2 QUALIDADE DAS COVAS

Os resultados obtidos demonstraram que a Broca Espiral (B1) proporcionou uma profundidade média das covas de 37,13 cm, com desvio padrão de 3,86%, indicando boa uniformidade na profundidade das covas. Em contrapartida, a Broca Vazada (B2) apresentou profundidade média de 24,19 cm, com desvio padrão de 3,56 e CV de 14,73%, o que evidencia

maior variabilidade no processo de perfuração. Em relação à largura, a Broca Espiral (B1) manteve um diâmetro de 20 cm, enquanto a Broca Vazada (B2) produziu covas com 30cm de largura, respeitando as características das brocas. Essas diferenças geométricas refletiram-se diretamente no volume de solo removido por cova. A Broca Vazada (B2) apresentou um volume médio de 17.101,41 cm³/cova e 17,10 dm³/cova, enquanto a Broca Espiral (B1) removeu 11.664,17 cm³/cova e 11,66 dm³/cova, representando um incremento de aproximadamente 46,7% no volume mobilizado pela broca de maior diâmetro, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros do coveamento para as brocas testadas.

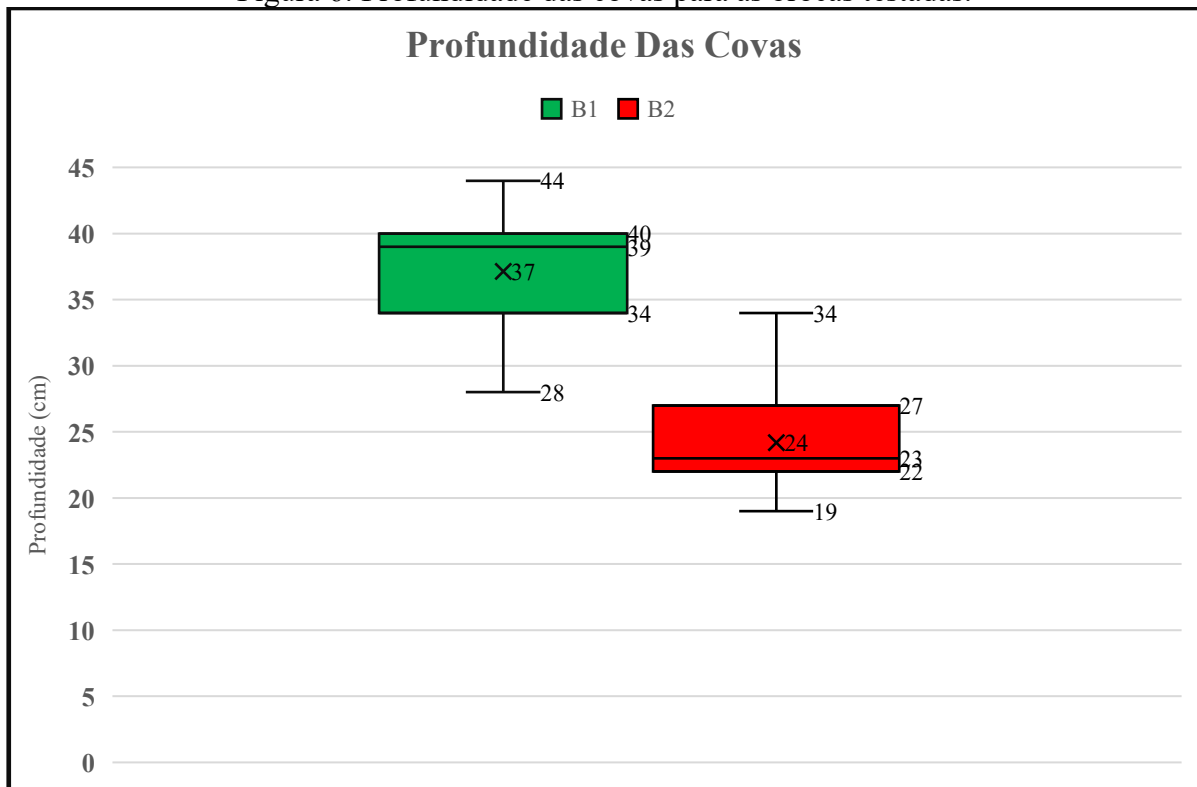
Broca	Largura (cm)	Profundidade (cm)	Vol. Solo (cm³/cova)	Vol. Solo (dm³/cova)
B1	20	37,13 ± 3,86	11664,17	11,66
B2	30	24,19 ± 3,56	17101,41	17,10

Fonte: O autor (2025).

Esse resultado mostra que, embora a Broca Vazada (B2) atinja menor profundidade na perfuração das covas, ela forma aberturas com maior diâmetro e maior revolvimento lateral do solo, em comparação à broca espiral. Apesar de possuir 260 mm de diâmetro, a Broca Vazada (B2) gerou covas de cerca de 300 mm (30 cm). Essa diferença pode estar relacionada à sua geometria, que causa certa instabilidade vibracional durante a perfuração, ampliando o diâmetro da cova e exigindo maior esforço do operador e revolvendo maior quantidade de solo. Além disso, a textura do solo e o teor de umidade abaixo do limite de plasticidade no momento da operação também contribuíram para a menor profundidade alcançada.

Em contrapartida, a Broca Espiral (B1), por conta da sua geometria e menor diâmetro, facilita a penetração no solo e sua ejeção durante o processo de perfuração, acarretando em covas mais uniformes e profundas, como evidenciado na Figura 6, sem a necessidade de limpezas manuais complementares. Essa eficiência foi notável nas condições de campo no momento da execução do experimento, que apresentava-se abaixo do limite de plasticidade e friável, onde a resistência à penetração é elevada.

Figura 6: Profundidade das covas para as brocas testadas.



Fonte: O Autor (2025).

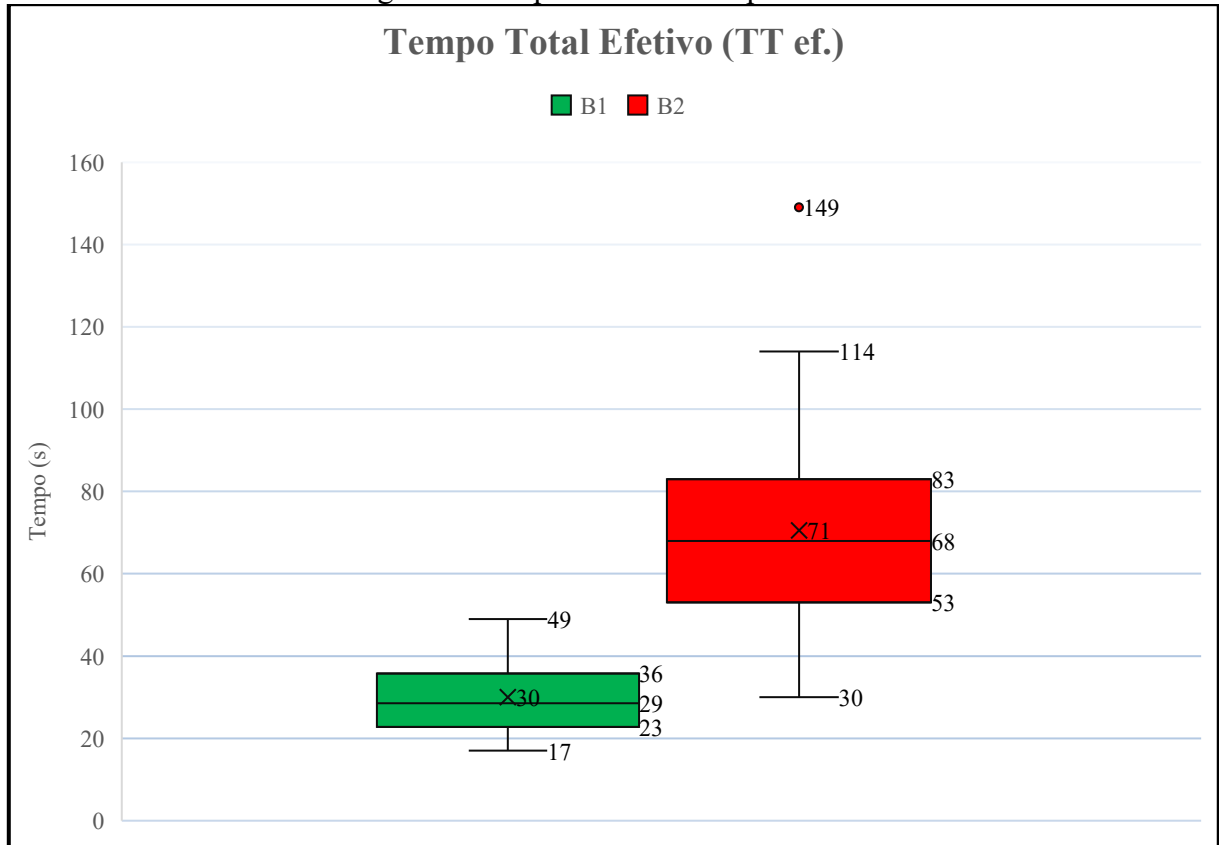
Os dados mostram que as duas tecnologias de perfuração têm vantagens específicas, e sua escolha deve levar em conta o tipo de solo, as exigências da cultura e os objetivos do manejo. A broca espiral favorece profundidade e uniformidade, enquanto a broca vazada se destaca pelo maior volume de solo removido e amplitude lateral do coveamento. A combinação dessas informações ajuda na escolha do equipamento mais adequado. No entanto, não foi avaliado o efeito das diferenças nas covas sobre o crescimento das mudas, o que é uma limitação deste estudo. Pesquisas futuras devem incluir essa análise para entender melhor como o tipo de perfuração da cova influencia no desenvolvimento das mudas.

4.3 COMPARAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E CUSTO OPERACIONAL

A Broca Espiral (B1) apresentou um total de 52 ciclos amostrados, com Tempo Total efetivo (TT efetivo) mínimo de 17 segundos e máximo de 49 segundos. A média observada para essa variável foi de 30 segundos, com desvio padrão de 8,8 segundos, coeficiente de variância de 29,4% e erro amostral de 8,18%. Por sua vez, a Broca Vazada (B2), com 45 ciclos amostrados, apresentou TT efetivo mínimo de 30 segundos e máximo de 149 segundos, uma média de 70,5 segundos, desvio padrão de 24,6 segundos, coeficiente de variância de 34,9% e

erro amostral de 10,49%. Esses resultados, detalhados na Figura 7, permitem observar que a broca espiral foi significativamente mais eficiente e apresentou menor variação e erro amostral, enquanto a broca vazada teve desempenho inferior e maior dispersão dos dados.

Figura 7: Tempo Total efetivo por broca.



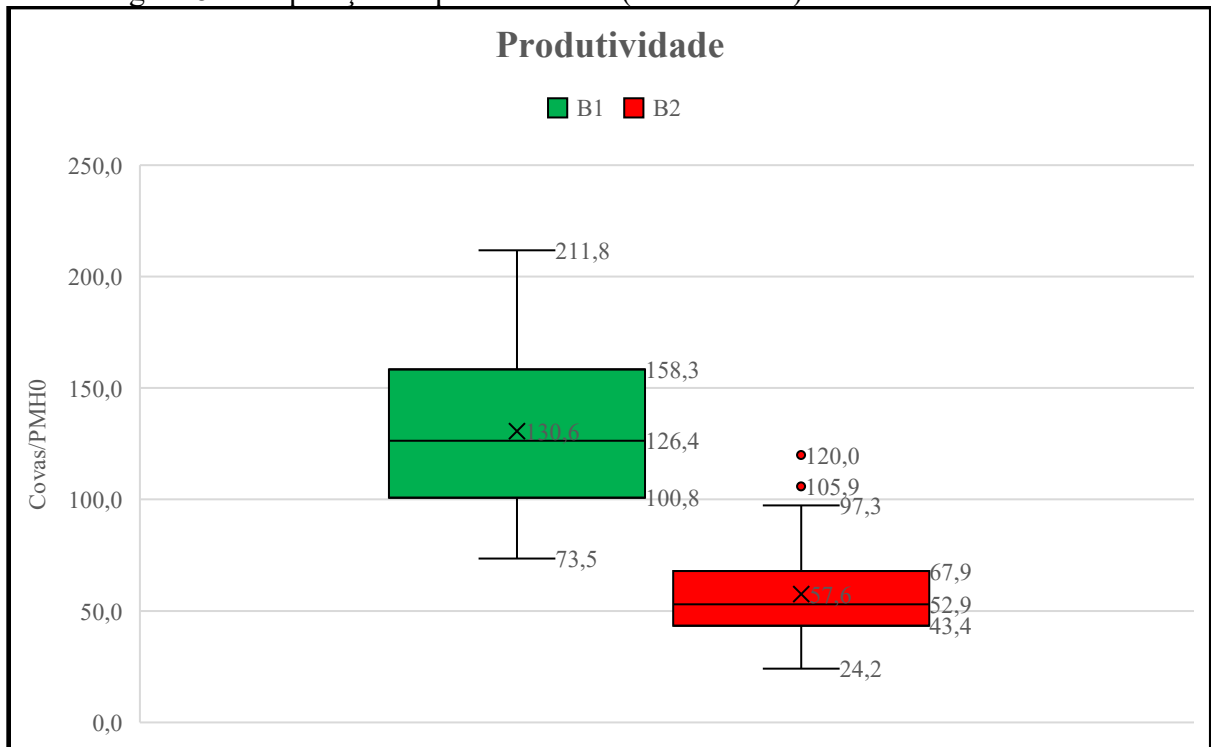
Fonte: O Autor (2025).

Esses números evidenciam que a Broca Espiral (B1) não apenas realiza o coveamento em menos da metade do tempo médio, como também apresenta maior regularidade e menor variabilidade. Isso é extremamente desejável do ponto de vista operacional, pois garante menor desvio em relação ao planejamento e maior previsibilidade no rendimento diário. O menor desvio padrão e coeficiente de variação da Broca Espiral (B1) mostram que os ciclos de plantio foram mais uniformes, sinalizando maior estabilidade do sistema e menor interferência de fatores externos como resistência do solo e falhas de perfuração.

A Broca Espiral (B1) obteve uma produtividade de média de 130,6 covas/ PMH₀, variando de 73,5 a 211,8 covas/ PMH₀, com um desvio padrão de 37,9, coeficiente de variação de 29,0% e um erro amostral de 8,08%. Enquanto a Broca Vazada (B2) obteve uma produtividade média de 57,6 covas/ PMH₀, variando de 24,2 a 120,0 covas/ PMH₀,

com um desvio padrão de 21,2, coeficiente de variação de 36,8 e um erro amostral de 11,06%. Esses resultados evidenciam o maior rendimento da Broca Espiral (B1), como possível observar na Figura 8.

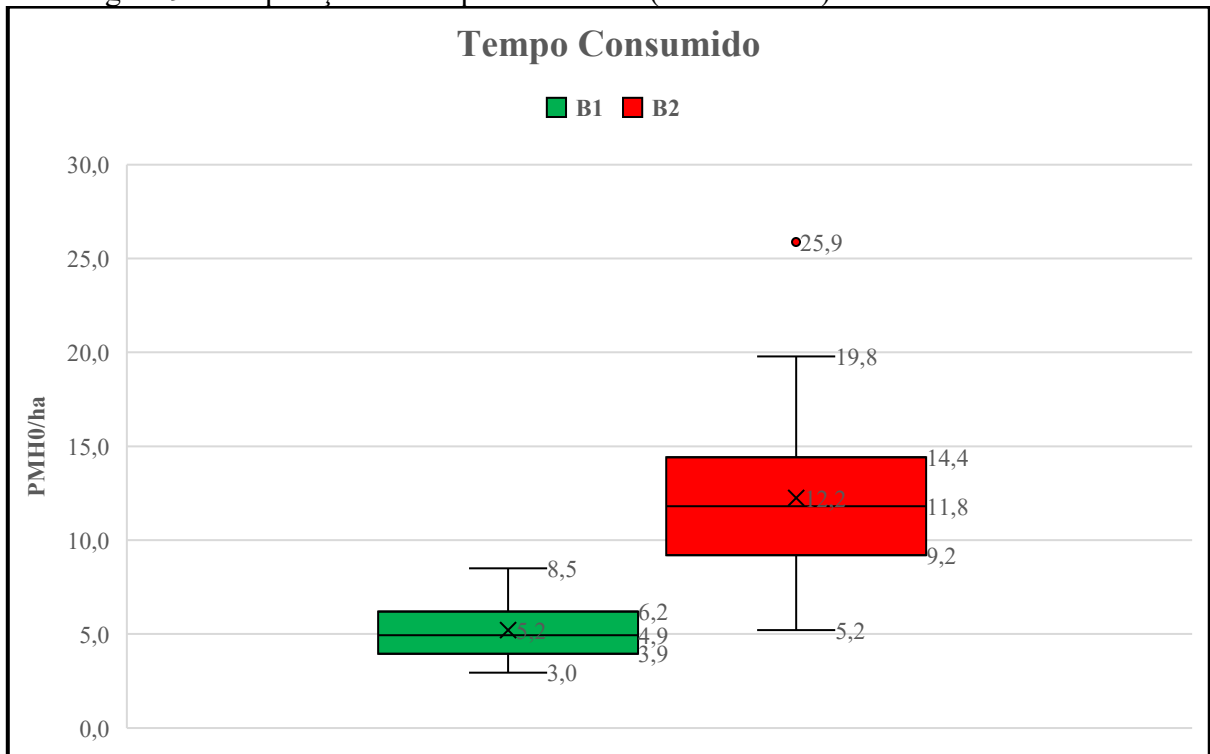
Figura 8: Comparação da produtividade (covas/PMH₀) entre as brocas testadas.



Fonte: O Autor (2025).

A Broca Espiral (B1) apresentou um tempo consumido médio de 5,2 PMH₀/covas, variando de 3,0 a 8,5 PMH₀/covas. Enquanto a Broca Vazada (B2) apresentou um tempo consumido médio de 12,2 PMH₀/covas, variando de 5,2 a 25,9 PMH₀/covas. Os dados revelam que além de demandar menor tempo, a Broca Espiral (B1) apresentou menor dispersão e maior uniformidade, conforme evidenciado na Figura 9.

Figura 9: Comparação do tempo consumido (PMH₀/covas) entre as brocas testadas.



Fonte: O Autor (2025).

A análise dos dados obtidos a partir da avaliação comparativa entre o uso da Broca Espiral (B1) e da Broca Vazada (B2) permitiu identificar diferenças significativas nos custos operacionais e eficiência técnica de cada broca. A Tabela 7 apresenta os valores dos componentes do custo operacional horário (R\$/PMH₀) de ambos os sistemas, considerando os custos fixos e variáveis envolvidos na operação.

Tabela 7 – Valores dos Componentes que compõem o custo operacional horário (R\$/PMH₀) para cada tipo de broca.

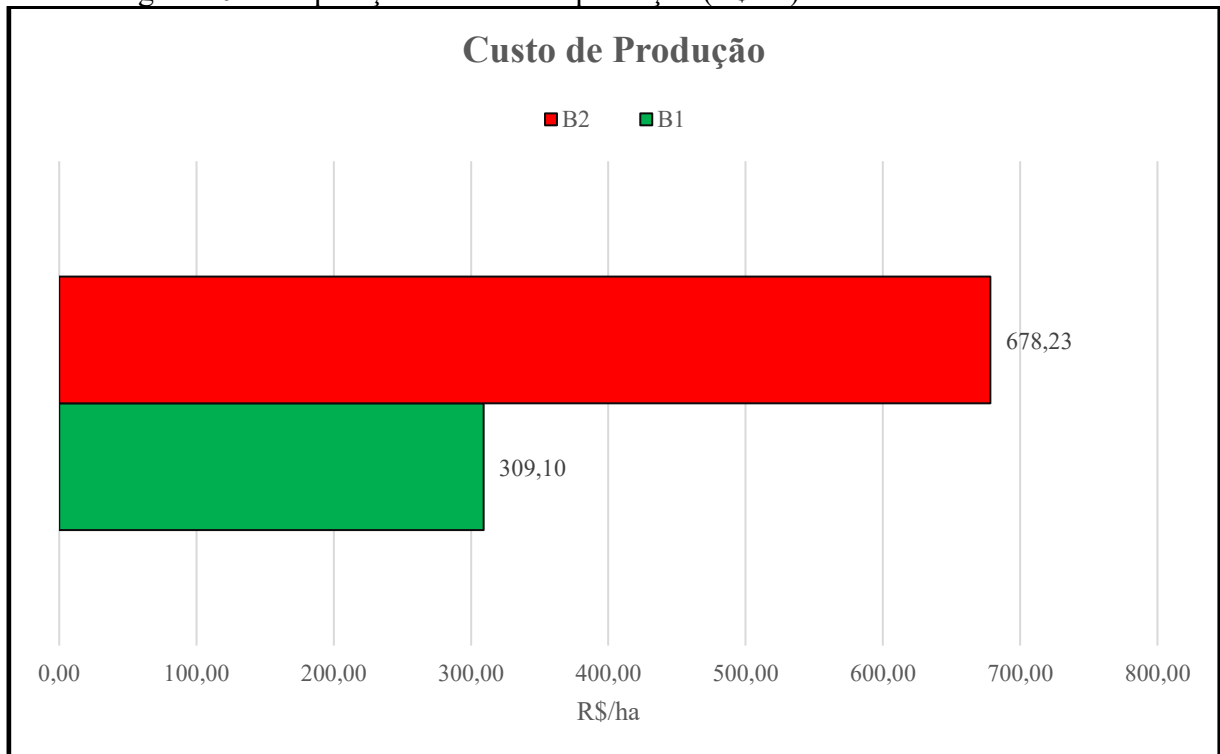
Variável	B1 (R\$/PMH ₀)	B2 (R\$/PMH ₀)
Depreciação motocoveador	3,29	3,29
Depreciação broca	2,22	2,42
Mão de obra	37,73	37,73
Combustível	7,17	4,15
Óleo 2T	2,53	1,46
Manutenção	3,58	3,71
Administração	2,83	2,64
Custo operacional horário	59,35	55,41
Custo de produção (R\$/ha)	309,10	678,23

Fonte: O Autor (2025).

A Broca Vazada (B2) consumiu menos combustível (R\$/PMH₀ 4,15 frente a R\$/PMH₀ 7,17) e óleo 2T (R\$/PMH₀ 1,46 frente a R\$/PMH₀ 2,53), o que pode ser atribuído ao maior diâmetro da broca. Conforme descrito por El-Gendy *et al.* (2009), o diâmetro da broca interfere diretamente no esforço exigido pelo maquinário, influenciando o torque e a potência necessária para a perfuração. Em determinadas condições, brocas de maior diâmetro podem inclusive apresentar menor consumo energético específico, devido à maior eficiência no corte e à redução do atrito lateral durante a escavação, especialmente quando não utilizam lâminas adicionais na extremidade, como o ocorrido nesse estudo, visto que as covas perfuradas pela Broca Vazada (B2) eram mais largas que o diâmetro da broca, reduzindo o atrito lateral.

Embora a B2 apresente um custo operacional por hora R\$/PMH₀ 3,94 menor, seu custo por hectare é R\$/PMH₀ 369,13 maior, ou 119% mais caro que o da Broca Espiral (B1,) como demonstrado na Figura 10. Tal disparidade evidencia a importância de considerar produtividade por área, e não apenas o custo por hora.

Figura 10: Comparação do custo de produção (R\$/ha) entre as brocas testadas.



Fonte: O Autor (2025).

A análise estatística demonstrou que o tipo de broca influenciou significativamente os resultados operacionais. A produtividade (Covas/PMH₀) e o tempo consumido (PMH₀/ha) apresentaram diferença altamente significativa ($F = 163,67$; $p < 0,001$), conforme a Tabela 8, confirmando que a Broca Espiral (B1) foi mais eficiente que a Broca Vazada (B2). Além disso, o custo total operacional (R\$/ha) apresentou menor custo na Broca Espiral (B1). Esses resultados reforçam a superioridade técnica e econômica da Broca Espiral (B1) em solo muito argiloso.

Tabela 8 – Teste ANOVA para produtividade (Covas/PMH₀) e o tempo consumido (PMH₀/ha).

Fonte da Variação	SQ	GL	MQ	F	Valor-P	F Crítico
Entre Grupos	16,9596	1	16,9596	163,6686	2,21E-22	3,9412
Dentro dos Grupos	9,8440	95	0,1036			
Total	26,8037	96				

Fonte: O Autor (2025).

Esses resultados podem ser justificados, pois a textura do solo influencia diretamente as operações florestais, sobretudo no preparo do solo para plantio mecanizado. A camada superficial (0-20 cm), por ser mais siltosa, tende a ser friável e menos coesa, facilitando a penetração inicial da broca e reduzindo o esforço necessário no início do coveamento. Já a camada subsuperficial (20-40 cm), com maior teor de argila, apresenta maior coesão entre partículas e resistência à fragmentação, o que aumenta a aderência do solo às brocas durante a operação. Essa alta aderência está associada à elevada proporção de argila identificada nas amostras, cujas características, como tamanho de partícula muito fino, ampla área superficial e alta capacidade de retenção de água, conferem ao solo propriedades como plasticidade, coesão e pegajosidade, especialmente quando a umidade está próxima à capacidade de campo (HILLEL, 1998). Como resultado, formam-se massas compactas que aderem facilmente à superfície metálica da ferramenta, dificultando a ejeção do solo e exigindo maior esforço operacional, maior consumo energético, desgaste acelerado dos componentes e, por vezes, paradas frequentes para limpeza manual da broca, como observado em campo, principalmente nos ciclos da Broca Vazada (B2), o que resultou em um Tempo Total efetivo maior para esta broca.

Essas condições adversas foram intensificadas pela umidade do solo estar cerca de 9% abaixo do limite de plasticidade, o que aumentou ainda mais a resistência à penetração e a coesão do solo. Essa observação está em conformidade com os índices de consistência elevados (2,31 a 3,91), característicos de solos duros, densos e de difícil escavação (TERZAGHI *et al.*, 1996). Tais condições exigem torque e potência elevados para a perfuração e comprometem a estabilidade da operação.

Resultados semelhantes foram descritos por Lardy *et al.* (2022), que demonstraram que a resistência do solo à penetração se eleva fortemente com a redução da umidade, fenômeno confirmado neste estudo. A elevada coesão e tensão capilar, típicas desse estado físico, favoreceram o acúmulo de solo nas lâminas da Broca Vazada (B2), dificultando sua operação. El-Gendy *et al.* (2009) também observaram que o aumento do diâmetro da ferramenta, associado à ausência de hélices contínuas, compromete a eficiência de escavação, aumenta o torque necessário e reduz a eficiência na ejeção do solo, o que contribui para a maior variabilidade operacional da Broca Vazada (B2) registrada neste estudo.

Em contrapartida, a Broca Espiral (B1), dotada de geometria helicoidal contínua, promoveu ejeção constante do solo, menor compactação interna da cova e ciclos de operação mais estáveis. Essa eficiência está alinhada com os achados de Rajabi *et al.* (2018), que

destacaram as vantagens mecânicas dos sistemas helicoidais em solos coesos, sobretudo pela redução do esforço mecânico e do tempo de operação. Estudos mais recentes, como os de Chen *et al.* (2019) e Qiu *et al.* (2021), reforçam que tanto a resistência à penetração quanto a aderência de partículas às ferramentas são fortemente condicionadas à textura e à umidade do solo, sendo fatores determinantes na escolha de implementos e no planejamento operacional.

Portanto, embora a Broca Vazada (B2) apresente menor consumo de combustível e óleo por hora, sua baixa produtividade, alta variabilidade e sensibilidade às condições físicas do solo resultaram em maior tempo de operação e custo elevado por hectare. A ausência de hélice contínua dificulta a liberação do solo acumulado, demandando intervenções corretivas. Em contraste, a Broca Espiral (B1) mostrou-se mais eficiente e economicamente vantajosa ao garantir remoção constante do solo e maior regularidade nos ciclos. Esses resultados reforçam que a eficiência do coveamento mecanizado depende da interação entre textura, umidade e geometria da ferramenta, sendo a Broca Espiral (B1) mais adequada para condições de solo argiloso e abaixo do limite de plasticidade.

5 CONCLUSÃO

A Broca Espiral (B1) apresentou desempenho técnico e econômico superior, atingindo maior profundidade, maior produtividade, menor tempo de perfuração e menor custo operacional por hectare, em comparação com a Broca Vazada (B2). Conclui-se, portanto, que a Broca Espiral (B1) é a opção mais eficiente, estável e econômica para o coveamento mecanizado em solos muito argilosos.

O solo da área apresentou textura muito argilosa, com aumento do teor de argila em profundidade, o que o torna mais coeso e resistente à penetração. A umidade estava cerca de 9% abaixo do limite de plasticidade, deixando o solo mais rígido e quebradiço, o que elevou o esforço necessário para a perfuração.

Os resultados dos limites de Atterberg indicaram baixa plasticidade e alta consistência, características de solos com argilas pouco ativas, que mantêm estrutura firme, mas difícil de deformar quando abaixo do limite de plasticidade. Essas condições influenciaram diretamente o desempenho das brocas durante o trabalho em campo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Recomenda-se que estudos futuros avaliem o desempenho das brocas em diferentes níveis de umidade e tipos de solo, além de testar novos formatos que melhorem ainda mais a eficiência e o consumo de energia das ferramentas. Bem como o índice de sobrevivência das mudas plantadas nas covas perfuradas pelos diferentes tipos de brocas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, G. P. **Caracterização física e classificação dos solos**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Transportes, 2004. 132 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:2016** – Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 8 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459:2016** – Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:2016** – Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.
- BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. Tradução da 6ª edição americana por Sérgio Luiz Oliveira Assis, José S. Guedes Azevedo e Arnaldo Pallotta; revisão técnica de Miguel de Simoni e Ricardo Seidl da Fonseca. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 631 p.
- CAMPOS, A. A. **Desempenho operacional e análise de custos da implantação florestal mecanizada de eucalipto**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Jerônimo Monteiro, 2013.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos: fundamentos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988. Disponível em: <https://archive.org/details/mecanica-solos-fundamentos-vol1-6ed-caputo/mode/2up>. Acesso em: 21 out. 2025.
- CASAGRANDE, A. **Classification and identification of soils**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, v. 73, n. 6, p. 783–810, 1948.
- CHAPMAN, S. L.; ALLAN, E. J. **Métodos de trabalho e tempos padrões**. Rio de Janeiro: LTC, 1978.
- CHEN, Z.; WANG, L.; XU, D.; ZHANG, S.; ZHAO, J. Investigation on soil-tool interaction using discrete element method (DEM): A review. **Journal of Terramechanics**, v. 85, p. 1–14, 2019.
- CORREA, L. E. A. Estudo de tempos e movimentos. **Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção – RELAINEP**, Curitiba, v. 11, n. 19A, p. 22–42, 2023.
- DONAGEMMA, G. K.; VIANA, J. H. M.; ALMEIDA, B. G. de; RUIZ, H. A.; KLEIN, V. A.; DECHEN, S. C. F.; FERNANDES, R. B. A. Análise granulométrica do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 95–106.

EL-GENDY, H. A.; ABD EL-HALIM, S. N.; MORGHANY, H. A.; ABOUKARIMA, A. M. Evaluating performance of a post hole digger. **Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering**, v. 34, n. 5, p. 5783–5793, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. ISBN 978-85-7035-800-4.

EPAGRI. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina: 2013–2014**. Florianópolis: EPAGRI, 2013. 264 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Nitossolos brunos**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/nitossolos/nitossolos-brunos>. Acesso em: 21 out. 2025.

FIEDLER, N. C.; BARBOSA, R. P.; ANDREON, B. C.; GONÇALVES, S. B.; SILVA, E. N. Avaliação das posturas adotadas em operações florestais em áreas declivosas. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 402–409, 2011.

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*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 635–646, 2003.

GUEDES, M. C. et al. Avaliação da compactação de solos sob cultivo de eucalipto em diferentes sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 651–658, 2010.

HAKAMADA, R. E. et al. Efeito do método de preparo do solo na produtividade de *Eucalyptus grandis* × *Eucalyptus urophylla* em Neossolo Quartzarênico e Latossolo. **Revista do Instituto Florestal**, v. 25, n. 2, p. 139–149, 2013.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic Press, 1998. 771 p. ISBN 978-0-12-348525-0.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório anual 2024**. Brasília: Ibá, 2024.

INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (IUCN). **Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze – Parana Pine**. In: The IUCN Red List of Threatened Species, 2013: e.T32975A2829141.

LARDY, J. M. et al. Effects of soil bulk density and water content on penetration resistance. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 7, n. 1, e20096, 2022. DOI: 10.1002/ael2.20096.

MACHADO, D.L., DOURADO, M.N., FREITAS, M.S., SOUZA, L.M., SILVA, E.M., PODADERA, D.S., ANDRADE, C.R., FERREIRA, W.C., GUILHERME, F.A.G. Organic

Mulching Alters the Soil Microclimate, Increases Survival and Growth of Tree Seedlings in Restoration Planting. **Forests**, v. 15, n. 10, p. 1-13, 2024. DOI: 10.3390/f15101777.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/15/10/1777>. Acesso em: 12 dez. 2025

MAFRA, A. L. et al. Pedogênese de uma sequência de solos desenvolvidos de arenito na região de Piracicaba (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 355–369, 2001.

MAGAGNOTTI, N; SPINELLI, R. **Good practice guidelines for biomass production studies**. European Cooperation in Science and Technology (COST), 2010.

MARAN, J.C., ROSOT, M.A.D., RADOMSKI, M.I., KELLERMANN, B. Análise de sobrevivência e germinação em plantios de *Araucaria angustifolia* derivados de mudas e sementes. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 1349–1360, 2016.

MIYATA, E. S. **Determining fixed and operating costs of logging equipment**. St. Paul, Minnesota: USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, 1980. (General Technical Report NC-55).

OLIVEIRA, L. B. et al. Micromorfologia e gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2407–2423, 2008.

QIU, R.; XU, L.; YANG, J.; WANG, X.; YANG, S. Experimental research on the adhesion characteristics of clay to structures with different materials. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2021, Article ID 3794889, p. 1–11, 2021

RAJABI, M.; KALANTARI, D.; MALAPOUR, S. Design, development and evaluation of a new motorized hydraulic hole-digger for spot treatment. **Journal of Agricultural Machinery**, v. 8, n. 2, p. 235–248, 2018.

REBOLETO, I. D. et al. Avaliação biomecânica no coveamento semi-mecanizado e plantio florestal manual com xuxo. In: **XXI Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica**. São José dos Campos: Univap, 2017.

REICHERT, J. M. et al. Mecânica do solo. In: **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

REICHERT, J. M. et al. Índices de consistência: Limites de Atterberg. In: **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009.

SCHUMACHER, M. V. et al. **Silvicultura aplicada – Parte II**. 3. ed. rev. Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2017.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; VULCANIS, L.; BERNI, D. M. Sobrevivência de mudas de *Araucaria angustifolia* perante o controle de taquaras (Bambusoideae) no Paraná, Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 35, n. 1, p. 127-135, 2005. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/2436>. Acesso em: 12 dez. 2025.

SANTOS, H. G. et al. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 101 p.

SILVA, A. P. da. Indicadores de qualidade física do solo. In: **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Embrapa, 2010. cap. 7, p. 230–260.

SILVA, E. N.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. Análise ergonômica do trabalho de coveamento manual em atividades florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 327–334, 2007.

STIHL. **Motocoveador BT 131: manual técnico**. São Leopoldo: STIHL Ferramentas Motorizadas Ltda., 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Soil survey manual**. Soil Science Division Staff; editado por Craig Ditzler, Kenneth Scheffe e H. Curtis Monger. 4. ed. rev. e ampl. Washington, D.C.: Government Printing Office, 2017. (USDA Handbook n. 18). ISBN 978-0-16-093587-3.