

RAFAEL RIBEIRO SOLER

**DESEMPENHO OPERACIONAL E ECONÔMICO DO ENSAIO DE UMA
PLANTADORA TRIPLA AUTOMATIZADA DE MUDAS FLORESTAIS**

Botucatu

2020

RAFAEL RIBEIRO SOLER

**DESEMPENHO OPERACIONAL E ECONÔMICO DO ENSAIO DE UMA
PLANTADORA TRIPLA AUTOMATIZADA DE MUDAS FLORESTAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe
Sebastião Guerra

Botucatu

2020

S685d	Soler, Rafael Ribeiro Desempenho operacional e econômico do ensaio de uma plantadora tripla automatizada de mudas florestais / Rafael Ribeiro Soler. -- Botucatu, 2020 70 p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Saulo Philipe Sebastião Guerra 1. Engenharia florestal. 2. Silvicultura. 3. Máquinas florestais. I. Título.
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "DESEMPENHO OPERACIONAL E ECONÔMICO DO ENSAIO DE UMA PLANTADORA
TRIPLA AUTOMATIZADA DE MUDAS FLORESTAIS"

AUTOR: RAFAEL RIBEIRO SOLER

ORIENTADOR: SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. SAULO PHILIPPE SEBASTIÃO GUERRA
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

P/ Prof.ª Dr.ª MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

P/ Pesquisador Dr. GUILHERME OGURI
Programa Cooperativo sobre Mecanização e Automação Florestal / Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

P/ Prof. Dr. MARCELO SCANTAMBURLO DENADAI
Laboratório Agroflorestal de Biomassa e Bioenergia / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

P/ Dr. ALEXANDRE DE VICENTE FERRAZ
Programa Cooperativo sobre Silvicultura e Manejo / Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Botucatu, 20 de maio de 2020.

DEDICO

Ao meu falecido pai, Adão Aparecido Soler, por ter estimulado o estudo e a perseverar em busca de meus sonhos;

À minha mãe, Maria de Lourdes Ribeiro Soler, por todo amor, carinho e paciência em minha trajetória;

À minha irmã, Lais Ribeiro Soler, pelo apoio, companheirismo e incentivo durante toda minha formação.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora por me conduzirem e serem meu refúgio;

A toda minha família por acreditarem e me apoiarem ao longo da minha formação profissional e terem me ensinado o significado de amar incondicionalmente;

Ao Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra que, desde 2012, me orienta em minha formação como aluno e pessoa, e também por todas oportunidades de estágio e por me propiciar o início de minha carreira profissional;

À Julia, minha namorada, por todo incentivo e paciência durante este período do doutorado, em especial ao tempo quando estive longe, e por todo seu amor que me acompanhou;

À Faculdade de Ciências Agronômicas por todo conhecimento e por ter sido minha “casa” desde 2009, e em especial aos docentes e funcionários do Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia pela paciência e apoio durante o dia a dia;

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura pela oportunidade e confiança;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À empresa Suzano S.A. pela oportunidade, confiança e suporte no desenvolvimento do trabalho em campo, em especial ao Sr. Gilmar Antonio Pancera;

Às empresas Bracke Forest, Komatsu e Hexagon por terem cedido informações e me auxiliado durante o projeto;

Aos amigos e membros do Laboratório Agroflorestal de Biomassa e Bioenergia – LABB: André Luiz, Bruna, Carla, Emanuel, Marcelo, Natália, Rafaela, Renan e Samara pela convivência, amizade e paciência durante o doutorado;

Aos demais amigos de Botucatu - SP: André Vitor, Augusto, Bruno, Guilherme, Guilherme O., Humberto, Murilo, Raoni e Renan pela amizade e convívio durante o doutorado;

Aos amigos de Assis – SP: Amarildo, Carlos, Caroline e Paulo que mesmo distantes me apoiaram ao longo de minha mudança para Botucatu;

RESUMO

O aumento da área plantada com florestas vem movimentando o setor de desenvolvimento de máquinas e equipamentos, que buscam inovar o mercado com novas soluções para a silvicultura. Sendo assim, novas alternativas surgem para a operação de plantio, com opções totalmente mecanizadas, a fim de aumentarem o rendimento e também agregarem funções em uma mesma operação. Com isso, avaliou-se uma plantadora tripla automatizada, que possui um sistema de georreferenciamento que controla sua movimentação e os locais a serem plantados. Foram mensurados os rendimentos operacionais em dois diferentes espaçamentos entre plantas, 3,5 x 1,8m e 3,5 x 2,3 m, sendo as mudas recém-plantadas avaliadas quanto à qualidade do plantio e seus espaçamentos aferidos como forma de avaliar o sistema de georreferenciamento. Após estas avaliações, realizou-se a análise econômica da operação, utilizando o modelo COST Action FP 0902. Os tratamentos adotados foram os espaçamentos entre plantas, adotando-se o delineamento inteiramente casualizado para análise dos rendimentos operacionais. Enquanto que para a análise qualitativa do plantio foram verificados a profundidade do plantio, a posição da muda em relação a cova e número de mudas por cova, bem como os espaçamentos entre plantas para cada tratamento. Considerando a análise dos rendimentos operacionais, houve diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos para o mesmo rendimento, e também entre os rendimentos para o mesmo tratamento. Os valores médios calculados para o rendimento sem reabastecimento foram de 893 mudas hora⁻¹ e de 703 mudas hora⁻¹ para os espaçamentos de 3,5 x 1,8m e 3,5 x 2,3 m respectivamente. Quanto a qualidade da operação foi de 66 % para a taxa de fixação das mudas, 27 % de não fixas e 7 % de falhas de plantio, enquanto que os espaçamentos médios aferidos estiveram próximos do recomendado. O custo operacional foi maior para o espaçamento de 3,5 x 1,8 m, devido ao maior número de mudas por hectare, ressaltando-se que o aumento do rendimento e eficiência operacional poderão reduzir o custo operacional da plantadora tripla automatizada. Com isso, observou-se que a plantadora tripla automatizada possui potencial para o setor, sendo a primeira máquina a realizar o plantio automatizado na área florestal.

Palavras-chave: Operações florestais. Silvicultura. Automação. Qualidade plantio. Custo operacional.

ABSTRACT

The increase in the planted area with forests has been moving the sector for the development of machinery and equipment, which seeks to innovate the market with new solutions for forestry. Thus, new alternatives appear for the planting operation, with fully mechanized options, to accelerate the yield and also add functions in the same operation. Thereby, an automated triple planter was evaluated, which has a georeferencing system that controls its movement and the spots to be planted. Yields were measured in two different spacing between plants, 3.5 x 1.8 m and 3.5 x 2.3 m, with the newly planted seedlings were evaluated for planting quality and their spacing measured as a way to evaluate the georeferencing system. After these evaluations, an economic analysis of the operation was carried out, using the COST Action FP 0902 model. The treatments adopted were the spacing between plants, adopting a completely randomized design for the analysis of the yields. While for the qualitative analysis of the planting, the planting depth was verified, the position of the seedling in relation to the pitch and the number of seedlings per pitch, as well as the spacing between plants for each treatment. Considering the analysis of the yields, there was a statistically significant difference between treatments for the same yield, and also between yields for the same treatment. The average values calculated for the yield without refilling were 893 seedlings hour⁻¹ and 703 seedlings hour⁻¹ for the spacing of 3.5 x 1.8 m, and 3.5 x 2.3 m respectively. The planting quality was 66% for the fixed seedling rate, 27% for non-fixed seedlings and 7% for the failures, while the average spacing measured was 1,839 m and 2,315 m. The operating cost was higher for the spacing of 3.5 x 1.8 m, due to the higher number of seedlings per hectare, emphasizing that the increase in yield and machine utilization may reduce the operational cost of the automated triple planter. Thus, it was observed that the automated triple planter has potential for the sector, being the first machine to carry out automated planting in forestry.

Keywords: Forestry operations. Silviculture. Automation. Planting quality. Cost operation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Doroplanter	24
Figura 2. MoDo Mekan.....	24
Figura 3. Ösa 650.....	25
Figura 4. Serlachius	25
Figura 5. ReForester	26
Figura 6. Silva Nova	27
Figura 7. EcoPlanter.....	28
Figura 8. SwePlant.....	28
Figura 9. M-Planter.....	29
Figura 10. Demarcação da área experimental pertencente à Suzano SA.....	34
Figura 11. D85 com subsolador Ecotill 400 A.....	35
Figura 12. Visão geral do conjunto de plantio automatizado	36
Figura 13. Vista superior dos três cabeçotes plantadores.....	37
Figura 14. Sequência do plantio com uso de do cabeçote plantador	38
Figura 15. Amplitude de movimentação lateral dos cabeçotes	39
Figura 16. Delineamento experimental do plantio com a máquina em dois diferentes espaçamentos entre mudas, com as parcelas (em vermelho) para a análise qualitativa	41

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	A automação e a mecanização das máquinas no setor florestal.....	20
2.2	A evolução da atividade de plantio de espécies florestais.....	23
2.3	A mecanização da operação de plantio florestal no Brasil.....	30
2.4	Custos de operações com máquinas florestais.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
3.1	Caracterização e preparo da área experimental.....	34
3.2	Plantadora tripla automatizada.....	35
3.3	Mudas utilizadas para o plantio automatizado.....	40
3.4	Delineamento experimental.....	40
3.5	Análise operacional da plantadora tripla automatizada.....	41
3.6	Análise qualitativa do plantio.....	43
3.7	Análise econômica da operação com a plantadora.....	44
4	RESULTADOS.....	47
4.1	Análise do desempenho operacional da plantadora.....	47
4.2	Análise qualitativa do plantio semiautônomo.....	49
4.3	Economicidade da operação de plantio semiautônomo.....	51
5	DISCUSSÃO.....	54
6	CONCLUSÃO.....	61
	REFERÊNCIAS.....	

1 INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo da população mundial demanda um aumento proporcional de produtos madeireiros, seja para construção de moradias, como produção de celulose e papel, e entre outros fatores. Desta forma, para atender à este cenário do aumento populacional, serão necessários até 250 milhões de hectares de florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2017).

Além das implicações citadas anteriormente, há ainda a migração das pessoas às áreas urbanas, ao mesmo tempo que se necessita a expansão de áreas destinadas ao setor agropecuário e florestal. Atualmente, é notória a redução de mão-de-obra temporária na agropecuária, responsável por realizar trabalhos como plantios e colheitas (STADUTO, SHIKIDA e BACHA, 2004; MATTEI, 2015, apud MORAIS, 2018).

Quando a implantação e a manutenção de uma floresta consistem em atividades manuais ou semimecanizadas, demandam-se um grande número de trabalhadores que, dotados de ferramentas e equipamentos adaptados, realizam o trabalho em condições ergonômicas inapropriadas (LOPES, et al, 2013). Em um levantamento realizado por Kotovicz Filho (2016) em empresas florestais brasileiras, cerca de 84% das áreas pesquisadas possuem atividades de plantio consideradas manuais. De acordo com a categorização elaborada pelo autor, apenas 16% das áreas restantes consistem em atividades semimecanizadas ou mecanizadas.

É preciso considerar ainda que a atividade manual de plantio requer esforços dos trabalhadores, podendo ser classificada como trabalho leve a meio pesado (APPELROTH, 1971). Tendo em vista a larga escala de plantio anual que uma empresa do setor florestal possui, a operação manual é uma atividade desgastante e exigente para o trabalhador, tanto fisicamente como mentalmente (BALENSIEFER, 1978; STJERNBERG, 1988, apud FESSEL, 2003).

Além destes fatores, há de se atentar para o fator agravante de que, em áreas declivosas, requer-se mais atividades manuais devido à limitação de operação com máquinas, por exemplo, como a abertura de covas para o plantio de mudas florestais, utilizando-se enxadas, e depois o plantio com plantadoras manuais (FERREIRA, 2006; PAGOTTO, 2007).

Segundo Vosniak et al (2011), trabalhadores utilizando a plantadora manual em implantação de pinheiros, permaneceram com a coluna curvada na maior parte do

turno de trabalho, sendo a finalização do plantio o momento em que sofreram maior impacto, em especial aqueles com maior estatura. Já em um estudo analisando três atividades de implantação florestal: o plantio, a adubação e a aplicação de herbicidas, os trabalhadores relataram que os maiores desconfortos sofridos foram durante a atividade de plantio, utilizando uma plantadora manual acoplada à uma bomba costal abastecida de hidrogel, totalizando um peso de 28,9 kg, e uma caixa com sementes com peso de 4,6 kg (LOPES, et al, 2019).

O custo com os trabalhadores tem aumentado por conta da escassez de pessoas disponíveis regionalmente, ocasionando a busca por trabalhadores de outras regiões, o que eleva o valor por trabalhador (SOARES, 2009, apud CONCEIÇÃO, 2014), além do aumento do salário mínimo, altos encargos sociais, alta incidência de acidentes no campo, alta rotatividade dos trabalhadores em empresas prestadoras de serviços, entre outros.

A mecanização da atividade de plantio teve início nos países escandinavos, como Finlândia e Suécia por volta de 1960, evoluindo de máquinas de plantio contínuo para as que podem ser acopladas em gruas para plantios intermitentes (ERSSON, 2014). Inúmeros equipamentos surgiram como soluções para o plantio, destacando-se alguns que agregariam mais funcionalidades à operação, como a Bracke Planter, que realiza o plantio, irrigação, adubação e inversão da camada superficial do solo, com capacidade de 62 a 196 mudas por ciclo.

Outro equipamento com características multifuncionais, a M-planter, apresenta dois cabeçotes trabalhando simultaneamente, realizando a inversão da camada superficial do solo e plantando as mudas, com capacidade de 242 mudas por ciclo. A Risutec, analogamente aos equipamentos citados, realiza as funções de inversão da camada superficial do solo, plantio, adubação, irrigação e aplicação de herbicida, oferecendo diferentes capacidades que variam de 60 a 720 mudas por ciclo (RANTALA et al., 2009, apud LAINE, 2017; RISUTEC, 2019; BRACKE FOREST, 2019).

O fator que poderia se aliar à mecanização da silvicultura a fim de consolidar o uso de equipamentos para plantio seria a automatização da operação, uma vez que se pode melhorar o rendimento operacional em atividades que requerem precisão, velocidade, como também a exposição dos trabalhadores em atividades perigosas, pois o trabalho em locais de difícil acesso ou que ofereçam riscos à saúde do

trabalhador serão evitados (STENTZ, et al, 2002, apud WESTERBERG, 2014; WESTERBERG, 2014).

Por fim, desenvolveu-se um protótipo que realizasse o plantio simultaneamente, com o uso de três cabeçotes Bracke Planter acoplados na parte frontal de um trator de esteiras Komatsu D61ex, tracionando um tanque de água para a irrigação. Este conjunto possui um sistema automatizado para deslocamento e realização do ciclo do plantio, sendo o operador responsável pelas manobras com a máquina ao fim das linhas de plantio.

O objetivo do presente estudo é determinar o desempenho operacional, avaliar a qualidade do plantio e analisar economicamente a operação da plantadora tripla automatizada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A mecanização e a automação no setor florestal

O processo de mecanização no setor florestal se deu em um ritmo lento quando comparado ao da agricultura. Para que uma atividade ou operação seja considerada mecanizada, deve ser realizada por máquinas motoras, em que seus mecanismos atuem se movimentando através do acionamento direto, ou quando adotam equipamentos, ou ferramentas, adaptados para realização da atividade determinada (LIMA e LEITE, 2014).

Os primeiros passos foi o desenvolvimento de uma motosserra, operada por dois trabalhadores na atividade de derrubada e processamento das árvores, nos Estados Unidos da América e na Suécia, em meados de 1916 e 1917. Por volta de 1950, buscou-se reduzir o peso da motosserra, permitindo sua utilização por apenas uma única pessoa (SILVERSIDES, 1998).

Na Suécia, nos anos de 1960, cerca de 80% do volume total das toras removidas no campo era realizada por cavalos. Em um curto espaço de tempo, na década de 1970, o desenvolvimento de tratores e máquinas para a extração das toras no campo inverteu o cenário da mecanização neste país, tornando 95% do volume total extraído de maneira mecanizada (ANDERSSON, 2004, *apud* RINGDAHL, 2011).

As máquinas de desgalhar e processar as toras foram introduzidas entre os anos de 1966 e 1967, e as de derrubada das árvores em 1972. Os *harvesters*, máquinas capazes de cortar, desgalhar e processar as árvores, foram inventadas na Suécia e Finlândia nos anos 1972 e 1973 (RINGDAHL, 2011).

O desenvolvimento da mecanização no setor florestal tem como objetivos a redução dos custos, aumento da produtividade da operação, e, especificamente na área de colheita, a otimização da conversão de árvores em toras (RINGDAHL, 2011), bem como a mitigação dos perigos aos trabalhadores do setor (PARKER, et al, 2016).

O termo automação é conceituado como um processo posterior à mecanização, onde a realização de atividades operacionais nas indústrias é controlada e executada por intermédio de dispositivos mecânicos ou elétricos, em substituição ao operador (LUZ e KUIAWINSKI, 2006).

Uma pesquisa realizada no setor florestal da Nova Zelândia verificou uma grande aceitação por equipamentos robotizados, apesar da desconfiança acerca do impacto

social em pequenas comunidades rurais (BAYNE; PARKER, 2012). Westerberg (2014) destaca que a automação dificilmente geraria a completa remoção da mão-de-obra humana do trabalho, pois mesmo os processos totalmente autônomos necessitariam de supervisores até mesmo para evitar possíveis acidentes.

Pesquisadores suecos observaram que as atividades de colheita florestal vêm se tornando cada vez mais rápidas, tornando as funções realizadas pelos operadores o fator limitante para melhorar a produtividade nas operações (RINGDAHL, 2011). Apesar de o ser humano realizar apenas os movimentos de *joysticks*, são necessárias paradas ao longo da jornada de trabalho, enquanto as limitações das máquinas referem-se à capacidade do tanque de combustível e às manutenções (PARKER, et al, 2016).

Por sua vez, as máquinas controladas por teleoperação são caracterizadas por operações em que o operador esteja distante da área em que a máquina se encontra; com o auxílio de câmeras e sensores, pode-se escutar e até mesmo sentir a máquina no campo de trabalho. Podem ser enquadrados nesta classificação o uso de VANTS – Veículos Aéreo Não Tripulado, do modelo RPA (*Remotely-Piloted Aircraft*) (PARKER, et al, 2016; DRONDRONES, 2017).

A automação ainda não se encontra difundida para máquinas móveis no setor florestal (PARKER, et al, 2016), porém existem as chamadas estacionárias que são consideradas automatizadas, como as máquinas de estaqueamento de mudas de eucalipto, controle de fertirrigação, entre outras. Pode-se considerar semiautomáticos alguns VANTS que possuem piloto automático, permitindo o controle do voo desde a partida até a aterrissagem, ou retorno à base ao pressionar de um botão (PARKER, et al, 2016).

Existem veículos autônomos consolidados em outras áreas, como na mineração (BELLAMY e PRAVICA, 2011), movimentação de carga (BAE, et al, 2011), e na agricultura (SHEARER, et al, 2010); já as máquinas florestais totalmente autônomas deverão superar vários obstáculos até serem consolidadas (HALLONBORG, 2003).

As condições de campo em uma área de floresta são mais difíceis quando comparadas às existentes em indústrias, pois estão expostos ao calor, frio, neve e poeira. Além disso, necessita-se de inteligência artificial altamente capacitada para tomar as decisões necessárias no campo, bem como às ocorrências inesperadas que possam vir a acontecer (WESTERBERG e SHIRIAEV, 2013).

Existem diferentes classificações para categorizar os níveis de automação, sendo chamados de *Levels Of Automation* – LOA (GOODRICH e SCHULTZ, 2007). Destaca-se uma das primeiras e mais conhecidas que foi descrita por Sheridan e Verplank (1978), contendo 10 diferentes níveis da automação, desde o controle totalmente manual até o totalmente autônomo, em que as tarefas e responsabilidades distribuem-se entre homens e máquinas.

O conceito de LOA tem sido discutido para que um mesmo sistema possa ter diferentes partes que sejam automatizadas em diferentes níveis (WESTERBERG, 2014). Um baixo nível de LOA resulta em baixo custo inicial, alta confiabilidade, boa compreensão da situação e fácil restabelecimento de uma falha causada pela automação, enquanto um alto nível poderá aumentar a produtividade, melhorar o ambiente de trabalho, bem como uma queda no custo conforme o sistema operacional (KABER e ENDSLEY, 2004).

Em uma condição de semiautomação, algumas tarefas são realizadas por humanos, enquanto que outras pela máquina, correspondendo ao nível intermediário da escala LOA. Esta categoria é subdividida em duas categorias, sendo a primeira chamada controle compartilhado, em que o operador e a máquina dividem as funções simultaneamente, como por exemplo com o operador controlando um manipulador robótico manualmente, enquanto que a máquina desvia de obstáculos no caminho. A outra divisão corresponde ao controle negociado, em que cada função deve ser realizada de acordo com um tempo, ou seja, trabalhando em turnos separados, evitando de que ocorram concomitantemente (WESTERBERG, 2014).

Atualmente, a colheita florestal se aproxima rapidamente de conquistar a automação de suas máquinas. Um exemplo é o caso da John Deere Forestry na Finlândia, que tem desenvolvido um sistema de controle de lança, onde os cilindros hidráulicos são automaticamente ajustados para movimentar a ponta da lança na direção em que o operador desejar. Desta forma, reduz o esforço, a dependência dos movimentos do operador, e a curva de aprendizagem do operador com o sistema, acelerando o ciclo de operação e melhorando o consumo de combustível (PARKER, et al, 2016).

Lindroos, et al (2017), destacam também as lanças desenvolvidas pela Cranab AB, que foram equipadas com um sistema de sensores de movimentos integrados e suspensões ativas que melhoram a qualidade dos deslocamentos em terrenos

desiguais, além de válvulas hidráulicas equipadas com eletrônica digital visando a melhoria da dinâmica do controle de movimento das máquinas.

Ainda assim, a tecnologia precisa ser aperfeiçoada gradualmente para conquistar mais movimentos e desempenhar mais atividades, além de aprimorar e facilitar as condições de trabalho do operador (RINGDAHL, 2011). Apesar da perspectiva de que o setor florestal e demais segmentos da indústria utilizarão da robótica e de máquinas automatizadas no futuro, obstáculos ainda existem, principalmente quando consideradas as condições físicas das florestas, em que terrenos declivosos, solos sensíveis, áreas remotas e muito extensas, dificultam o manejo e adaptação à estas características. Estas máquinas deverão ser projetadas para se inserirem no contexto em que a floresta se estabelece, da mesma forma que os animais convivem com a floresta (PARKER, et al, 2016).

2.2 A evolução da atividade de plantio de espécies florestais

Em 1965, teve início o programa desenvolvido pela Faculdade Sueca de Florestas que incentivava a mecanização da operação de plantio. Este programa foi o primeiro voltado à pesquisa de máquinas de plantio nos países nórdicos (BÄCKSTRÖM, 1978). As atividades duraram até 1970, produzindo 4 diferentes protótipos que realizavam apenas a atividade de plantio, sendo dois em sistema de plantio contínuo e dois intermitentes (MALMBERG, 1990).

A ideia de máquinas intermitentes correspondia, naquela época, a de que os cabeçotes realizavam o movimento de subida e descida, penetrando no solo e levantando, e a máquina base onde estavam acoplados permanecia em movimento contínuo (MALMBERG, 1990).

Em 1973 as plantadoras que realizavam a cova foram introduzidas no mercado, sendo conhecidas como a terceira geração destas máquinas, conforme classificação de Bäckström (1978), a saber:

- 1ª geração: 1885 aos dias de hoje, consistem na operação contínua do preparo de solo e do plantio;
- 2ª geração: de 1965 aos dias de hoje, preparo de solo e plantio intermitentes, mas a máquina base em movimento contínuo;
- 3ª geração: de 1973 aos dias de hoje, realizam a abertura da cova e plantio.

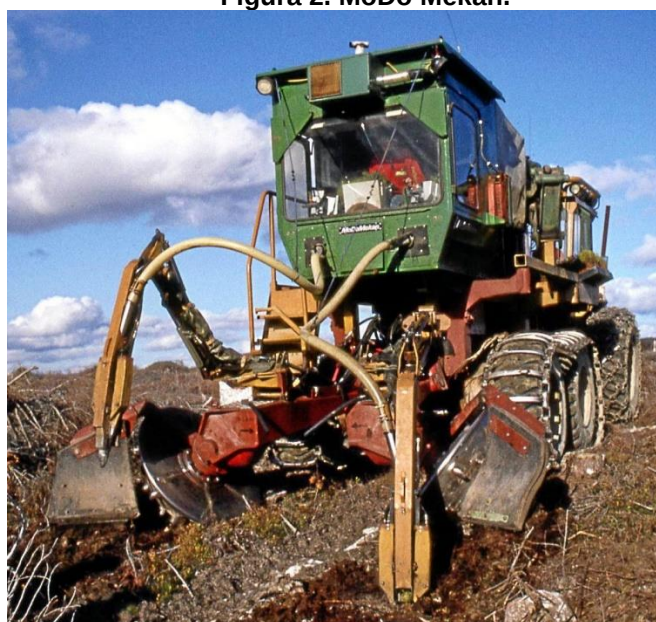
As duas primeiras máquinas comerciais da Suécia surgiram na metade da década de 1970, conhecidas como: Doroplanter (Figura 1) e MoDo Mekan (Figura 2). Ambas consistiam em escarificadoras intermitentes com sistemas de plantio que realizavam a abertura das covas, necessitando de dois operadores, e foram vendidas para as maiores empresas florestais (BERG, 1991). O desenvolvimento da Doroplanter foi subsidiado por uma empresa florestal sueca, sendo um dos desenvolvedores Hilding Grundström, quem ficava na estação de máquinas em Dorotea, e tendo versões testadas entre os anos de 1976 e 1982 (ANDERSSON, 2018).

Figura 1. Doroplanter



Fonte: ANDERSSON (2018)

Figura 2. MoDo Mekan.



Fonte: ANDERSSON (2018)

Pouco tempo depois, foi desenvolvido um novo protótipo testado em 1977 pela Ösa. Conhecida como Ösa 650 (Figura 3), a máquina realizava a escarificação do solo continuamente, enquanto que o plantio era intermitente (ANDERSSON, 2018).

Figura 3. Ösa 650



Fonte: ANDERSSON (2018)

No fim dos anos 1970, mais dois protótipos foram desenvolvidos: Serlachius e FIAB YPM 30 (BERG, 1991). A Serlachius (Figura 4) pertencia à empresa finlandesa Serlachius Oy, que investiu recurso durante os testes (ANDERSSON, 2018) e que, sendo acoplada em um *forwarder*, necessitava apenas de um operador para sua operação. Ela plantava mudas alocadas em um sistema de abastecimento automático, permitia o plantio de diversos tipos de mudas, e escarificava com o conceito de inversão da camada superficial do solo (STJERNBERG, 1985).

Figura 4. Serlachius



Fonte: ANDERSSON (2018)

Em comparação com a Serlachius, a FIAB YPM 30 podia ser classificada mais como uma escarificadora e transportadora de mudas do que plantadora. Os tamanhos

dos substratos utilizados eram grandes e semelhantes a travesseiros, alocados dentro de sulcos abertos pelo sistema de escarificação, necessitando que trabalhadores andassem atrás da máquina para posicionar a muda corretamente e realizar o correto plantio (MYHRMAN e ZYLBERSTEIN, 1983; MALMBERG, 1990).

Em 1978, em British Columbia no Canadá foi testado um protótipo denominado ReForester (Figura 5). Esta máquina consistia em uma conversão de um veículo blindado, acoplando-se três braços para o plantio e uma pessoa para dirigir a máquina (WALTERS e SILVERSIDES, 1979).

Figura 5. ReForester



Fonte: Ersson (2010, p. 25)

Os anos 1980 foram marcados pelo amplo desenvolvimento e pesquisas na América do Norte e Países escandinavos, surgindo 16 protótipos de máquinas para o plantio (ERSSON, 2014). Neste contexto, o conceito da MoDo Mekan foi aprimorado pela Silva Nova (Figura 6), tendo o apoio de quatro empresas florestais suecas que possibilitaram a finalização do desenvolvimento de 3 versões da máquina (HALLONBORG, et al, 1995).

Depois de quinze anos de melhorias, em 1994, as regiões norte e central da Suécia possuíam pelo menos seis máquinas trabalhando em áreas de reflorestamento. Estas necessitavam de dois operadores, além de escarificar a área com “*disc trencher*” e possuir dois braços para o plantio; algumas vezes, possuíam um sistema automático de abastecimento de mudas (HALLONBORG, et al, 1995). Já

em 1997, a área de reflorestamento da parte norte e central da Suécia realizada pela Silva Nova correspondia a cerca de 9 a 12%. (LINDHOLM e BERG, 2005).

Figura 6. Silva Nova



Fonte: Bracke Forest (2018)

Apesar disso, em áreas rochosas, as máquinas que realizavam a abertura de covas e plantio eram ineficientes. A partir deste problema surgiu o conceito de máquinas que realizassem o transporte de terra para formar uma camada extra de solo na muda e, desta forma, realizar o plantio. Dois protótipos surgiram a partir desta concepção: a Panth e a Doppingen. Esta última possuía uma grua com um cabeçote que adicionava camadas de areia fina ao realizar o plantio, porém teve seu uso suspenso devido à baixa sobrevivência das mudas (MALMBERG, 1990).

Ao final dos anos 1980, o primeiro equipamento de plantio a ser acoplado em uma grua que obteve sucesso em sua utilização foi a Öje-planter, hoje conhecida como Bracke Planter. Acoplada em uma escavadora ou *harvester*, a plantadora realizava a inversão da camada superficial do solo e plantava uma muda sobre ele (von HOFSTEN, 1993; HALLONBORG, et al, 1997).

Um segundo modelo de equipamento acoplado em uma grua surgiu no começo dos anos 1990 e foi denominada de EcoPlanter (Figura 7). Esta plantadora era acoplada em *harvesters*, dotada de dois rotores que acumulavam e misturavam a camada de humus com solo, e era utilizada para realizar o plantio de duas mudas por vez (ÅHLUND, 1995; NORMARK e NORR, 2002). Em 2001, o conceito foi tomado pela Valmet a qual começou a sua comercialização e, em 2003, existiam cerca de dez

máquinas sendo utilizadas na Suécia, Finlândia, Noruega e Irlanda (ANDERSSON, 2018).

Figura 7. EcoPlanter



Fonte: Andersson (2018)

Por sua vez, o conceito desenvolvido pela Bracke Forest foi adotado em diversos novos protótipos, utilizando o sistema de inversão da camada superior do solo e preparando a terra para plantar a muda. Um destes protótipos, a SwePlant (Figura 8), desenvolvida nos anos de 1990, realizava a inversão da camada superior do solo e o plantio de uma muda por vez, sendo acoplada em escavadoras de pequeno e grande porte (HALLONBORG et al, 1997).

Figura 8. SwePlant



Fonte: Ersson (2010, p. 30)

Já a M-Planter (Figura 9), equipamento desenvolvido em 2006 na Finlândia, também consistia no conceito de inversão da camada superficial do solo, porém plantava duas mudas por vez e era acoplado em escavadoras (JOHANSSON, 2007).

Figura 9. M-Planter



Fonte: M-Planter (2020)

Atualmente, novos fabricantes têm surgido no mercado, como a Novelquip Forestry na África do Sul, que tem trabalhado no desenvolvimento da ProPlant 1, que permite o preparo do solo, a adubação e aplicação de herbicidas (NOVELQUIP, 2017, *apud* BAKER, 2018). Já no Canadá, Tim C. Van Horlick Forestry Inc. tem desenvolvido a “Van Horlick’s Cultivator Planter”, que consiste em 3 cabeçotes acoplados à uma escavadora, porém ainda não há relatos de rendimento operacional deste protótipo (VAN HORLICK, 2016 *apud* BAKER, 2018).

Enquanto que na França, um artigo elaborado por Appavoo et al (2017) cita o desenvolvimento de uma máquina autônoma para o plantio, denominada GC-Planter, que seria acoplada aos três pontos de um trator e este se locomoveria seguindo o sinal de GPS, com correção por *Real Time Kinematic*, porém sem relatar rendimentos, ou a qualidade do plantio.

Em uma revisão elaborada comparativamente entre África do Sul, Brasil, Canadá, Finlândia e Suécia, pesquisadores destacaram que o plantio de florestas, atualmente, realiza-se em sua maioria de forma manual, sendo que o semimecanizado apenas existe em países do hemisfério Sul, em que equipamentos são tracionados por tratores de pneus. Ainda destacam que o plantio mecanizado é limitado, em que os

equipamentos são acoplados em escavadoras hidráulicas (RAMANTSWANA, et al, 2020).

2.3 A mecanização da operação de plantio florestal no Brasil

A operação de plantio pode ser definida como o processo de inserção das mudas para as covas abertas no solo, sendo que existem três diferentes formas de realização da atividade: o manual, o semimecanizado e o mecanizado. Alguns fatores condicionam a determinação do método utilizado na operação de plantio, como a topografia, a extensão da área e o custo para sua realização.

A operação manual estabeleceu-se como a principal metodologia de plantio florestal no Brasil por apresentar o menor custo dentre os métodos disponíveis (SIMÕES, 1989). Em área montanhosas, a declividade do terreno acaba tornando a operação mecanizada ainda mais onerosa, cabendo aos trabalhadores realizarem o plantio de forma manual (BURLA, 2001, apud DE SOUZA, 2014).

Antigamente, a ferramenta mais utilizada para a realização do plantio manual consistia em uma haste de ferro com uma ponta, denominada “chuchu”, permitindo sua introdução no solo e a abertura de buracos, os quais serviriam para o plantio da muda posteriormente. Atualmente, existe outra ferramenta para a abertura da cova e deposição das mudas, denominada plantadora de acionamento manual, ou matraca (BURLA, 2001).

Ao utilizar uma matraca para a realização do plantio, o trabalhador deve se atentar ao nível do solo em relação ao coleto da muda, certificando-se de ter realizado uma leve compactação com os pés na região próxima à ela, a fim de se evitar a formação de bolsão de ar ao redor do substrato desta. (IPEF, 2008; KOTOVICZ FILHO, 2016).

O sistema semimecanizado mais utilizado para o plantio consiste em uma carreta de água tracionada por um trator agrícola, onde acoplam-se mangueiras que direcionam a água até as plantadoras de acionamento manual. Normalmente, cinco ou mais trabalhadores realizam o plantio das mudas e, consecutivamente, a irrigação (SEREGHETTI, 2016).

Existem ainda plantadoras de arrasto, ou contínuas, acoplada na barra de tração e no sistema hidráulico auxiliar de um trator agrícola. Elas são constituídas por uma cabine, onde um trabalhador pode ir sentado, colocando muda a muda para o plantio na parte superior de um disco vertical que, com o deslocamento do trator, se

movimenta e direciona a muda até o sulco do preparo de solo. Além do disco para o plantio, duas rodas laterais realizam a compactação da muda no solo. Neste tipo de máquina, também pode ser agregada a operação de irrigação, equipando-a com mangueiras, reservatório para a água, registros, entre outros (SILVEIRA, 1989; FESSEL, 2003). Atualmente, estes modelos são utilizados principalmente em áreas de implantação florestal pois, por serem tracionadas por tratores agrícolas, sua utilização em condições de terrenos declivosos não é recomendada (SOUZA, 2014; CONCEIÇÃO, 2014).

Recentemente, avaliou-se um equipamento multifuncional de plantio mecanizado, o Bracke Planter P11.a, que realiza o plantio conjuntamente com a adubação de base em covetas laterais, e a irrigação, com uma capacidade de armazenamento de 72 mudas por ciclo. Este equipamento esteve acoplado em uma escavadora hidráulica de 20 t, modelo John Deere 200 D LC (SEREGHETTI; SOLER, 2016).

Com isso, KOTOVICZ FILHO (2016) realizou um levantamento do nível de mecanização das operações silviculturais em 30 empresas do setor florestal brasileiro. O autor destacou a operação de plantio que obteve o menor índice de mecanização dentre as operações compreendidas nas atividades silviculturais, adotando-se a plantadora de acionamento manual como a ferramenta mais utilizada, onde 82% das empresas a utilizam.

A mecanização da silvicultura trará benefícios ao setor florestal, visando um controle mais efetivo de custos, além do aumento da produtividade e ganho em competitividade, através da redução de mão-de-obra, dos custos nas operações, melhoria na qualidade dos serviços e a facilitação do trabalho em turnos. Assim, intensificar a mecanização nas operações florestais permite identificar a possibilidade de ganho nas operações (HAKAMADA et al., 2013).

2.4 Custos de operações com máquinas florestais

Desde a introdução das máquinas florestais nas operações de colheita florestal, existiu a necessidade de desenvolver uma metodologia que pudesse detalhar os custos referentes às atividades, sejam elas para estabelecer o custo de uma máquina, ou pelo trabalho realizado por ela. A primeira situação ocorre para avaliar se a substituição de uma máquina, ou equipamento, será lucrativa, enquanto que a

segunda consiste em negociações entre empresas prestadoras de serviço e empresas contratantes que estabelecerão um valor pelo serviço (ACKERMAN, et al, 2014).

Os custos operacionais de máquinas e equipamentos são constituídos pela somatória dos custos com a operação, sendo influenciados pela eficiência operacional e o turno de trabalho (HARRY, et al, 1991). Normalmente, os custos são divididos em dois componentes fundamentais: fixos e variáveis (BALASTREIRE, 1990). Os custos fixos não variam conforme o uso da máquina ou equipamento, enquanto que os custos variáveis variam de acordo com as horas de utilização (MYIATA, 1980).

As inúmeras metodologias existentes para cálculos de custos das operações florestais dificultam a comparação entre as máquinas e equipamentos utilizados em diferentes regiões. Uma das metodologias mais utilizadas para o setor do agronegócio consiste nos cálculos estabelecidos pela *American Society of Agricultural and Biological Engineers* – ASABE, que permite as análises de performance dos equipamentos e máquinas, como também os custos de seus usos, apresentados nas normas ASAE EP496.2 DEC99 – Agricultural Machinery Management (ASAE, 2000).

A ASABE permite analisar o custo de uma operação com máquinas e equipamentos através de custos fixos e variáveis, de acordo com os dados obtidos pelos fabricantes e da inserção dos dados coletados em campo, como consumo de combustível, horas do turno de trabalho e entre outros.

Nos custos variáveis, a metodologia utiliza fatores de reparos de acordo com o tipo de maquinário em questão, sendo necessário para estimar os custos de manutenção e reparos. Este é um dos motivos para que esta metodologia não seja amplamente utilizada para análises econômicas na área florestal, como para a área de máquina e implementos agrícolas, que possuem diversos fatores estabelecidos por estas normas.

Em 2014, uma outra metodologia foi proposta por um grupo de pesquisadores do programa de Cooperação Europeia em Ciência e Tecnologia, que visavam facilitar a comparação entre estudos de análises de custos de operações florestais realizados dentro e fora da União Europeia. Para isso, o COST Action FP0902 utiliza-se de uma planilha baseada em tabelas do software Microsoft Excel, em duas sessões: entrada, correspondentes aos custos de aquisição e dados relativos à máquina são adicionados; e saída dos dados, referentes aos resultados dos cálculos. Os resultados saem em custo por unidade produtiva, por hora produtiva da máquina, por mês ou até por ano (ACKERMAN, et al, 2014).

O sistema COST surgiu para a comparação de custos relacionados à colheita e transporte na área de produção de biomassa florestal. Entretanto, seu modelo permite a adaptação para os outros setores florestais como, por exemplo, à atividade de plantio como realizado pelos autores GUERRA, et al (2019), que avaliaram uma plantadora Bracke Forest P11.a acoplada em uma escavadora, realizando o plantio mecanizado de eucalipto no Brasil.

Em contrapartida à ASABE, a metodologia COST permite o cálculo do custo com manutenção e reparos através da adoção de um percentual do valor de aquisição da máquina, ou equipamento, dividido pela sua vida útil, dispensando o uso de fatores de reparos padronizados pela metodologia. Porém, ambos permitem a inserção do real valor obtido ao longo da vida útil da máquina.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e preparo da área experimental

Realizou-se a coleta de dados no município de Anhembi – SP, em área pertencente à empresa Suzano S.A., mais precisamente entre as coordenadas $22^{\circ} 52' 15''$ S e $48^{\circ} 10' 31''$ O (Figura 10) e, altitude de 595 m. O clima na região de Anhembi – SP é classificado, de acordo com Köppen (1918), como Cwa com clima subtropical úmido, com estações de inverno seco e de verão quente (ALVARES, et al, 2014).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), o solo da área experimental corresponde ao Argissolo vermelho-amarelo de textura média e com relevo plano ao suave ondulado. O local do experimento compreende uma área de 22,2 hectares, sendo realizado durante o mês de outubro de 2018.

Figura 10. Demarcação da área experimental pertencente à Suzano SA



Fonte: Google Earth (2019)

O preparo de solo na área a ser realizado o plantio foi realizado com a distância de 3,5 m entre as linhas de plantio, uma vez que não é possível alterar a distância entre os cabeçotes plantadores.

Esta área teve o ciclo anterior colhido pelo sistema de colheita de toras curtas, ou “cut-to-length”, onde o processamento das toras ocorreu no mesmo local de derrubada da árvore. Sendo assim, as áreas apresentaram homogeneidade na concentração de

resíduos, em que estes estavam distribuídos ao longo do talhão e não concentrados apenas nas bordaduras, como no sistema de árvores inteiras, ou “full tree”.

A operação de preparo de solo (Figura 11) consistiu na utilização de um trator de esteiras, modelo D85EX 15E0 com potência líquida (ISO 9249 / SAE J1349) de 197 kW e peso operacional de 28.100 kg, e o uso do implemento, modelo Ecotill 400 A, que contém dois discos laterais e um disco localizado no meio do implemento, com 100 cm de comprimento cada, a fim de realizarem o corte verticalmente em tocos e raízes, minimizando os impactos na haste subsoladora e permitindo sua movimentação com até 60 cm de profundidade.

O conjunto que realizou a subsolagem também continha uma lâmina em formato de “v”, na parte frontal no trator de esteiras, realizando o rebaixamento de tocos paralelamente ao nível do solo. Após a operação de preparo de solo, a disposição dos resíduos ficou condicionada nas entrelinhas de plantio, devido ao direcionamento para fora da linha de subsolagem, pelo uso da lâmina em “v”.

Figura 11. D85 com subsolador Ecotill 400 A



Foto: Rafael Ribeiro Soler - 2019

3.2 Plantadora tripla automatizada

A plantadora tripla automatizada (Figura 12) é composta por 3 cabeçotes plantadores acoplados em uma barra horizontal à frente de um trator de esteiras, cujas especificações estão apresentadas no Quadro 2, e uma carreta-tanque de água.

Na parte traseira do trator de esteiras, acoplou-se uma “carreta-tanque” de água destinada à irrigação das mudas plantadas, estipulando a quantia de 3 litros por muda por cabeçote, apesar de ser ajustável a quantidade de água na irrigação. Nas laterais da carreta, foram instalados suportes para carregar os refis de mudas, constituídos de

caixas plásticas com 49 células quadráticas, onde foram armazenadas as mudas para o reabastecimento dos cabeçotes.

Figura 12. Visão geral do conjunto de plantio automatizado



Foto: Rafael Ribeiro Soler - 2018

Quadro 1 - Especificações do conjunto de plantio automatizado com três cabeçotes

Trator de esteiras	
Fabricante	Komatsu
Modelo	D61EX 15E0
Motor (marca/modelo)	Komatsu SAA6D107E-1
Potência (ISO 9249 / SAE J1349)	Líquida - 125 kW (168 HP)
Esteiras (largura x comprimento)	600 mm x 3165 mm
Reservatório de combustível	372 l
Peso operacional	19.770 kg
Cabeçotes plantadores / unidade	
Fabricante	Bracke Forest AB
Modelo	B10
Capacidade por cabeçote	196 mudas
Peso operacional	900 kg
Carreta-tanque para irrigação	
Capacidade de armazenamento de água	5.000 l
Suporte para armazenagem das caixas de mudas	36 caixas (1.764 mudas)

Os cabeçotes plantadores (Figura 13) possuem a capacidade de armazenarem 196 mudas cada, sendo que estão divididas em quatro caixas de 49 mudas cada, totalizando uma capacidade de 588 mudas. Dois cabeçotes possuem as caixas com células quadráticas de diâmetro de 54 mm e o outro possui células circulares de diâmetro de 48 mm.

Figura 13. Vista superior dos três cabeçotes plantadores



O modelo de cabeçote de plantio utilizado possui o sistema de plantio, em que um tubo desce até o solo para depositar a muda na cova, um sistema de compactação para fixar a muda no solo através de um bloco de metal que se movimenta em 45° ao eixo da planta no solo, e o sistema de irrigação que possui uma válvula de retenção de 1 BAR, que aciona a partir do aumento da pressão, exercida pela bomba hidráulica localizada na carreta-tanque, e abre para a água fluir por dentro do chassi do cabeçote e cair sobre a muda, encerrando a irrigação quando a pressão atinge valor inferior a 1 BAR.

O ciclo da realização do plantio ocorre de forma sequencial (Figura 14), sendo que a configuração realizada pelo software do equipamento foi ajustada aos três cabeçotes, não sendo possível individualizar por cabeçote as configurações ajustadas para a realização do plantio, ou seja, a profundidade de plantio foi a mesma nos três cabeçotes, bem como a quantidade de água a ser aplicada, e a distância que o compactador se movimentava.

Figura 14. Sequência do plantio com uso de do cabeçote plantador

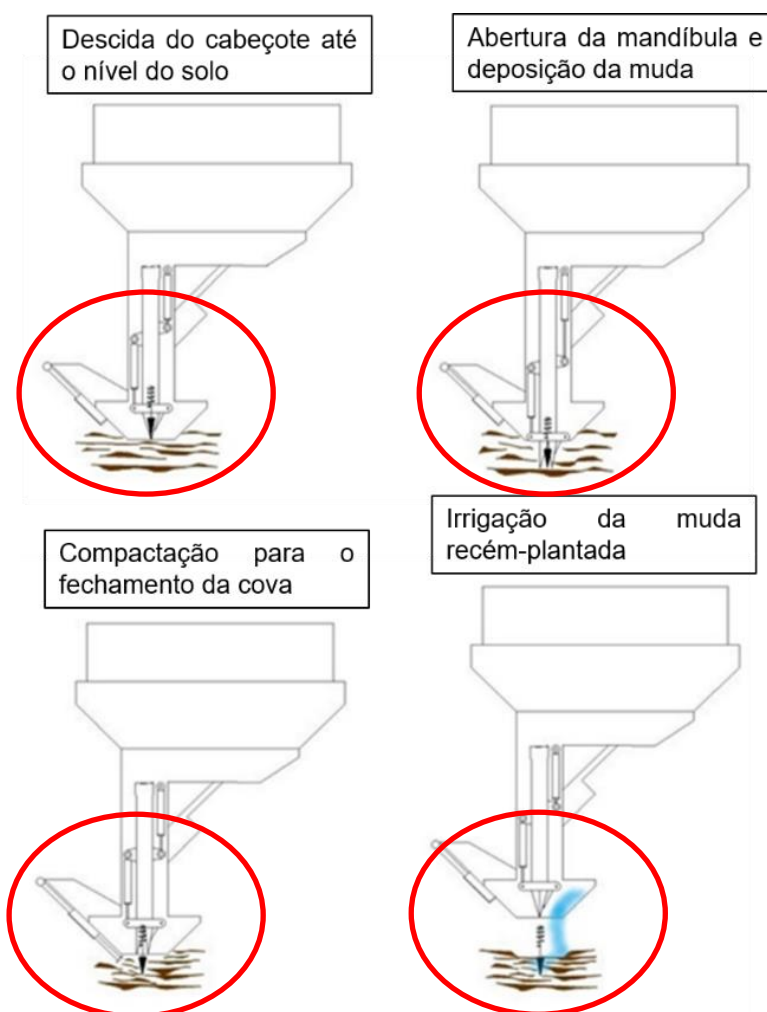


Foto: Rafael Ribeiro Soler - 2019

O piloto automático presente na plantadora tripla automatizada consiste em um sistema de controle hidráulico, que controla a movimentação do trator de esteiras e dos cabeçotes. O modelo adotado foi o Hexagon T17, utilizando um sistema de correção do posicionamento diferencial via satélite, com precisão de até 5 cm, comumente conhecido como *REAL TIME EXTENDED* (RTX).

É necessário o georreferenciamento das linhas de subsolagem para gerar um mapa da área trabalhada, estabelecendo as linhas por onde a plantadora realiza o caminhamento e, a partir da borda do talhão, os cabeçotes possam realizar o plantio de acordo com o espaçamento configurado no sistema do *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM* (GNSS).

Com as linhas georreferenciadas pelo preparo de solo, os cabeçotes se guiam por elas, sendo que o cabeçote central não se move lateralmente para corrigir a sua posição em relação ao centro da linha de subsolagem, mas guia o caminhamento da

máquina a fim de corrigir o plantio de acordo com as variações na linha de plantio georreferenciada. Enquanto que os dois laterais possuem uma amplitude de correção de até 30 cm, sendo 15 cm para lado, sendo movidos hidráulicamente através de cilindros que realizam sua extensão ou contração (Figura 15).

Figura 15. Amplitude de movimentação lateral dos cabeçotes

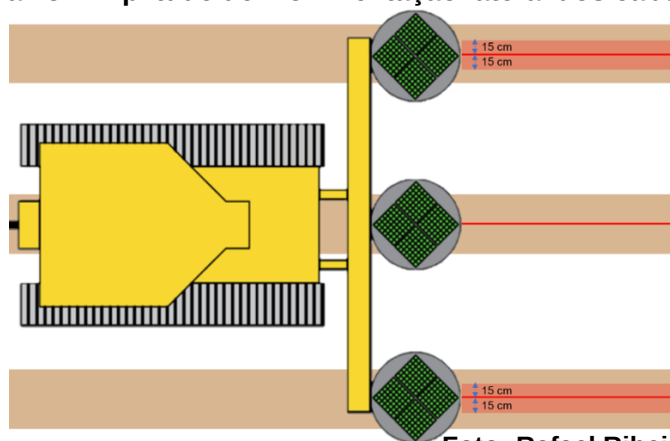


Foto: Rafael Ribeiro Soler - 2020

Desta forma, o operador é responsável apenas por movimentar verticalmente o suporte onde os cabeçotes estavam acoplados ao trator de esteira, a fim de evitar danos causados por batidas das mangueiras e conectores, em tocos e resíduos da colheita do ciclo anterior que foram deixados na área. Além desta movimentação, o operador assumia o controle da máquina ao fim das linhas de plantio para realizar a manobra para uma nova sequência.

A atividade de plantio com uso da plantadora tripla automatizada contou com um operador, cujo possuía experiência com trabalho em tratores de esteiras na área de preparo de solo, e dois trabalhadores auxiliares para a correção das mudas plantadas com problemas na qualidade, a fim de minimizarem as falhas do plantio e realizarem o reabastecimento das mudas ao fim do ciclo de plantio das 588 mudas.

O operador recebeu treinamento de uma semana sobre os sistemas embarcados na máquina, como o sistema de piloto automático e o dos cabeçotes plantadores, enquanto que os auxiliares foram orientados sobre o reabastecimento de mudas nos cabeçotes plantadores.

Ao fim do ciclo de plantio com as 588 mudas, a plantadora para automaticamente para a realização do reabastecimento do novo ciclo. Desta forma, os dois auxiliares transportam as caixas de refil que estavam na lateral da carreta tanque de água para próximo dos cabeçotes, o operador se locomovia até os cabeçotes e auxiliava no

reabastecimento das mudas. Ao fim do preenchimento das 12 caixas, os auxiliares as colocam novamente na lateral na carreta tanque de água.

3.3 Mudanças utilizadas para o plantio automatizado

No setor florestal, normalmente cada empresa desenvolve seu material genético que atenda às especificidades exigidas pelo setor industrial e que sejam adaptados às condições edafoclimáticas de cada região. No caso em estudo, utilizou-se de mudas híbridas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. As mudas pertenciam ao viveiro florestal próprio, recebendo as formulações de adubações e substratos de acordo com o sistema padronizado da empresa.

Um fator importante a ser destacado quanto às mudas utilizadas para o ensaio foi que se evitou o uso de mudas com o substrato desagregado e tortuosidade no caule, pois estas poderiam enroscar ou bloquear o direcionamento das mudas seguintes. Sendo assim, realizou-se uma seleção das mudas no viveiro, a fim de evitar que mudas fora do padrão de qualidade especificado fossem enviadas ao campo.

O padrão definido foram mudas entre 35 cm e 45 cm de altura desde a ponteira da muda até a parte inferior do substrato e sem tortuosidades em seu caule.

3.4 Delineamento experimental

Os tratamentos adotados foram os dois diferentes espaçamentos entre as mudas, 2,3 m e 1,8 m. Para a alteração entre os espaçamentos, o operador da máquina apenas altera a configuração no computador de bordo do sistema de georreferenciamento, sendo a alteração instantânea, sem necessidade de parar a máquina.

A partir disso, adotou-se o DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC) que, segundo Padovani (2014), consiste em alocar aleatoriamente os tratamentos dentro das unidades experimentais, sendo necessário que elas sejam similares. Sendo assim, foram instaladas 20 parcelas para análise dos rendimentos operacionais sem e com reabastecimento dos carrosséis de mudas obtidos em cada tratamento.

Realizou-se a coleta dos dados qualitativos do plantio, considerando-se a abertura de 30 parcelas ao longo do ensaio, em que cada uma continha 20 mudas por linha de

plantio, ou seja, 60 mudas por parcela (Figura 16). Devido ao sistema de plantio ser o mesmo para ambos os espaçamentos, os dados foram coletados de forma aleatória, sem considerar o espaçamento entre plantas onde a parcela se encontrava.

A fim de avaliar-se a efetividade do sistema de georreferenciamento, aferiu-se os espaçamentos entre as plantas considerando o desvio entre o espaçamento planejado, se era 2,3 m ou 1,8 m, e o realizado no plantio. Desta forma, cada tratamento consistiu em 15 parcelas, contendo 59 espaçamentos coletados em cada.

Figura 16. Delineamento experimental do plantio com a máquina em dois diferentes espaçamentos entre mudas, com as parcelas (em vermelho) para a análise qualitativa

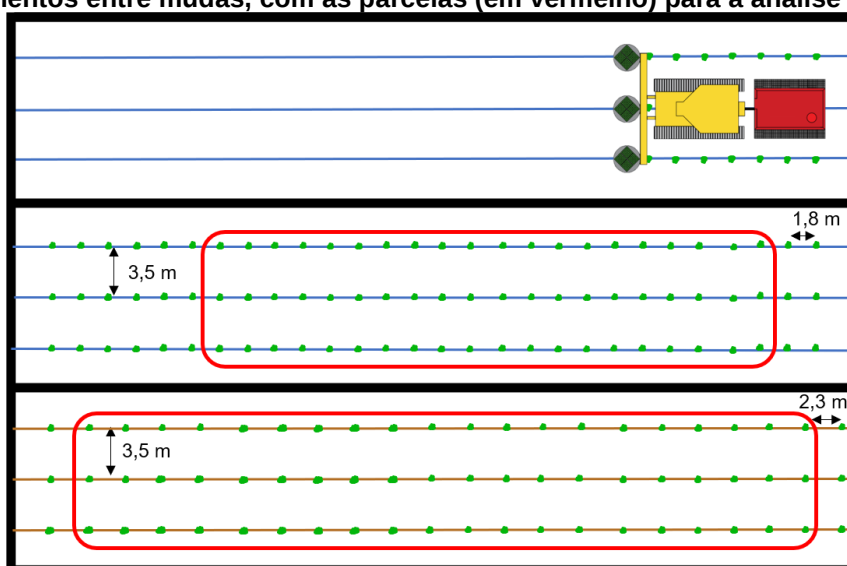


Foto: Rafael Ribeiro Soler - 2019

3.5 Desempenho operacional da plantadora tripla automatizada

Foi conduzido um estudo de movimentos e tempos de acordo com a metodologia de leitura repetitiva (BARNES, 1977), em que o cronômetro é zerado para a aferição do tempo necessário à realização de cada elemento que compõe o ciclo de operação. Este estudo permitiu contabilizar o tempo gasto em cada movimento, que consiste em deslocamento da máquina entre os plantios, o plantio e a movimentação das caixas. O deslocamento da máquina corresponde a movimentação entre os plantios que a plantadora deve percorrer ao longo do ciclo de 588 mudas, enquanto que a movimentação das caixas corresponde ao giro que as 4 caixas existentes no carrossel fazem ao término das 49 mudas recém-plantadas.

A fim de se calcular os parâmetros de eficiência operacional e disponibilidade mecânica (PACHECO, 2000; BALESTREIRE, 2004), os tempos dispendidos durante

a operação foram classificados em 4 grupos: auxiliar, improdutivo, manutenção e produtivo. As atividades relacionadas às manobras da máquina, reabastecimento de combustível e insumos, deslocamentos da máquina fora do ciclo operacional e paradas para necessidades pessoais do operador, compreendem o tempo auxiliar. O tempo improdutivo corresponde aos erros operacionais ou logísticos, condições climáticas adversas que inviabilizaram a operação ou a atrasaram. O tempo de manutenção consiste em toda parada para lubrificação, aferição ou regulagem da máquina, limpeza da máquina ou dos cabeçotes E, por último o tempo produtivo, é o tempo durante a operação, sem considerar qualquer parada.

O estudo da eficiência operacional (Equação 1), ou também conhecida como eficiência de campo, possibilita determinar os pontos a serem melhorados, a fim de maximizar a utilização dos equipamentos, ou máquinas, evitando perdas com dispêndios de tempos inerentes à operação (PACHECO, 2000; BALESTREIRE, 2004).

$$EO = \frac{\frac{At}{Prod + Aux}}{\frac{At}{Prod}} \times 100 \quad (1)$$

Em que *EO* corresponde à Eficiência Operacional (%), *At* à Área trabalhada (ha), *Tprod* ao Tempo produtivo (horas), e *Taux* ao Tempo auxiliar.

A disponibilidade mecânica (Equação 2) indica, em porcentagem, quanto tempo a máquina esteve apta à realização da operação, ou seja, retirando-se os dispêndios de tempo referentes à manutenção e reparos da máquina e equipamentos (PACHECO, 2000; BALESTREIRE, 2004).

$$DM = \frac{Tot - Man}{Tot} \times 100 \quad (2)$$

Em que *DM* corresponde à Disponibilidade Mecânica (%); *Man* ao tempo de Manutenção (horas), e *Tot* à somatória dos tempos auxiliar, improdutivo, manutenção e produtivo (horas).

O rendimento da operação foi separado em sem e com reabastecimento das mudas no carrossel, sendo os cálculos adaptados das equações apresentadas por Soler (2016). O rendimento operacional sem reabastecimento (Equação 3) considerou o tempo dispendido apenas para a realização do ciclo de plantio, ou seja, plantio, irrigação e deslocamento da máquina, desconsiderando as pausas de tempos auxiliares, como manobras, reabastecimento de mudas nos cabeçotes e erros do

sistema de piloto automático da plantadora. Enquanto que para com reabastecimento (Equação 4), estes tempos auxiliares foram incluídos ao cálculo.

$$RO_{sem} = \frac{n^o \text{ mudas total}}{T_p} \quad (3)$$

Em que o RO_{sem} corresponde ao Rendimento operacional sem reabastecimento (mudas hora⁻¹), o $n^o \text{ mudas total}$ corresponde as 588 mudas; e o T_p ao tempo de plantio do ciclo completo (horas).

$$RO_{com} = \frac{n^o \text{ mudas total}}{T_p + T_r} \quad (4)$$

Em que o RO_{com} corresponde ao Rendimento operacional com reabastecimento de mudas, manobras e erros do sistema da plantadora (mudas hora⁻¹), o $n^o \text{ mudas total}$ corresponde as 588 mudas, o T_p ao tempo de plantio do ciclo completo (horas), e o T_r ao tempo de reabastecimento de mudas nos cabeçotes, manobra e erros do sistema da plantadora (horas).

Os dados de rendimentos efetivos e operacionais foram submetidos à análise de variância e, atendendo as pressuposições de testes de normalidade e homogeneidade de variância, aplicou-se o teste de HSD de Tukey para comparações múltiplas entre as médias. Todas as análises foram feitas no ambiente R Core Team (2019).

3.6 Análise qualitativa do plantio

A análise qualitativa foi realizada imediatamente após o plantio, aguardando apenas o distanciamento de segurança para demarcar as áreas a serem aferidas, evitando que os trabalhadores auxiliares que acompanhavam o plantio pudessem interferir na avaliação.

No Quadro 3 são apresentados os parâmetros considerados para a análise qualitativa, sendo que a somatória de mudas fixas, mudas não fixas e falhas corresponde ao total de mudas avaliadas. Os resultados foram apresentados graficamente de acordo com a porcentagem obtida. Quanto aos demais, elaborou-se um diagrama de Pareto, seguindo a ordem decrescente para os valores obtidos, possibilitando a definição dos defeitos mais encontrados durante o plantio.

Com isso, ressalta-se que uma muda pode ser classificada com dois ou mais parâmetros, por exemplo: fixa e com colo encoberto; não fixa e substrato exposto; entre outros.

Quadro 2 - Parâmetros utilizados à classificação do plantio mecanizado. Adaptado de Soler (2016)

Parâmetro	Descrição
Fixa	Muda firme na cova quando puxada levemente ¹
Não Fixa	Muda solta na cova quando puxada levemente ¹
Falha	Cova sem muda ou próxima a ela
Colo encoberto	Colo com mais do que 2 cm encoberto pelo solo
Danificada	Danos ao substrato e/ou à muda
Plantio duplo	Duas mudas em uma mesma cova
Plantio inclinado	Muda plantada com inclinação superior à 45°
Substrato completamente exposto	Muda fora da cova e sobre o solo
Substrato exposto	Muda com o substrato não encoberto pelo solo

¹ Para verificar se a muda estava fixa, realizou-se um puxão verticalmente com dois dedos no colo da muda.

Além destes parâmetros, com o uso de uma fita métrica, avaliou-se os espaçamentos entre as mudas, considerando sempre duas mudas de uma mesma linha de plantio. Após a análise dos dados, adotou-se gráficos de caixas, ou *boxplot*, para representar os valores encontrados, sendo possível visualizar os valores máximos e mínimos obtidos, bem como a mediana e a média do conjunto de dados para cada espaçamento.

3.7 Análise econômica da operação com a plantadora tripla

Neste estudo, apesar da plantadora tripla possuir três fabricantes distintos para o trator de esteiras, cabeçotes plantadores e sistema de georreferenciamento, a máquina será comercializada apenas por um destes, compondo um só valor para o todo, não sendo possível discriminar os valores para cada ítem em separado. A carreta-tanque de água foi produzida por uma empresa local, sendo os valores e dados obtidos diretamente com a mesma.

Os custos operacionais foram estipulados através do modelo COST, desenvolvido pelo programa Europeu “*COST Action FP0902*” (ACKERMAN, *et al*, 2014). No caso deste trabalho, optou-se pela determinação do custo por hectare plantada

(€ hectare⁻¹) e de hora máquina (€ hora máquina⁻¹). Os dados de entrada utilizados para composição da planilha COST estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 3 - Premissas consideradas como dados de entrada para cálculo da planilha COST (ACKERMAN, et al, 2014)

	Plantadora tripla	Carreta de água
Custos Fixos - Máquina		
Aquisição (€)	558.050	10.050
Valor residual (%)	10	10
Vida útil (horas)	10.000	7.500
Taxa de juros (%)	4,5	4,5
Custos Variáveis - Máquina		
Preço do combustível (€ litro ⁻¹)	0,79	-
Consumo de combustível (litro hora ⁻¹)	14,5	-
Óleo e lubrificantes (%)	15	-
Manutenção e reparos (%)	80	50
Custos Operador e Auxiliares		
Salários (€ hora ⁻¹) ¹	5,76	
Encargos Sociais (% salário ⁻¹) ²	105	

¹ Os valores de salários foram calculados uma única vez, considerando o operador e os dois auxiliares.

² Os encargos sociais também foram calculados para um só valor, considerando os trabalhadores.

Os valores e taxas referentes à plantadora foram obtidos através de contato com o fabricante, enquanto que os valores referentes aos encargos trabalhistas de um operador e dos dois auxiliares foram obtidos a partir do contato com a empresa florestal, onde realizou-se o ensaio.

Os encargos sociais adotados para este estudo foram de 96,75 % sobre os valores dos salários, sendo que neste valor constam os impostos, seguros, equipamentos de proteção individual, treinamentos, custos com telefonia e transporte destes. Quanto ao período de trabalho considerado, foram adotados 220 dias úteis ao ano, com 8 horas por turno e um turno ao dia, totalizando 1.760 horas anuais.

Calculou-se o consumo de combustível a partir dos reabastecimentos de Diesel realizados em campo, anotando-se o horímetro da máquina e quantos litros foram colocados e, posteriormente, dividia-se a quantidade de litros pelas horas trabalhadas entre as reabastecidas, obtendo-se o consumo de Diesel em litros hora⁻¹. Para obter o preço do combustível (Diesel), obteve-se os dados disponibilizados pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA) para o segundo semestre de 2019 e calculado a média para o período.

As estruturas de apoio e de abastecimento de suprimentos, como o “caminhão-pipa” de água, o transporte de mudas e entre outros não foram considerados para o

cálculo do custo da operação. Em compensação, as mudas foram os consumíveis incluídos nos cálculos, e seus valores foram estipulados em contato com a empresa florestal.

Adotou-se os valores do rendimento operacional com reabastecimento, para cada tratamento, e a eficiência operacional calculada durante o período de ensaio da plantadora tripla automatizada. Os preços foram convertidos de reais (R\$) para euro (€), de acordo com o valor médio da taxa de câmbio referente ao segundo semestre de 2019, disponível no site do Banco Central do Brasil (www.bcb.gov.br), correspondendo a R\$ 4,48.

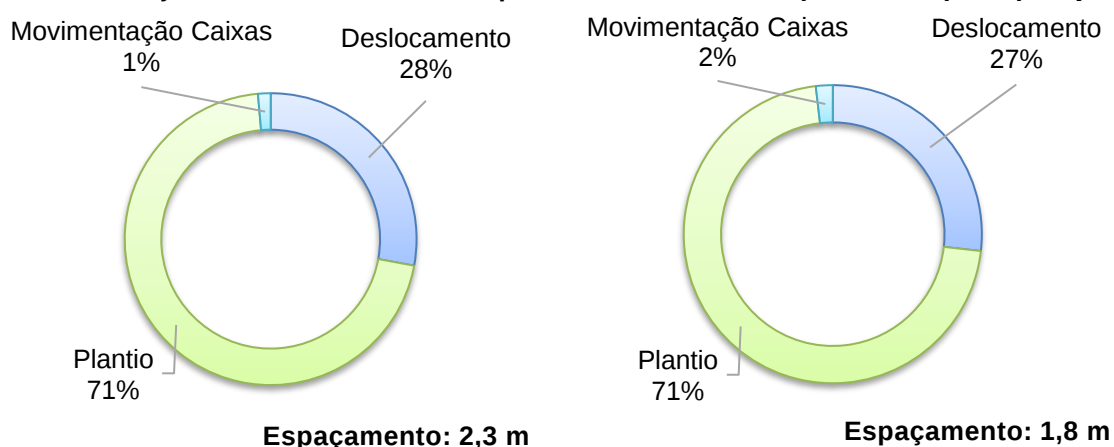
4 RESULTADOS

4.1 Análise do desempenho operacional da plantadora tripla automatizada

4.1.1 Análise da eficiência operacional

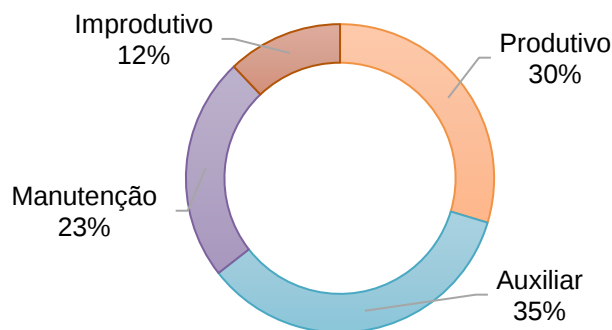
Os movimentos e tempos obtidos durante os ciclos de plantios para os dois espaçamentos entre plantas, 1,8 m e 2,3 m (Gráfico 1), sendo que o ciclo correspondeu a partir do momento que se inicia o reabastecimento de mudas nos três cabeçotes até o momento em que a máquina para pelo fim das 588 mudas, aguardando o próximo reabastecimento de mudas. A diferença analisada deveu-se ao maior tempo em deslocamento com o espaçamento de 2,3 m quando comparado ao 1,8 m, sendo que pela maior distância percorrida, aumentou-se o tempo em deslocamento, diminuindo o tempo para a movimentação das caixas.

Gráfico 1. Distribuição dos movimentos e tempos dentro de um ciclo (588 mudas) de operação



Os tempos coletados foram subdivididos em produtivo, improdutivo, auxiliar e manutenção, a fim de subsidiar os cálculos de eficiência operacional e disponibilidade mecânica. Estes dados foram obtidos ao longo de todo ensaio com a plantadora, não sendo coletados por tratamento (Gráfico 2).

Gráfico 2. Distribuição dos movimentos e tempos durante o período de ensaio da plantadora tripla automatizada



A eficiência operacional de 46,0 % justifica-se pelo valor elevado do tempo auxiliar, sendo muito tempo dispendido com reabastecimento de suprimentos, pois a infraestrutura da empresa não estava adaptada às condições necessárias de reabastecimento de água, e o grande deslocamento que a máquina necessitava realizar do local de plantio até o local que a mesma precisava ser deixada ao fim do turno. Quando a operação estiver incluída no cotidiano da empresa, estes pontos devem ser melhorados e melhor dimensionados, tornando a operação mais eficiente.

Um fator a ser considerado na curva de aprendizado do operador e dos auxiliares, sendo que estes tiveram apenas um mês de uso da máquina e, conforme se tornem mais familiarizados com a operação e reabastecimentos, o dispêndio do tempo com atividades auxiliares será menor do que o observado neste ensaio.

A disponibilidade mecânica obtida foi de 76,6 %, sendo que houveram paradas para desobstrução do funil, que direciona do carrossel para o tubo que realiza o plantio, onde as mudas ficavam bloqueadas. Outros motivos de paradas foram os consertos das mangueiras de água e do cabo de comunicação entre as plantadoras e o trator de esteira, localizados na parte frontal do suporte que os cabeçotes foram acoplados, estando expostos às batidas contra os resíduos deixados da colheita.

4.1.2 Análise do rendimento da operação

O cálculo de rendimento operacional considera os tempos auxiliares, sendo o reabastecimento de mudas frequentemente incluído, pois é imprescindível e necessário a todo ciclo de plantio. Sendo assim, o fato de realizar-se o reabastecimento das mudas de forma manual, o rendimento da operação depende do

ritmo de trabalho dos auxiliares. Desta forma, apresentam-se os resultados com base na análise estatística realizada a partir dos dados de rendimentos na Tabela 1.

Tabela 1. Comparações múltiplas entre os rendimentos operacionais sem e com reabastecimentos e entre os dois tratamentos adotados com a plantadora tripla automatizada

Espaçamentos	Reabastecimento		Valor p	CV (%)
	Sem	Com		
	(mudas hora ⁻¹)			
3,5 x 1,8 m	893 ± 42 Aa	799 ± 41 Ba	< 0,0001	4,89
3,5 x 2,3 m	703 ± 40 Ab	662 ± 40 Bb	< 0,0001	5,91
Valor p	< 0,0001	< 0,0001		
CV (%)	5,18	5,52		

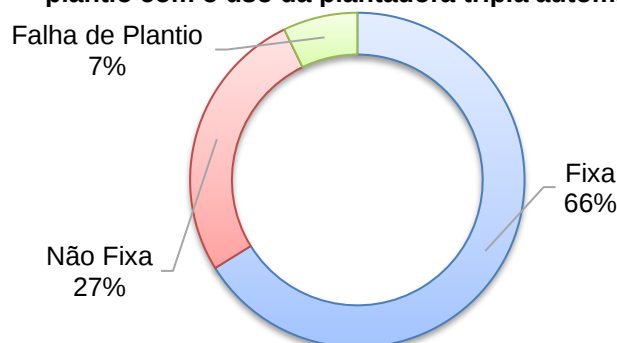
Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa entre o rendimento operacional sem e com reabastecimento para o mesmo tratamento, ou seja, na mesma linha da tabela, enquanto que letras minúsculas diferentes indicam diferença estatística entre os tratamentos considerando o mesmo rendimento, de acordo com o teste HSD de Tukey a 5% de significância.

A partir da análise estatística observou-se a diferença estatística entre os rendimentos operacionais sem e com reabastecimento para o mesmo tratamento e, isso, percebe-se a necessidade de se treinar os auxiliares para maximizarem o tempo com reabastecimentos, a fim de minimizar a diferença entre os rendimentos operacionais com e sem reabastecimento, independente do espaçamento adotado. Além disso, quanto menor o espaçamento, maior os rendimentos operacionais.

4.2 Análise qualitativa do plantio

A partir dos dados obtidos com a análise qualitativa do plantio, quantificou-se o total de mudas plantadas em fixas, não fixas e falhas (Gráfico 3).

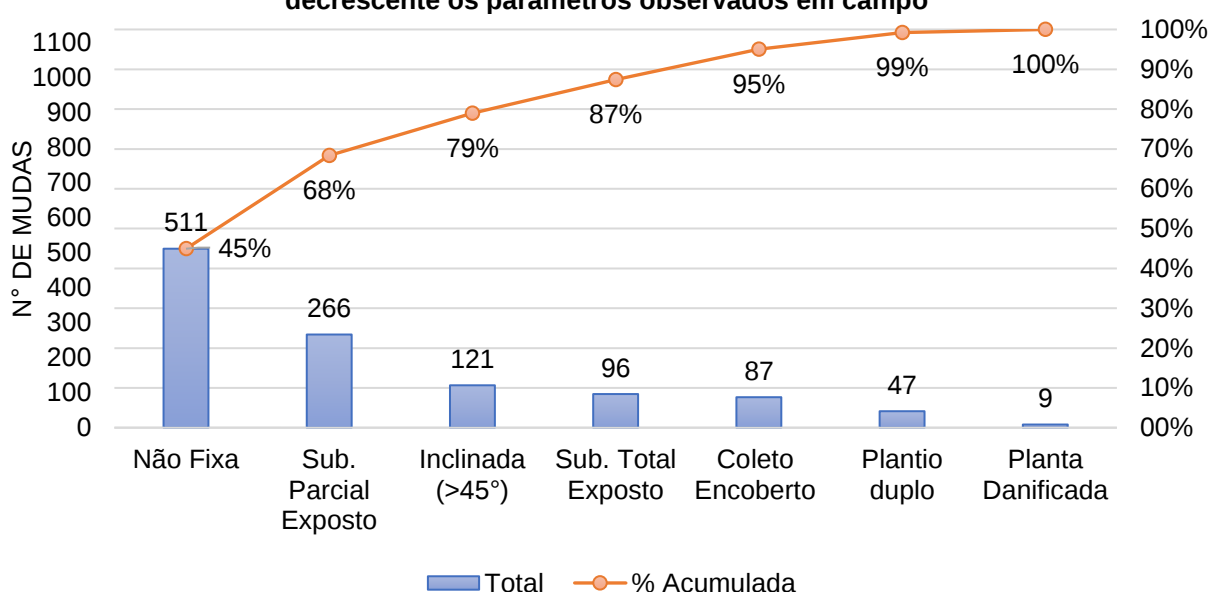
Gráfico 3. Quantificação das mudas analisadas a partir dos parâmetros de fixação e falhas de plantio com o uso da plantadora tripla automatizada



Com a observação em campo dos parâmetros qualitativos, elaborou-se o resultado em Diagrama de Pareto (Gráfico 4), onde os resultados foram classificados do maior para o menor percentual, de acordo com a ordem observada na análise em campo.

Esta ferramenta possibilita influir os pontos que mais interferiram na qualidade do plantio, permitindo a observação dos principais parâmetros a serem destacados como pontos a serem melhorados.

Gráfico 4. Análise qualitativa do plantio em ambos os espaçamentos apresentando em ordem decrescente os parâmetros observados em campo



Caso os parâmetros mudas não fixas, substrato parcialmente exposto e mudas inclinadas melhorassem, as não conformidades do plantio seriam reduzidas em aproximadamente 80 %.

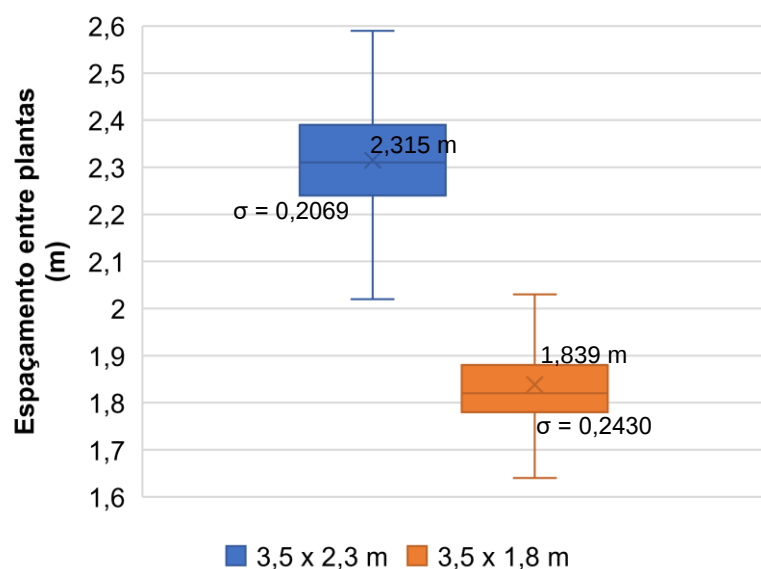
Devido aos cabeçotes estarem acoplados à uma barra frontal no trator de esteiras e quando este se encontra no momento do plantio em um ponto do terreno com uma diferença no nível, ou seja com uma diferença no micro-relevo, um dos cabeçotes pode realizar o plantio sobre o solo, não sendo possível de que o tubo de plantio penetre no solo para o correto plantio, garantindo a correta fixação da muda. Este fator interferiu nos substratos expostos, totalmente expostos e, por conseguinte, na não fixação das mudas.

Os substratos expostos podem ser aprimorados regulando a profundidade de plantio, bem como a fixação das mudas. Lembrando que a profundidade de plantio pode ser configurada, em mm, a partir do sistema de controle dos cabeçotes, porém

a configuração foi a mesma ao longo da coleta de dados, evitando alterações e adotando as que foram ajustadas no início do ensaio.

Os espaçamentos aferidos ao longo do ensaio foram apresentados em um gráfico de caixa, observando-se os valores mínimos e máximos coletados, bem como a mediana para cada tratamento (Gráfico 5). O valor médio do espaçamento 2,3 m se assemelhou ao da mediana, enquanto que para o 1,8 m, o valor médio se afastou 0,019 m da mediana do conjunto de dados. Os valores de desvio padrão também foram inscritos no gráfico, de acordo com o tratamento analisado.

Gráfico 5. Análise dos espaçamentos para cada tratamento indicando valores máximos e mínimos, além de suas medianas e médias



Os valores médios estão representados graficamente pelo símbolo “x” dentro da caixa de cada espaçamento, tendo seus valores descritos acima do símbolo

4.3 Análise econômica da operação com uso de plantio automatizado

Os valores obtidos para o custo de operação da plantadora tripla automatizada, realizando o plantio, irrigação e georreferenciamento das mudas plantadas são apresentados no Quadro 5.

Quadro 4 - Valores obtidos a partir da metodologia COST, de acordo com os espaçamentos adotados e porcentagem para cada item em consideração ao total

	€ hora ⁻¹		% do custo total
	3,5 x 1,8m	3,5 x 2,3 m	
Custo fixo			
Depreciação	68,17	68,17	26,38%
Juros	18,90	18,90	7,31%
THI ¹	1,51	1,51	0,36%
<i>Total - Custo fixo</i>	<i>88,58</i>	<i>88,58</i>	<i>34,05%</i>
Custo variável			
Combustível	11,46	11,46	4,56%
Óleos e lubrificantes	1,72	1,72	0,66%
Manutenção e reparos	60,20	60,20	23,29%
Consumíveis - mudas	53,50	44,33	20,70%
Esteiras extras	11,25	11,25	4,75%
<i>Total - Custo variável</i>	<i>138,13</i>	<i>128,96</i>	<i>53,96%</i>
Operador e custos auxiliares			
Salários	12,52	12,52	4,94%
Encargos sociais	18,21	18,21	7,05%
<i>Total - Operador e custos auxiliares</i>	<i>30,73</i>	<i>30,73</i>	<i>10,99%</i>
Custo total	257,43	248,27	100,00%
Custo por hectare (€ ha⁻¹)	511,32	465,79	-

¹ THI – Taxa, abrigo e seguro

Os percentuais de cada item estão descritos a fim de categorizar o impacto deste para o custo total da operação. Sendo assim, percebe-se que os valores para Depreciação, Juros e Manutenção e Reparos estão sobressaindo quanto aos demais, pois estes parâmetros possuem em suas fórmulas o dado de entrada referente ao valor de aquisição da máquina e o tempo de uso anual.

O cálculo dos custos de manutenção e reparos adotado pela metodologia COST, determina-se uma porcentagem de acordo com a exigência e esforços do equipamento durante a realização da atividade, sendo que máquinas com mais componentes hidráulicos e que estejam mais sujeitas a impactos contra eles, devem ter uma porcentagem maior do que equipamentos mais simples e com poucas funções de trabalho, além de considerar o tempo de vida útil da máquina.

Neste caso, implantar um sistema de manutenção para prolongar as horas de uso da máquina e também aumentar a sua disponibilidade mecânica, pode ser um fator importante na redução dos custos de manutenção e reparos. Diniz et al (2018) apontam que uma mudança na implantação de sistemas de manutenção mais rigorosos possibilita uma possível redução de seus custos, recomendando a adoção dos indicadores da *WORLD CLASS MAINTENANCE* (WCM) para a manutenção de máquinas florestais.

Os consumíveis, as mudas neste caso, também tiveram uma alta representatividade em relação ao total devido à grande quantidade deste insumo

necessário à operação. Com os espaçamentos de 3,5 x 1,8 m e 3,5 x 2,3 m, a densidade populacional de árvores por hectare correspondeu a 1.587 e 1.242 mudas, respectivamente. Desta forma, conforme aumenta-se a densidade populacional, o custo com estes consumíveis aumenta proporcionalmente.

O custo obtido por hectare foi maior para o espaçamento de 3,5 x 1,8 m em € 45,00, sendo que o rendimento operacional também foi superior para este tratamento. Desta forma, apesar da maior densidade populacional, o rendimento operacional foi responsável por diluir o custo e aproximar os custos por hectare entre os tratamentos. Sendo assim, o incremento no rendimento operacional para floresta com menor densidade populacional poderá reduzir o custo da operação.

Um dos fatores considerados que podem interferir diretamente na redução do custo é a eficiência operacional considerada, pois neste estudo o valor obtido foi de 46 %. Sendo assim, a inclusão da operação na rotina da empresa poderá diminuir o custo com a operação, pois a eficiência operacional é considerada para estipular as horas produtivas no ano, que é um dos parâmetros presentes nos cálculos para os custos fixos.

5 DISCUSSÃO

Os equipamentos totalmente mecanizados avaliados e citados em artigos científicos, até o presente momento, foram acoplados em escavadoras hidráulicas ou em máquinas base de *harverters*, diferenciando-se deste que se trata de um trator de esteiras e automatizado. Porém, todos são considerados equipamentos de plantio intermitente, pois o mecanismo de inserção da muda no solo realiza movimentos verticais, retirando-se do solo entre os plantios.

Destaca-se que a plantadora tripla automatizada foi avaliada ainda como um protótipo em desenvolvimento, sendo que para o produto final à comercialização, este estudo poderá auxiliar no levantamento de pontos a serem considerados como possíveis melhorias pelos fabricantes. Deste modo, a baixa eficiência operacional esteve relacionada ao período de aprendizado do operador com os sistemas embarcados, como o de georreferenciamento e o dos cabeçotes plantadores, bem como dos ajudantes em realizar os reabastecimento de mudas e água na carreta-tanque, o tempo de manutenção e reparos por desconhecimento das causas dos problemas surgidos durante o ensaio, entre outros fatores que ocorreram ao longo do ensaio.

Em equipamentos já comerciais e inclusos na rotina de operação, Rantala e Laine (2010) avaliaram plantadoras M-planter acopladas em escavadoras hidráulicas, ao longo das temporadas de 2008 e 2009 na Finlândia, observando valores superiores aos obtidos neste trabalho, sendo 67,6 % apenas para a operação de plantio, ou seja, produtivo, enquanto que o tempo de reabastecimentos das mudas foi de 12,5 %.

Uma plantadora do modelo P11.a avaliada em áreas declivosas no sul do Brasil, realizando o preparo o solo com uso de hastes subsoladoras acopladas ao cabeçote, plantio de *Pinus taeda* e irrigação das mudas plantadas, obteve-se 75,13 % de eficiência operacional (SOLER, 2016).

Os estudos realizados por Rantala e Laine (2010) e Soler (2016) consideraram o reabastecimento das mudas manualmente sem auxílio de dispositivos, como no caso da plantadora tripla automatizada com caixas de refis contendo 49 mudas em cada, totalizando 12 caixas por ciclo, reduzindo o tempo de reabastecimento das mudas ao fim de cada ciclo com as 588 mudas.

As mudas necessitavam ser reabastecidas ao fim de cada ciclo, decorrendo um tempo médio de 9,6 minutos. O suporte para transporte de mudas na plantadora permitia a alocação de 36 caixas, sendo suficientes para três ciclos.

Desta forma, ao início do turno e ao fim das 36 caixas, a plantadora tripla necessitava parar para que os trabalhadores auxiliares pudessem reabastecer as 36 caixas e mais os três cabeçotes, com o tempo de 37 minutos. Sendo assim, quando necessário realizar o abastecimento das 36 caixas e mais os cabeçotes, a quantidade de mudas é muito superior, total de 2.352 mudas, do que no caso dos estudos citados, sendo 242 mudas para a M-planter e 72 mudas para a P11.a.

Além do elevado dispêndio de tempo a cada 4 ciclos de plantio, a carreta tanque de água possuía 5.000 litros, sendo o suficiente para dois ciclos completos com 588 mudas cada. O tempo necessário para abastecer a carreta correspondeu a, aproximadamente, 9 minutos. Em contrapartida, na região onde os estudos supracitados foram realizados, a necessidade de irrigação não é tão intensa como na região onde se realizou o ensaio com a plantadora tripla.

Com a plantadora tripla automatizada, um mecânico, cedido pela empresa fabricante do trator de esteiras, esteve disponível ao longo do ensaio, a fim de minimizar o tempo de manutenção e reparos, além de evitar alterações no produto que não fossem comunicados ou acordados com as fabricantes envolvidas no conceito deste protótipo. Sendo assim, a disponibilidade mecânica observada de 76,6 % pode ser elevada conforme a equipe de apoio fique mais familiarizada com os cabeçotes e também com o sistema de georreferenciamento.

Soler (2016) em sua avaliação da P11.a constatou uma disponibilidade mecânica semelhante ao deste estudo, sendo 79,6 % para a operação em áreas declivosas e com presença de resíduos, enquanto que Rantala e Laine (2010) obtiveram 89 % ao longo de duas temporadas de plantio na Finlândia com o equipamento M-planter, sendo ambos equipamentos acoplados em escavadoras hidráulicas.

A disponibilidade mecânica obtida pelos autores Rantala e Laine (2010) pode ser justificada pela avaliação ter sido elaborada em máquinas que estejam em caráter operacional nas empresas florestais, o que significa que estão mais familiarizadas com as ocorrências mecânicas que possam surgir, possibilitando a rápida intervenção e solução do problema.

Considerando os rendimentos durante o ensaio, a plantadora tripla automatizada obteve 893 mudas hora⁻¹ para o espaçamento de 3,5 x 1,8 m, sem considerar paradas

para o reabastecimento ou manobra, sendo estatisticamente superior ao 3,5 x 2,3 m, com 703 mudas hora⁻¹.

O resultado que se obteve para o mesmo tratamento e entre os rendimentos operacionais, aponta a suscetibilidade da operação que, ao depender dos trabalhadores auxiliares para o reabastecimento das mudas, podem aumentar ou diminuir a quantidade de mudas plantadas por hora. Porém, a fim de se comparar com os estudos disponíveis na bibliografia, adotou-se os valores obtidos no rendimento operacional com o reabastecimento de mudas, sendo que os resultados se diferem estatisticamente.

Elaborou-se o Quadro 5 para facilitar a comparação entre os rendimentos obtidos neste estudo e com os demais a serem citados neste estudo.

Quadro 5 - Estudos de rendimento operacionais na atividade de plantio florestal com equipamentos mecanizados

Autores	Equipamento (modelo)	Número de cabeçotes	Rendimento Operacional (mudas hora⁻¹)	Atividades realizadas
Soler, 2020	Tripla Automatizada	3	662 a 799	Plantio, irrigação e georreferenciamento
Laine e Rantala (2013)	M-planter	2 (conjugados)	300	Preparo de solo e plantio
Ersson et al. (2013) ¹	M-planter	2 (conjugados)	400	Preparo de solo e plantio
Ersson et al. (2013) ¹	M-planter	4 (2 pares por grua)	250 a 500	Preparo de solo e plantio
Laine e Saarinen (2014)	Bracke Planter	1	244	Preparo de solo e plantio
Guerra et al (2019)	Bracke Planter (P11.a)	1	324	Plantio, adubação e irrigação

¹ Estudo realizado a partir de simulações, não correspondendo a dados coletados em campo

O equipamento M-planter possui dois cabeçotes conjugados e acoplados à uma escavadora hidráulica, permitindo uma maior produtividade sobre equipamentos com único cabeçote.

Lemos (2014) avaliou um trabalhador florestal realizando apenas a operação de plantio de eucalipto, em áreas anteriormente subsoladas, atingindo o rendimento de 357 mudas por hora trabalhada em um espaçamento de 3 x 1,5 m.

Uma avaliação comparativa para o plantio manual e o semimecanizado foi conduzido por Fessel (2003), sendo que a operação manual continha 13 pessoas com ferramentas denominadas matracas e o semimecanizado corresponde a um equipamento de plantio contínuo MTM - 1000 tracionado por um trator agrícola

MR290, em que um trabalhador dirigia o trator e o segundo trabalhador realiza a deposição muda-a-muda em um tubo de plantio. Os rendimentos foram bem distintos, com 1.240 mudas hora⁻¹ para o manual e 420 mudas hora⁻¹ para o semimecanizado.

Diversos artigos afirmam que um dos principais fatores limitantes para se aumentar os rendimentos com a operação, em máquinas de gruas e com equipamentos de plantio, seria os operadores (RANTALA e LAINE, 2009; LAINE e RANTALA, 2013; ERSSON, et al, 2018). Como também observado por RINGHDAL (2011), as máquinas estão possibilitando operações mais rápidas, enquanto que os movimentos controlados pelo operador limitam o rendimento da atividade.

Fato este que, com a plantadora automatizada, foi minimizado pela redução dos movimentos que a máquina dependeria da ação do operador, sendo ele responsável somente em controlar às movimentações verticais do suporte em que os cabeçotes foram acoplados. Porém, este suporte é movimentado sem que a máquina saía do seu ritmo operacional, restando apenas as manobras ao fim do talhão que interferem no rendimento da operação.

Harstela (2004) afirmou que além de uma alta produtividade, os equipamentos de plantio mecanizado devem realizar a operação com qualidade semelhante ao plantio manual. Desta forma, em diversos estudos estes comparativos foram atingidos, sendo que o plantio mecanizado se assemelhou à qualidade do plantio realizada manualmente (SAARINEN, 2007; HÄRKÖNEN, 2008; LUORANEN, et al, 2011; ERSSON e PETERSSON, 2013). Entretanto, para ERSSON (2014) e LUORANEN e VIIRI (2016), os plantios mecanizados apresentaram resultados superiores ao plantio manual.

Neste caso da plantadora tripla em que os cabeçotes estão fixados em uma barra horizontal, o desnível do terreno pode prejudicar a qualidade do plantio, como notado com os dados de qualidade para os parâmetros de: substrato parcialmente exposto, substrato totalmente exposto, gerando a não fixação destas mudas no solo. Outro fator que influenciou sobre a não fixação das mudas foi que mesmo com o rebaixamento de tocos, estes ainda estavam presentes na área e, quando existentes na linha de preparo de solo, pode coincidir com o ponto a ser plantado uma muda, ocasionado a não penetração do tubo de plantio no solo, gerando uma muda com substrato totalmente exposto.

Sereghetti (2016) comparando o plantio manual com o equipamento P11.a, realizando o plantio de eucaliptos e pinheiros, no Brasil, em áreas já subsoladas por

dois diferentes implementos, relatou valores médios para o parâmetro de fixação de mudas com 90 % para o plantio manual e 91 % para o mecanizado.

Porém, em um comparativo realizado entre os equipamentos Risutec APC e Bracke Planter, em escavadoras hidráulicas, os autores alegaram maiores taxas de problemas na qualidade de plantio. Os problemas encontrados corresponderam a 25 % e 15,4 %, para Risutec APC e Bracke Planter, distribuídos pelos parâmetros de mudas não fixas, substratos expostos, mudas danificadas e plantios fora da área mais superior do amontoado formado após a inversão da camada superficial do solo (LAINE e SAARINEN, 2014).

SOLER (2016) em seu estudo de uma plantadora P11.a, em que se realizava o preparo de solo com uso de hastes adaptadas na base do equipamento e plantando *Pinus taeda*, obteve-se valores entre 4 % a 29 % para a não fixação das mudas, dependendo da condição de relevo e presença de resíduos. Estes resultados corroboram com os apresentados por este estudo da plantadora tripla automatizada, apresentando cerca de 27 % de mudas não fixas e 7 % de falhas de plantio.

Fato importante a ser destacado é a preocupação dos pesquisadores para que a muda disponibilizada ao plantio seja de alta qualidade. Laine et al (2016) através de entrevistas aos operadores, questionou a qualidade das mudas utilizadas ao plantio e eles disseram que estavam satisfeitos, entretanto mudas muito grandes ou pequenas com substratos desagregados podem ser prejudiciais à qualidade do plantio.

Além de assegurar a qualidade do plantio, manter a densidade populacional através dos espaçamentos entre plantas também deve ser garantido no momento da realização do plantio, enquanto que o espaçamento entre as linhas confere à responsabilidade para a operação do preparo de solo. No caso de equipamentos de plantio que também realizam o preparo de solo, ambos espaçamentos ficam sob responsabilidade do operador.

Em uma plantadora P11.a foram adicionadas balizas no cabeçote para orientação do operador quanto a distância entre as mudas, sendo possível ajustar a distância de acordo com o recomendado. Sereghetti (2016) comparou o uso deste equipamento com o plantio manual, avaliando uma variação maior no plantio mecanizado do que no manual, sendo ela em torno de 5 %. Em outro estudo, este equipamento P11.a, realizou o preparo de solo e plantio, obtendo valores próximos a 10 % de variação para o recomendado (SOLER, 2016).

A plantadora tripla automatizada possui o sistema de geoposicionamento para controlar a movimentação e assertividade do plantio. A variação entre o recomendado e o valor médio aferido em campo foi inferior a 2 %, considerando ambos espaçamentos. Estes valores aferidos em campo reafirmam a precisão do sistema de geoposicionamento via RTX, presente na máquina.

No caso do protótipo GC – planter apresentado por Appavoo et al (2017), a máquina autônoma se locomoveria e realizaria o plantio nas localizações definidas com auxílio de um sistema de correção via rádio com uma base fixa próximo à área de operação (Real Time Kinematic – RTK), a precisão de um sistema RTK seria superior ao RTX, como demonstrado por MIN et al (2008) e Trevisan et al (2014).

O custo de aquisição para a plantadora tripla automatizada pode parecer muito expressivo quando comparado ao estudo de GUERRA et al (2019), em que um cabeçote P11.a foi acoplado em uma escavadora hidráulica de 20 T e realizou, no Brasil, o plantio em áreas previamente subsoladas. Os autores consideraram um valor próximo a € 180.000, correspondendo a um terço do custo de aquisição da plantadora tripla automatizada, que foi de € 570.000.

Também, neste estudo de Guerra et al (2019), os autores calcularam um custo de € 66,84 por hora efetiva de trabalho, considerando rendimentos médios de 355 e 324 mudas por hora em espaçamentos de 3 x 1 m e 3 x 1,5 m, respectivamente. Enquanto que o calculado neste estudo foi de € 257,43 hora⁻¹, porém adotou-se três cabeçotes e o uso do sistema de georreferenciamento que, devido ao custo de aquisição, oneraram a operação e resultaram nesta diferença de custos operacionais.

Em análises econômicas realizadas para os equipamentos de plantio mecanizados, em sua grande maioria realizados em países nórdicos, como Suécia e Finlândia, os custos obtidos por hora efetiva de trabalho foram inferiores aos calculados para a plantadora tripla automatizada. Laine e Saarinen (2014) obtiveram um custo total de € 66.97 hora⁻¹, utilizando o equipamento P11.a para realizar o preparo de solo via inversão da camada superficial do solo e o plantio de *Picea abies*.

Ao extrapolar a base do custo analisado, ou seja, de custo hora⁻¹ para custo hectare⁻¹, e considerar espaçamentos semelhantes, o custo do hectare plantado com a plantadora tripla automatizada é, aproximadamente, 12 % superior ao plantado com um equipamento P11.a em uma escavadora hidráulica obtido por GUERRA, et al (2019).

Desta maneira, realizando simulações com o incremento da eficiência operacional, através da melhoria no tempo auxiliar de reabastecimentos de insumos, mitigar o tempo improdutivo e tempo em manutenção, para um valor como o obtido por Soler (2016) de 75,13 %, o custo reduziria para € 238.78 hora⁻¹ no espaçamento 3,5 x 1,8 m. Com isso, se obtivermos uma melhora de 5 % no rendimento operacional, atingindo o valor de 839 mudas hora⁻¹, o custo seria reduzido à € 451,66 hectare⁻¹.

Este valor seria inferior ao obtido por Guerra et al (2019) quando considerado o custo por hectare, sendo que ambas máquinas realizam o plantio e irrigação, porém a utilizada no estudo de Guerra et al (2019) realizaria a adubação de base, enquanto que a plantadora tripla automatizada realizaria o georreferenciamento das mudas.

Este custo adicional necessário ao sistema automatizado, poderá ser diluído com as possibilidades de automação das operações subsequentes ao plantio, que surgem a partir dos pontos georreferenciados das mudas plantadas, como por exemplo nas atividades de irrigação pós-plantio, aplicação de herbicidas pré e pós-emergentes, e podendo ser, também, um grande passo rumo à operação na colheita florestal com máquinas autônomas, ou seja, sem operadores (RODRIGUES, 2018).

Ao se comparar o custo operacional de equipamentos de plantio mecanizados com as alternativas existentes no momento, como o preparo de solo mecanizado seguido do plantio manual, ainda existe um maior custo para o plantio mecanizado (ERSSON, 2010). Em contrapartida, a oferta de mão-de-obra para as atividades de plantio manual tende a ficar cada vez mais escassa, podendo inviabilizar seu uso (ERSSON, et al, 2018). Desta forma, para combater esta redução nas atividades silviculturais deverá aumentar-se o uso de equipamentos mecanizados (PÖYRY, 2014; BAKER, 2018).

Por fim, ressalta-se que a plantadora tripla automatizada é um protótipo e esteve em caráter de ensaio na empresa florestal. Sendo assim, sugere-se a realização de novas avaliações e análises quando a máquina estiver incorporada na rotina de operação de alguma empresa, tendo a infraestrutura necessária para dar condições plenas de funcionamento, evitando tempos ociosos com esperas por suprimentos e melhor treinamento de operador e dos demais trabalhadores auxiliares envolvidos na atividade.

6 CONCLUSÃO

- O rendimento obtido com a plantadora tripla automatizada é superior aos demais resultados com equipamentos mecanizados que foram analisados em estudos disponíveis na bibliografia, confirmando que um número maior de cabeçotes por máquina possibilita este maior rendimento.

- A qualidade do plantio observado foi inferior ao relatado por outros pesquisadores, principalmente na taxa de fixação de mudas. Este fator esteve relacionado à limitação do uso da máquina em áreas com relevo ondulados. Porém, o sistema de georreferenciamento obteve valores de espaçamentos entre plantas muito próximos ao recomendado.

- O custo operacional com a plantadora tripla automatizada foi superior aos demais obtidos com outros equipamentos mecanizados de plantio, sendo que os custos relacionados ao valor de aquisição da máquina, foram os mais onerosos da análise econômica.

REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, P.; BELBO, H.; ELIASSON, L.; de JONG, A.; LAZDINS, A.; LYONS, J. The COST model for calculation of forest operations costs. **International Journal of Forest Engineering**. V. 25, p. 75 - 81. 2014.
- ÅHLUND, J. **Mechanised forest planting - a study of ECO-Planter 2000 planting machine and a comparison with Silva Nova planting machine and manual planting systems**. Institutionen för skogsteknik, SLU, Garpenberg. Examensarbete. 1995.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GOLÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **ASAE: standards 2000: Agricultural Machinery Management (EP496.2 DEC99)**. St. Joseph, MI, USA. p. 343 - 349. 2000.
- ANDERSSON, S. Skogsteknik förr och nu. In: **The Swedish Society of Forest History**. p. 102–116. 2004.
- APPAVOO, I.; MARIONNEAU, A.; BERDUCAT, M.; MERCKX, B.; OLIVIER, N.; COTTEN, L. A high yield automatic tree planting machine. In: **5th International Conference on Machine Control Guidance MCG...** 5 p. 2016.
- ANDERSSON, G. **Mekaniserad plantering har gäckat branschen i artionden**. Land Skogsbruk. 2018. Disponível em: <https://www.landskogsbruk.se/skog/mekaniserad-plantering-en-teknik-som-gackat-branschen-i-artionden/>. Acesso em: 25 de novembro de 2019.
- APPELROTH, S. E. Planting tube makes it easy to plant japanese paperpot planting stock in Finland. **The Forestry Chronicle**, v. 47, n. 6, p. 350–351, 1971.
- BÄCKSTRÖM, P.O. **Mechanized planting - Basic conditions, techniques, productivity and costs**. Forskningstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm, Sweden. 1978.
- BAE, H. Y., CHOE, R., PARK, T., RYU, K. R. Comparison of operations of AGVs and ALVs in an automated container terminal. **Journal of Intelligent Manufacturing**, V. 22, n. 3, p.413 – 426. 2011.
- BAKER, M. **Mechanised Silviculture: Opportunities and Challenges for the New Zealand Forest Industry**. 35 p. 2018.Disponível em: <https://ruralleaders.co.nz/wp-content/uploads/2018/11/Baker-Mike-Mechanisation-of-Silviculture-Report.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2019.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas Agrícolas**. Piracicaba - SP. 2004.

BALENSIEFER, M. **Estudo de diferentes métodos de plantio com Pinus taeda na região de Guarapuava - Paraná**. Universidade Federal do Paraná, 1978.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos: projeto e medida do trabalho**. 6 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

BAYNE, K. M.; PARKER, R. J. The introduction of robotics for New Zealand forestry operations: Forest Sector Employee Perceptions and Implications. **Technology in Society**, v. 34, n. 2, p. 138–148, 2012.

BELLAMY, D., PRAVICA, L. Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining. **Resources Policy**, v. 36, n. 2, p. 149 – 158. 2011.

BERG, S. Studier av mekaniserade system för markberedning och plantering. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. **Meddelande nr 19**. 1991.

BRACKE FOREST. **Mekaniserad Skogsvård**. 2018.

BRACKE FOREST. **Bracke Forest - Planters and Seeders**. 2019. Disponível em: <<https://www.brackeforest.com/products/planters-seeders>>.

BURLA, E. R. **Mecanização de atividades silviculturais em relevo ondulado**. Belo Oriente. Cenibra. 2001.

CONCEIÇÃO, S. C. **DESAFIOS PARA EXPANSÃO DA MECANIZAÇÃO EM UMA PRESTADORA DE SERVIÇOS EM SILVICULTURA - ESTUDO DE CASO**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Pós Graduação em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

DA LUZ, G. B.; KUIAWINSKI, D. L. Mecanização, Autonomiação e Automação - Uma revisão conceitual e crítica. In.: XII SIMPEP, Bauru, SP.

DRONDRONES. **Você sabe a diferença entre VANT, DRONE e RPAS?** 2017. Disponível em: <<https://www.drondrones.com.br/single-post/2017/01/06/Você-sabe-a-diferença-entre-VANT-DRONE-e-RPAS%0D>>.

ERSSON, B.T. Possible Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden—An Introductory Essay on Forest Technology; **Arbetsrapport 269**; Department of Forest Resource Management, SLU: Umeå, Suécia, 2010.

ERSSON, B. T. **Concepts for Mechanized Tree Planting in Southern Sweden**. Swedish University of Agricultural Sciences - Faculty of Forest Sciences, Umea, 2014.

ERSSON, B.T., PETERSSON, M. Uppföljning av planteringsmaskinen 2013 - färskplanteringar [Follow-up of the planting machine year 2013- freshly planted seedlings]. **Rapport S50**. Skoglig Service, Södra Skog.. 2013.

ERSSON, B. T.; JUNDÉN, L.; BERGSTEN, U.; SERVIN, M. Simulated productivity of one- and two-armed tree planting machines. **Silva Fennica**, v. 47, n. 2, p. 1–23, 2013.

ERSSON, B. T.; LAINE, T.; SAKSA, T. Mechanized tree planting in Sweden and Finland: Current state and key factors for future growth. **Forests**, v. 9, n. 7, p. 1–12, 2018.

FERREIRA, P. C. **Avaliação ergonômica de algumas operações florestais no município de Santa Bárbara - MG**, 2006. Dissertação (Mestrado Profissional em Meio Ambiente e Sustentabilidade) - Centro Universitário de Caratinga, Caratinga - MG, 2006.

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

GOODRICH, M. A., SCHULTZ, A. C. Human-robot interaction: a survey. **Foundations and Trends in Human – Computer Interaction**. V. 1, N. 3, p. 203 – 275. 2007.

GOOGLE EARTH. 2019. Disponível em: <https://www.google.com/earth/>. Acesso em: 25 de agosto de 2019.

GUERRA, S.P.S., SOLER, R. R., SEREGHETTI, G. C., OGURI, G. An evaluation of the economics and productivity of fully mechanised tree seedling planting in Brazil. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, V.81, n.3, p.281 - 284. 2019.

HAKAMADA, R. E.; BAZANI, J. H.; JUNIOR, J. C. A.; GONÇALVES, F. L. de M. Mecanização e Automação no setor florestal. **Anais da 45ª Reunião Técnico-Científica do Programa Temático de Silvicultura e Manejo**, v. 17, n. 38, p. 99 - 101. 2012. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr38/st38.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2019.

HALLONBORG, U. Unmanned forestry machines can be competitive. **Skogforsk Results N. 4**, Uppsala, Sweden. 2003.

HALLONBORG, U.; von HOFSTEN, H.; MATTSSON, S.; HAGBERG, J.; THORSÉN, Å.; NYSTRÖM, C.; ARVIDSSON, H. Maskinell plantering med Silva Nova – nuvarande status samt utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering. **Redogörelse nr 6**. Skogforsk. Uppsala, Sweden. 1995.

HALLONBORG, U., von HOFSTEN, H., MATTSSON, S.; THORSÉN, Å. Planteringsmaskiner i skogsbruket – en beskrivning av metoder och maskiner. **Redogörelse nr 7**. Skogforsk. Uppsala. 1997.

HALLONGREN, H.; LAINE, T.; RANTALA, J.; SAARINEN, V. M.; STRANDSTRÖM, M.; HÄMÄLÄINEN, J.; POIKELA, A. Competitiveness of mechanized tree planting in Finland. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 29, n. 2, p. 144–151, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2014.881542>

HÄRKÖNEN, M. **Work quality of M-Planter and Bräcke forest planting machines**. Msc thesis. University of Joensuu, Faculty of Forest Science, Joensuu. 2008.

HARRY, G. G.; FONTES J. M.; MACHADO, C. C.; SANTOS, S. L. Análise dos efeitos da eficiência no custo operacional de máquinas florestais. In: Simpósio Brasileiro sobre Exploração e Transporte Florestal, 1991, Belo-Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV/SIF, p.57-75. 1991.

HARSTELA, P. **Kustannustehokas metsänhoito. [Cost-effective silviculture]**. Gravita Ky. 126 p. 2004.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório 2017**. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 13 de abril de 2019.

IPEF - INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. **Produção de florestas com qualidade: técnicas de plantio**. 2008. Disponível em: <https://www.ipef.br/silvicultura/plantio.asp>. Acesso em: 27 de maio de 2019.

JOHANSSON, K. Tvåhövdad planteringsmaskin i Finland. **Plantaktuellt nr 4**. Skogforsk. Uppsala. p 2. 2007.

KABER, D., ENDSLEY, M. The effects of level of automation and adaptive automation on human performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, V. 5, n. 41, p. 113 – 153. 2004.

KOTOVICZ FILHO, J. R. **Mecanização das atividades de silvicultura em empresas florestais brasileiras**. 2016. 57 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

LAINE, T. **Mechanized tree planting in Finland and improving its productivity**. 2017. Academic Dissertation (Department of Forest Sciences) - Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, Helsinki, 2017.

LAINE, T., RANTALA, J. Mechanized tree planting with an excavator mounted M-Planter planting device. **International Journal of Forest Engineering**, v. 24, n.3, p. 183 - 193. 2013.

LAINE, T.; SAARINEN, V. M. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. **Silva Fennica**, v. 48, n. 3, 16 p. 2014.

LAINE, T.; KÄRHÄ, K.; HYNÖNEN, A. A survey of the Finnish mechanized tree-planting industry in 2013 and its success factors. **Silva Fennica**, v. 50, n. 2, p. 1–14, 2016.

LEMOES, S. V. **Análise econômica do plantio e condução do eucalipto de curta rotação para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In. MACHADO, C.C.(Ed). **Colheita florestal**. 2 ed. Viçosa. UFV. Cap.2, p.46-73. 2014.

LINDHOLM, E.L., BERG, S. Energy Use in Swedish Forestry in 1972 and 1997. **International Journal of Forest Engineering**, v.16, n.1, p. 27 - 37. 2005.

LINDROOS, O., LA HERA, P., HÄGGSTRÖM, C. Drivers of Advances in Mechanized Timber Harvesting – a Selective Review of Technological Innovation. **Croatian Journal of Forest Engineering**. V. 38, n. 2. p. 243 - 258. 2017.

LOPES, E. S; BRITTO, P. C; LAAT, E.F; FIEDLER, N. C; VIEIRA, T. P. Análise antropométrica de trabalhadores em atividades de implantação florestal. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 525-534, 2013.

LOPES, E. S; BRITTO, P. C; RODRIGUES, C. K. Postural Discomfort in Manual Operations of Forest Plantations. **Floresta e Ambiente**, v.26, n.1, p. 1 - 8, 2019.

LUORANEN, J.; RIKALA, R.; SMOLANDER, H. Machine planting of Norway spruce by Bracke and Ecoplanter: an evaluation of soil preparation, planting method and seedling performance. **Silva Fennica**, v.45, n.3, p. 341 – 357. 2011.

LUORANEN, J.; VIIRI, H. Deep planting decreases risk of drought damage and increases growth of Norway spruce container seedlings. **New Forests**, v. 47, p. 701–714, 2016

LUZ, G. B. da, KUIAWINSKI, D. L. Mecanização, autonomação e automação: uma revisão conceitual e crítica. In: **XIII SIMPEP**. Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 de novembro de 2006. Disponível em: http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/1210.pdf. Acesso em: 23 de novembro de 2019.

M-PLANTER. **M-planter - Towards planting perfection!** 2020. Disponível em: <http://www.m-planter.fi/en/>. Acesso em: 21 de janeiro de 2020.

MALMBERG, C.E. Mekanisering av skogsodling. **STU-info 783**. Styrelsen för Teknisk Utveckling, Stockholm, Sweden. 1990.

MATTEI, L. Emprego agrícola: cenários e tendências. **Estudos avançados**, v. 29, n. 35, p. 35–52, 2015.

MIN, M.; EHSANI, R.; SALYANI, M. Dynamic accuracy of GPS receivers in citrus orchards. **Applied Engineering in Agriculture**, v.24, p.861-868. 2008.

MORAIS, A. F. De. **Estimativas de crescimento da demanda de mão de obra agropecuária no Brasil em 2030 diante da expansão do consumo de alimentos: Uma análise via modelo de equilíbrio geral computável**. 2018. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

MUEDANYI, R.; GUERRA, S. P. S.; ERSSON, B. T. Advances in the Mechanization of Regenerating Plantation Forests: a Review. **Curr Forestry Rep** 6, p. 143 - 158, 2020.

MYHRMAN, D.; ZYLBERSTEIN, M. Fem planteringsmaskiner. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Stockholm. **Resultat nr 18**. 1983.

NORMARK, E.; NORR, M. **EcoPlanter - sammanställning av ett utvecklingsprojekt** [EcoPlanter - a compilation of the development project]. Holmen Skog. Örnsköldsvik. Rapport. 2002.

NOVELQUIP. **Proplant 1 - Mechanical single planting head. 2017**. Disponível em: <http://www.forestry.co.za/uploads/File/Industry%20News/2018/PropPlant%201%20Brochure%20-%2020170818.pdf>. Acesso em: 18 de junho de 2019.

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Embrapa Acre, Rio Branco, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/3959/1/doc58.pdf>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

PADOVANI, C. R. **Delineamento de Experimentos**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2014.

PAGOTTO, L. O. **Avaliação do desempenho operacional e da logística das atividades silviculturais da Aracruz Celulose S. A.** 2007. Relatório de Estágio Profissionalizante em Engenharia Florestal, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PARKER, R.; BAYNE, K.; CLINTON, P. W. Robotics in forestry. **New Zealand Journal of Forestry**, v. 60, n. 4, p. 8 - 14, 2016.

ÖYRY. **Reinventing plantation forestry. Poyry point of view**. 2014. Disponível em: www.poyry.com/sites/default/files/media/related_material/0021_reinventing_plantation_forestry_web.pdf. Acesso em: 20 de fevereiro de 2020.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2019.

RANTALA, J.; HARSTELA, P.; SAARINEN, V.-M.; TERVO, L. A techno-economic evaluation of Bracke and M-planter tree planting devices. **Silva Fennica**, v. 43, n. 4, p. 659–667, 2009.

RANTALA, J.; LAINE, T. Productivity of the M-Planter Tree- Planting Device in Practice. **Silva Fennica**, v. 44, n. 5, p. 859–869, 2010.

RINGDAHL, O. **Automation in forestry : development of unmanned forwarders**. 2011. Thesis (Department of Computing Science) - Umeå University, Umeå, 2011. Disponível em: <http://umu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:412664>. Acesso em: 22 de junho de 2019.

RISUTEC. **Risutec Planting Machines**. 2019. Disponível em: <https://www.risutec.fi/en/planting-machines/>. Acesso em: 24 de junho de 2019.

RODRIGUES, C. K. **Introdução ao estudo da mecanização da silvicultura**. 1ª edição. Curitiba, 60 p. 2018.

SAARINEN, V. M. Productivity, quality of work and silvicultural result of mechanized planting. In **Nordic nursery conference**, Sept. 2007.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018

SEREGHETTI, G. C. **Qualidade do plantio manual e mecanizado para eucalipto e pinus**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SHEARER, S. A., PITLA, S. K., LUCK, J. D. Trends in the automation of agricultural field machinery. **Biosystems and Agricultural Engineering**, University of Kentucky, Lexington, USA. V. 10. 2010.

SHERIDAN, T. B., VERPLANK, W. L. Human and computer control for under-sea teleoperators. **Technical report**, MIT Man-Machine Systems Laboratory.1978

SILVEIRA, G. M. **As máquinas de plantar**. V. 1, Globo. Rio de Janeiro, 257p. 1989.

SILVERSIDES, C. R. Broadaxe to flying shear: The mechanization of forest harvesting east of the Rockies. In: **Transformation series 6.**, Vol. 20, No. 4, p. 92-94. 1998.

SIMÕES, J. W. **Plantio e tratos culturais: métodos, possibilidades e economicidade**. 1989. (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SOARES, R. A. **A evolução da mecanização na silvicultura brasileira**, disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=511>> Acesso em 18 de dezembro de 2019.

SOLER, R. R. **Influência do relevo e da presença de resíduos da colheita florestal no rendimento e na qualidade silvicultural de um sistema de plantio mecanizado**. 2016. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SOUZA, H. N. **O estado da arte da mecanização da silvicultura em terrenos montanhoso**. 2014. Monografia (Especialização em Gestão Florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

STADUTO, J. A. R.; SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Alteração na composição da mão de obra assalariada na agropecuária brasileira. **Agricultura em São Paulo**, v. 51, n. 2, p. 57–70, 2004.

STJERNBERG, E.I. Tree Planting Machines: A Review of the Intermittent – Furrow and Spot Planting Types. **FERIC Special Report N.31**. Forest Engineering Research

Institute of Canada. Vancouver. 1985.

STJERNBERG, E. I. A study of manual tree planting operations in central and eastern Canada. **Feric Technical Report**, v. 79, p. 42, 1988.

TREVISAN, R. G.; EITELWEIN, M. T.; VILANOVA JÚNIOR, N. S.; SALVI, J. V.; PASSALAQUA, B. P.; MOLIN, J. P. Avaliação da precisão dos sinais rtk e rtx em ensaio estático e cinemático. In.: Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão, 2014, São Pedro - SP. **ANAIS [...]**. 2014. Disponível em: https://www.agriculturadeprecisao.org.br/wp-content/uploads/2020/01/cgr-2014_03.pdf. Acesso em: 15 de março de 2020.

VAN HORLICK. **Van Horlick's Cultivator Planter (VHCP)**. 2016. Disponível em: <http://www.vhmulcher.com/wp-content/uploads/2016/11/brochure.pdf>. Acesso em: 18 de junho de 2019.

von HOFSTEN, H. Hög kvalitet även på högkvaliteten med Öje-Planter. **Resultat nr 3**. Skogforsk. Uppsala, Sweden. 1993.

VOSNIAK, J.; LOPES, E. S.; INOUE, M. T.; BATISTA, A. Avaliação da postura de trabalhadores nas atividades de plantio e adubação em florestas plantadas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 584 - 592, 2011.

WALTERS, J., SILVERSIDES, C.R. Injection planting of containerized tree seedlings. **Information Report FMR-X-120**. Forest Management Institute, Canadian Forestry Service. Ottawa, Canadá. 1979.

WESTERBERG, S. **Semi-Automating Forestry Machines**. 2014. Thesis (Department of Applied physics and Electronics) - Umeå University, Umeå, 2014. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/2bb0/d6ea70cfd46b9cba2f6d64f210b8cf9dc6f5.pdf>. Acesso em: 17 de junho de 2019.

WESTERBERG, S., SHIRIAEV, A. Virtual environment-based teleoperation of forestry machines: Designing future interaction methods. **Journal of Human-Robot Interaction**. v. 2, n.3, p. 84 – 110. 2013