

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP**

**CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS PARA  
PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO CITROS**

**Alex Rangel Gonzaga**

Engenheiro Agrônomo

**2020**

D  
I  
S  
S  
E  
T  
A  
Ç  
Ã  
O

/

G  
O  
N  
Z  
A  
G  
A

A.  
R.

2  
0  
2  
0

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS PARA  
PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO CITROS**

**Alex Rangel Gonzaga**

**Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva**

**Co-orientadores: Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti**

**Prof. Dr. Antonio Sergio Ferraudo**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

G642a

Gonzaga, Alex Rangel

Avaliação de tratores agrícolas para pulverização na cultura do citros / Alex Rangel Gonzaga. -- Jaboticabal, 2020  
118 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Antonio Sergio Ferraudo

1. Mecanização agrícola. 2. Citricultura. 3. Tratores. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS PARA PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO CITROS


**AUTOR: ALEX RANGEL GONZAGA**


**ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA**


**COORIENTADOR: LUIZ FABIANO PALARETTI**

**COORIENTADOR: ANTONIO SERGIO FERRAUDO**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA (Participação Virtual)  
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEX) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Dr. TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES (Participação Virtual)  
C3 Consultoria e Pesquisa / Araxá/MG

  
Dr. MARCELO SILVEIRA DE FARIAS (Participação Virtual)  
Universidade de Santa Maria-Campus Frederico Westphalen / Frederico Westphalen/RS

Jaboticabal, 03 de novembro de 2020

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

ALEX RANGEL GONZAGA – nascido em 14 de março de 1988, no município de Ilha Solteira, São Paulo, possui formação no curso de Engenharia Agrônômica (2013) pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Câmpus de Ilha Solteira. Durante a graduação desenvolveu projetos de Pesquisa e Extensão nas áreas de Fertilidade do Solo, Nutrição de Plantas e Fitotecnia, obtendo bolsas de iniciação científica pública e privada durante a graduação. De 2013 a 2018 atuou em empresas do setor sucroenergético nas áreas de Motomecanização (Tratos Culturais e Preparo de Solo) sendo responsável pelo planejamento, dimensionamento e execução das atividades relacionadas a estas áreas no campo. Em função das inovações deparadas na agricultura, está cursando o Mestrado em Produção Vegetal, sendo orientado pelo Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, na UNESP Jaboticabal, buscando conhecimentos sobre Máquinas e Mecanização Agrícola, uso de plataformas digitais, uso de sensores de solo, plantas e máquinas. Durante o Mestrado, foi bolsista CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), tendo a oportunidade de desenvolver trabalhos avaliando colhedoras, perdas, marcas de tratores para pulverização em citros, avaliando itens de características dimensionais, ponderais, ergonomia, segurança, testes de desempenho de campo, entre outros. Foi integrante do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, onde realizou pesquisas voltadas para a área de máquinas e mecanização agrícola e integrante do Rouverson Silva Research Group (RSRG), ajudando em pesquisas relacionadas a sensoriamento remoto, mecanização e agricultura de precisão.

“Estamos nos afogando em informações e famintos por sabedoria”

Zygmunt Bauman

## **DEDICO**

A Deus, por vencer mais uma batalha.

Aos meus pais, pela educação, apoio e confiança.

À Flávia, minha companheira de vida, por todo incentivo.

Ao meu Orientador por todo o conhecimento transmitido.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, nosso Grande Arquiteto do Universo, por conceder a oportunidade da vida, a inteligência e me dar forças para nunca desistir.

Aos meus pais, Alexandre, Maria José, Márcia por me darem a educação necessária para a vida, pelo apoio contínuo, por acreditarem no meu potencial e por sempre emitirem boas energias para o meu sucesso.

À minha irmã Ana Paula, fonte de inspiração e zelo.

Ao meu avô Pedro Hoffmann (in memoriam) e Alan Rangel Gonzaga (in memoriam) que se fazem presente em diversas ocasiões me confortando e me incentivando.

À Flávia Meirelles, minha companheira de vida pela qual tenho grande admiração. Obrigado por tudo o que você fez e faz por mim.

Aos professores e amigos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) que pude conviver em diversos momentos: Carlos Eduardo Angelini Furlani, Cristiano Zerbato, Aline Alcântara, Danilo Tedesco, Franciele Morlin, João de Deus, Bruno Rocca, Edcarla, Luan, Jean, Letícia, Tiago Tavares, Elizabeth, Franciele Morelli, Mailson, Jarlyson, Samira e Armando.

Ao Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, que me recebeu e me acolheu, me orientando, me guiando e conduzindo da melhor maneira possível para eu aproveitar a oportunidade da Pós-Graduação, exercendo muito mais que o papel de orientador e sim de um verdadeiro educador, fazendo com que tenhamos novas percepções e ângulos sobre a vida, a sociedade, aumentando a empatia para com o próximo, a você “chefe”, o meu muito obrigado!!

Ao Departamento de Engenharia e Ciências Exatas, em especial ao Davi, por sempre ter a paciência de nos orientar e receber, sanando nossas dúvidas.

Aos funcionários e toda a equipe da Fazenda Entre Rios em Boa Esperança do Sul, SP, do grupo CitroSuco, obrigado!

À Universidade Estadual Paulista – Jaboticabal por toda a estrutura, investimento, educação, que fez com que eu conseguisse realizar a Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pela concessão de bolsa, processo número 134637/2018-6.

## SUMÁRIO

|   | <b>Página</b> |
|---|---------------|
| <b>RESUMO</b> .....   | iii           |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | iv            |
| <b>CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais</b> .....  | 1             |
| 1.1 Introdução .....  | 1             |
| 1.2 Revisão Bibliográfica .....   | 6             |
| 1.2.1 Aspectos Gerais da citricultura .....   | 6             |
| 1.2.2 Evolução da mecanização agrícola .....  | 8             |
| 1.2.3 Mecanização em Citros .....   | 11            |
| 1.2.4 Equilíbrio operacional e consumo de combustível .....   | 13            |
| 1.2.5 Ergonomia e Segurança .....   | 15            |
| 1.3 Referências .....   | 18            |
| <br>  |               |
| <b>CAPÍTULO 2 - CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS E PONDERAIS DE TRATORES AGRÍCOLAS 4X2 TDA UTILIZADOS EM PULVERIZAÇÃO DE CITROS</b> ..... | 27            |
| 2.1 Introdução .....  | 28            |
| 2.2 Material e métodos .....  | 30            |
| 2.2.1 Local do experimento e tratores avaliados .....   | 30            |
| 2.2.2 Características dimensionais e ponderais avaliadas .....  | 31            |
| 2.2.3 Variáveis relativas à manutenibilidade .....  | 32            |
| 2.2.4 Raio de giro .....  | 32            |
| 2.2.5 Análises estatísticas .....   | 33            |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.3 Resultados e Discussão .....   | 34        |
| 2.3.1 Análise multivariada das características dimensionais .....  | 34        |
| 2.3.2 Características ponderais .....  | 37        |
| 2.3.3 Manutenibilidade .....   | 38        |
| 2.3.4 Raio de giro .....   | 40        |
| 2.4 Conclusão .....  | 41        |
| 2.5 Referências .....  | 43        |
| <b>CAPÍTULO 3 - ERGONOMIA E CAMPO VISUAL DE TRATORES<br/>AGRÍCOLAS DE PNEUS UTILIZADOS NA PULVERIZAÇÃO DE<br/>CITROS .....</b>                 | <b>46</b> |
| 3.1 Introdução .....   | 47        |
| 3.2 Material e métodos .....   | 48        |
| 3.3 Resultados e Discussão .....   | 55        |
| 3.3.1 Áreas de máxima e ótimo alcance .....  | 57        |
| 3.3.2 Comandos localizados nas áreas de ótima e máxima visão ...   | 61        |
| 3.3.3 Campo visual do operador .....   | 64        |
| 3.4 Conclusão .....  | 68        |
| 3.5 Referências .....  | 69        |
| 3.6 Material Suplementar .....   | 72        |
| <b>CAPÍTULO 4 - COMPORTAMENTO DE TRATORES AGRÍCOLAS NA<br/>OPERAÇÃO DE PULVERIZAÇÃO EM CITROS ALTERANDO A RELAÇÃO<br/>MASSA/POTÊNCIA .....</b> | <b>75</b> |
| 4.1 Introdução .....   | 76        |
| 4.2 Material e Métodos .....   | 78        |

|   |            |
|---|------------|
| 4.2.1 Adequação dos tratores .....                                      | 80         |
| 4.2.2 Determinação do avanço dinâmico .....                             | 81         |
| 4.2.3 Consumo horário de combustível .....                              | 82         |
| 4.2.4 Delineamento experimental e forma de análise dos resultados ..... | 83         |
| 4.3 Resultados .....  | 84         |
| 4.3.1 Adequação dos tratores e Avanço Dinâmico .....                    | 84         |
| 4.3.2 Desempenho Operacional .....                                      | 86         |
| 4.4 Discussão .....   | 96         |
| 4.5 Conclusão .....   | 98         |
| 4.6 Referências .....   | 99         |
| <b>CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                          | <b>103</b> |

## AVALIAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS PARA PULVERIZAÇÃO NA CULTURA DO CITROS

**RESUMO** - A mecanização agrícola tornou-se inevitável nos sistemas de produções agrícolas. Em busca de maiores capacidades operacionais, melhor qualidade das operações agrícolas, a realização de tarefas em menor espaço de tempo, conforto e elevação da produtividade do operador, menor consumo de combustível e redução de custos, as empresas têm investido cada vez mais em máquinas agrícolas que satisfaçam tais necessidades. Diante deste cenário, objetivou-se a) realizar a caracterização dimensional e ponderal dos tratores; b) avaliar critérios de ergonomia e segurança que garantem conforto aos operadores e c) opções de equilíbrio operacional em tratores por meio de alterações no índice de lastragem, calibragem dos pneus, avanço dinâmico da tração e seu reflexo no desempenho operacional em operações na cultura dos citros, de modo a permitir a seleção de tratores agrícolas de forma técnica. Foram avaliados tratores de diferentes marcas disponíveis no mercado brasileiro, de 66 kW, cabinados, com tração dianteira auxiliar (TDA) na operação de pulverização em citros. Os testes foram realizados em área citrícola do Grupo Citrusuco, localizada no município de Boa Esperança do Sul, São Paulo. Dentre as principais conclusões, destaca-se que existe variação entre os tratores agrícolas avaliados neste estudo quanto às características ponderais e dimensionais, auxiliando na seleção do trator que se adeque à condição da operação. A avaliação ergonômica, importante para assegurar conforto ao operador e facilitar sua rotina de trabalho, incrementando maior produtividade na sua jornada de trabalho, possibilitou verificar que mesmo tratores com menor largura, pode proporcionar condições adequadas de ergonomia, como observado no trator A. O equilíbrio dinâmico dos tratores, avaliados pela relação massa/potência e consumo de combustível, auxiliou na escolha para o modelo adequado para operação de pulverização em citros. Testes devem ser realizados para avaliar o comportamento do motor submetido à diferentes operações agrícolas.

**Palavras-chave:** citricultura, mecanização agrícola, ergonomia, consumo de combustível, equilíbrio operacional

## EVALUATION OF AGRICULTURAL TRACTORS FOR SPRAYING IN CITRUS CULTURE

**ABSTRACT** - Agricultural mechanization has become inevitable in agricultural production systems. In search of higher operating income, better quality of agricultural operations, carrying out tasks in less time, comfort and increased operator productivity, lower fuel consumption and cost reduction, companies have increasingly invested in agricultural machinery that satisfy such needs. In this scenario, the objective of this essay was to perform the dimensional and weight characterization of the tractors; evaluate criteria for ergonomics and safety, guaranteeing operator comfort and operational balance options in tractors through changes in the index of ballasting, tire calibration, dynamic traction advancement and its impact on operational performance in citrus crop operations, in order to allow the selection of agricultural tractors to be used in the cultivation of citrus in a technical way, investing more and more in agricultural machines that satisfy such needs. It was evaluated different brands tractors available in Brazilian market, of 66 kW, cockpit, front wheel drive (FWD) in the citrus spraying operation. The tests were carried out in the citrus area of the Citrusuco Group, located in the municipality of Boa Esperança do Sul, São Paulo. Among the main conclusions, it can be highlighted that there is variation between the agricultural tractors evaluated in this study regarding the weight and dimensional characteristics, helping in the selection of the tractor that suits the condition of the operation. The ergonomic evaluation, important to ensure comfort to the operator and facilitate his work routine, increasing productivity in his workday, made it possible to verify that even tractors with smaller width, can provide adequate ergonomic conditions, as observed in tractor A. The dynamic balance of the tractors, evaluated by the mass/power ratio and fuel consumption, helped in choosing the appropriate model for citrus spraying operation. Tests must be carried out to evaluate the behavior of the engine submitted to different agricultural operations. There is variation between the agricultural tractors evaluated in this study regarding weight and dimensional characteristics. Ergonomic evaluation is important to ensure operator comfort and facilitate the work routine, increasing your productivity during your workday. The characteristics of the new engines can influence final consumption. New engines and adaptations will emerge meeting environmental norms. Tests must be carried out to evaluate the behavior of the engine submitted to different agricultural operations.

**Keywords:** citrus production, agricultural mechanization, ergonomics, fuel consumption, operational balance

## **CAPÍTULO 1 - Considerações Gerais**

### **1.1 Introdução**

A agricultura vem crescendo ano após ano, batendo recordes de produtividade, alavancando o PIB nacional, gerando emprego e renda para o produtor.

A inserção das máquinas agrícolas, corrobora para que a agricultura seja um dos pilares econômicos do País. O uso dessas máquinas possibilitou a produção em larga escala, aumentando a capacidade operacional, possibilitando a diluição dos custos e gerando a oportunidade de aumentar a produção em menor período de tempo.

Dentre as máquinas agrícolas, o trator tem sido indispensável para tal crescimento. É ele que traciona os implementos, que realiza as atividades necessárias. Nos últimos anos, a mudança ocorrida na frota de tratores do país é nítida e, atualmente, há prevalência de tratores com cabines, ar condicionado, maior potência, design sofisticado e itens que geram melhor ergonomia e maior segurança.

O impacto causado pelo uso de tratores agrícolas é medido por maiores eficiências operacionais, economia de mão de obra, expansão da área agrícola, maior necessidade de mecanização e qualidade da melhoria da produção comercializada.

Projetos que envolvem o incentivo à mecanização têm sido amplamente difundidos. A FAO (2020), por exemplo, possui o projeto de Mecanização Agrícola Sustentável em países em desenvolvimento, alegando que a mecanização pode aumentar a produtividade, facilitar a pontualidade e a qualidade do cultivo. Além disso, ser menos dependente da mão de obra disponível para serviços inerentes à agricultura; redução da emissão de CO<sub>2</sub> quando combinada com práticas agrícolas de conservação adequadas, reduzir a pobreza e alcançar a segurança alimentar, melhorando o meio de vida das pessoas.

Embora a adoção de tratores agrícolas corrobore para o melhor aproveitamento da área, do tempo disponível, menor dependência de mão de obra, entre outros, estudos indicam que a adoção de tratores agrícolas expõe os operadores a diversos riscos.

Estatísticas de acidentes de trabalho mostraram um risco considerável relacionado às tarefas agrícolas: a taxa de mortalidade na agricultura é seis vezes maior que a de todas as outras atividades industriais (EC, 2004; HSA, 2013).

A exposição à vibração relacionada ao trabalho é um dos contribuintes mais significativos para o aparecimento de doenças crônicas cujos resultados, mesmo que não causem mortalidade prematura, podem levar a uma incapacidade substancial, com custos significativos do ponto de vista humano e socioeconômico (Litchfield, 1999; Hoy et al., 2010; European Agency for Safety and Health at Work, 2005).

O avanço insustentável da economia global, que busca continuar crescendo ano a ano com uma base finita de recursos naturais, significa que o capital dos recursos naturais está sendo esgotado em todas as partes, isso resulta em maior consumo de combustível fóssil e emissão de poluentes na atmosfera.

No Brasil e em outros países do mundo, órgãos federais têm desenvolvido estratégias de curto, médio e longo prazo para mitigar este efeito e reduzir as emissões de poluentes atmosféricos, estimulando o desenvolvimento de motores mais eficientes na combustão, na recirculação de gases do escapamento e de misturas que diminuem o material particulado formado pela queima dos combustíveis.

Essa melhoria nos motores, proporciona maior eficiência de tração e consumo de combustível nos tratores agrícolas, por isso essas tecnologias têm recebido muita atenção, tanto por razões econômicas quanto ambientais. Goering (1992), já relatava que os fabricantes de tratores estavam dedicando mais atenção e recursos ao design para produtos eficientes.

A influência do tamanho do pneu e pressão interna, razão de pressão de pneu da frente para trás, tipo de pneus, lastro frontal e tipo de solo no desempenho de tratores agrícolas foi investigada por testes em campo (Bashford et al., 1985; Damanauskas e Janulevicius, 2015; Janulevicius et al., 2018; Molari et al., 2015; Stoilov e Kostadinov, 2009; Zoz e Grisso, 2003) ou usando modelos de trator em escala (Gu e Kushwaha, 1994).

Dessa forma, a utilização adequada da pressão interna do pneu pode trazer benefícios em relação ao aumento da capacidade de campo operacional do trator, a patinação e também ao avanço dinâmico, propiciando o melhor desempenho operacional do trator.

Além disso, para o melhor desempenho do trator no campo, a massa do mesmo influi diretamente, sendo bastante importante também na definição da aptidão na execução de determinadas operações, o correto ajuste da lastragem do trator, condição essencial para a execução de determinadas tarefas e fundamental para maior capacidade operacional da máquina e menor consumo de combustível.

Há poucos estudos sobre o uso de tratores na agricultura, geralmente associam-se o trator à agricultura como uma ferramenta e não como parte do sistema de produção.

Para a inserção do trator como parte do sistema de produção, deve-se se atentar na correta seleção do trator a ser utilizado, levando em consideração um conjunto de critérios técnicos para a tomada de decisão. Dessa forma, critérios que auxiliam na tomada de decisão contribuem para minimizar as perdas, custos e despesas e otimizar as receitas e os resultados. Para a escolha de um produto, o consumidor pode passar por cinco processos de sub-decisões, que segundo Kotler e Armstrong (2015), são: a) Decisão por marca; b) Decisão de fornecedor; c) Decisão por qualidade; d) Decisão por ocasião; e) Decisão por forma de pagamento. Além destes aspectos, outros são muito importantes e que devem ser considerados, como: aspecto técnico do produto, no caso de tratores, deve ser considerado a potência, o torque, o consumo horário de combustível, segurança e ergonomia e; assistência técnica, esta deve ser próxima da

propriedade para que o trator fique a menor quantidade de horas parado por indisponibilidade mecânica.

Em função do crescimento populacional, na degradação dos recursos naturais e nos impactos das mudanças climáticas, pesquisas devem ser direcionadas à mecanização agrícola, ao uso de tratores e a mensuração técnica dos benefícios oriundos destes.

Assim, este trabalho parte da suposição de que os diversos aspectos técnicos dos tratores agrícolas utilizados na pulverização de citros podem ser avaliados e analisados conjuntamente, para permitir tomadas de decisão de um modo mais técnico em relação à aquisição de tratores novos. Assim, objetivou-se nesta dissertação avaliar opções de equilíbrio operacional em tratores agrícolas de médio porte, por meio de alterações no índice de lastragem, calibragem dos pneus e avanço dinâmico da tração, e seu reflexo no desempenho operacional em operações na cultura dos citros, de modo a aprimorar os métodos para que a tomada de decisão de tratores agrícolas seja realizada com base técnica considerando as diversas dimensões existentes na avaliação de alguns dos espécimes disponíveis no mercados .

Como objetivos específicos tem-se:

- i. Caracterização dimensional e ponderal dos tratores agrícolas para serem utilizados em pomares de citros.
- ii. Critérios de ergonomia e segurança para garantir melhor conforto na operação para os operadores.
- iii. Consumo de combustível com a variação de lastro no trator.

Esta dissertação, está estruturada em 05 capítulos, iniciando-se com as considerações gerais do trabalho no primeiro capítulo, no qual é apresentado o referencial teórico necessário para compreender os temas abordados. Na sequência, tem-se o Capítulo 2 com as características dimensionais e ponderais dos tratores avaliados. No Capítulo 3 são apresentados os resultados inerentes à ergonomia dos tratores, de modo a identificar tratores que causam menos fadiga ao operador através da disposição dos comandos. No Capítulo 4 são apresentados os resultados do equilíbrio dinâmico dos tratores e o consumo de

combustível na operação da pulverização e no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais da dissertação.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

### 1.2.1 Aspectos gerais da citricultura

A cadeia produtiva de citros desempenha papel importante na economia brasileira, gerando mais de duzentos mil empregos e receita de aproximadamente US\$ 6,5 bilhões por ano em todos os elos da cadeia produtiva (Neves e Trombin, 2017). A produção brasileira de citros, representa cerca de 37% da produção global de laranja [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] e 64% da produção global de suco de laranja (USDA, 2019).

Desde a década de 1960, a dinâmica do setor cítrico brasileiro se baseia na exportação de suco de laranja concentrado congelado. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2019), São Paulo é o estado com maior área plantada e produção de laranja, com 377.000 ha, produzindo cerca de 12,9 milhões de toneladas de laranja, com produtividade média de 34,2 t ha<sup>-1</sup>, seguido pelos estados de Minas Gerais e Paraná. Em Minas Gerais, a produção está concentrada no Triângulo Mineiro, chamado de cinturão citrícola (FUNDECITRUS, 2016). O Paraná, terceiro maior produtor de laranja do país, produziu aproximadamente 835.000 t de frutas em 22.500 ha, com uma produtividade média de 37,1 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2019).

Alguns fatores relacionados ao manejo do sistema de produção têm ocorrido ultimamente, agravando a produção em algumas regiões como São Paulo e Minas Gerais. Tais fatores, se por um lado são prejudiciais à citricultura, por outro favorece a mecanização agrícola e estão associados à vulnerabilidade da ocorrência de epidemias de doenças e surtos de pragas, como: i) Homogeneidade genética dos pomares destinados à produção de frutas para a indústria de suco, com poucas variedades comerciais de laranjeiras, todas suscetíveis às principais pragas e doenças, enxertadas em poucos porta-enxertos; ii) Áreas extensas e contínuas de pomares, sem barreiras físicas e ligadas por extensas malhas rodoviárias, que conferem uma continuidade espacial entre os pomares, permitindo a rápida e contínua disseminação das pragas e patógenos entre diferentes locais; iii) Perenidade da cultura e coexistência de pomares comerciais adultos e jovens, com vários fluxos

vegetativos ao longo do ano, conferindo uma continuidade da presença de órgãos suscetíveis ao ataque de pragas e infecções por patógenos por toda vida produtiva do pomar; iv) Presença de plantas de citros em áreas não comerciais e fundos de quintais de áreas urbanas, garantindo a sobrevivência e reprodução de pragas e patógenos ao longo dos anos (Bassanezi et al., 2003).

Dentre os vários problemas fitossanitários que afetam as laranjeiras, destacam-se, pela frequência de ocorrência, pelos danos à produção e à qualidade de fruta e pela dificuldade e custo de controle. Os principais problemas são: a leprose dos citros, causada pelo *Citrus leprosis virus* tipo citoplasmático, a pinta preta dos citros, causada pelo fungo *Phyllosticta citricarpa*, a podridão floral dos citros, causada pelo fungo *Colletotrichum acutatum*, o cancro cítrico, causado pela bactéria *Xanthomonas citri* pv. *citri*, a clorose variegada dos citros, causada pela bactéria *Xylella fastidiosa*, e o Huanglongbing (HLB), causado pelas bactérias *Candidatus Liberibacter asiaticus* e *Ca. L. americanus* (Bassanezi et al., 2016).

Dentre estas doenças, o HLB é considerado mundialmente a mais severa devido à velocidade de disseminação, dificuldade de controle, tanto preventivo como curativo, e elevados danos à produção e qualidade da fruta (Bové, 2006; Gottwald et al., 2007).

Segundo Neves et al. (2010) e Della Vecchia (2017), a cultura dos citros é susceptível às mudanças climáticas e ao ataque de pragas e doenças que afetam seus frutos, e no andamento da atividade do setor. Agrofitec (2008) e Andrade et al. (2014) estimam que o controle fitossanitário corresponda de 30 a 40% do custo de produção, sendo a pulverização responsável por metade dos custos operacionais.

Osorio et al. (2017) relatam que o impacto dos problemas fitossanitários é o principal problema da citricultura, afetando a produtividade, qualidade, custos e danos ao meio ambiente. Em função do aumento destes problemas relacionados à fitossanidade e principalmente à dificuldade de controle do HLB, uma vez que, além da pulverização em área total dos talhões, também se faz a aplicação nas bordas dos talhões (periferia), pois nestes locais encontram-se as maiores concentrações populacionais do psíldeo (FUNDECITRUS, 2017), aumentou-se, consecutivamente, a quantidade de pulverizações nos pomares.

O aumento na quantidade de pulverizações necessárias para o controle fitossanitário (Ramos et al., 2007), fez com que ocorresse o aumento da mecanização nos pomares, gerando maior tráfego de máquinas nos pomares, aumento do consumo de combustível, aumentando os custos de produção.

A busca por tratores confortáveis, seguros, ergonômicos, assim como a necessidade de assegurar o lastro ideal do trator para a operação com indicadores satisfatórios de avanço e patinagem, a pressão ideal do pneu, bem como o correto equilíbrio dinâmico com o melhor ajuste da massa/potência de acordo com a operação, a troca de marchas em momento adequado respeitando a rotação do motor são fatores que corroboram para uma produção mais eficiente e com otimização dos recursos.

### **1.2.2. Evolução da mecanização agrícola**

O agronegócio é de extrema relevância para o contexto social e econômico do Brasil (Niels, 2016). Silveira (2014) comenta que o país passou de um importador de alimentos para um produtor estratégico, se destacando no cenário econômico mundial. A produtividade agrícola cresceu 3,5 vezes da década de 1970 a 2010 (Bacha, 2012). Dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA (2018) revela que o Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio tem corroborado para o crescimento do PIB nacional e ajudado no controle da inflação.

Dada a importância da agricultura brasileira na economia e da competitividade do mercado internacional de commodities, a modernização do setor agrícola é a peça chave para o aumento da produção, e conseqüentemente das exportações de produtos da agroindústria. O processo de mecanização agrícola foi essencial para que esse avanço da agropecuária ocorresse, já que com ela foi possível melhor utilização dos insumos, além, da própria qualidade destes (Silva et al., 2015).

Segundo Baricelo e Bacha (2013), o fato de uma máquina substituir boa parte de mão de obra no campo, agiliza e torna os processos de plantio, cultivo e colheita muito mais eficientes; suprimindo também a escassez de pessoal devido ao êxodo rural durante a revolução industrial (Vian e Andrade Júnior, 2010).

A evolução da indústria de máquinas e equipamentos agrícolas, a partir de meados do século XIX teve relações estreitas com o processo de desenvolvimento industrial das nações desenvolvidas. Por um lado, gerou-se grande demanda por alimentos para uma população urbana crescente. Assim, os progressos técnicos foram rapidamente utilizados para a fabricação de equipamentos e máquinas mais eficientes que permitiram o aumento da área plantada e da produtividade (Fonseca, 1990).

Os Estados Unidos se tornaram o centro mundial do progresso tecnológico na fabricação de máquinas e implementos e na sua adoção na agricultura de grãos do meio-oeste (Vian, 2009).

O primeiro modelo de trator a ter grande sucesso foi o Fordson a partir de 1917, com motor a querosene e estrutura em ferro. Este trator passou por muitas melhorias incrementais e foi produzido até meados do século XX. Este modelo sofreu a concorrência do modelo Farmall da International Harvester a partir de 1925. Este trator já trazia inovações importantes na tração de implementos e podia fazer várias operações em culturas que exigem cultivo em linha, como os grãos. Em 1921, surgiram os modelos D da John Deere e Lanz Bulldog. Este último tinha como principal característica o uso de gasolina ou óleo vegetal, além de apresentar número reduzido de componentes (Vian et al., 2013).

Segundo o mesmo autor, na década de 1930 uma importante inovação foi a substituição da roda de ferro por pneus, aumentando a capacidade de tração e permitindo o deslocamento a distâncias maiores. Mas a maior inovação foi o uso do sistema hidráulico para o engate e regulagem de altura dos implementos. Isto aumentou a eficiência das operações e permitiu o uso de equipamentos maiores e mais pesados.

Nas décadas seguintes os tratores foram submetidos a inovações incrementais. O padrão atual pode ser descrito como um somatório de avanços condicionados pelas condições de operação e pela adaptação a outras condições de solo e clima e capacidade de adaptação de implementos melhores e mais pesados. Apenas nos anos 1990 surgiram algumas novas tendências em termos de design dos tratores (Vian, 2009).

Segundo Vian (2009), o esforço de modernização, no Brasil, começou em 1920 quando se iniciaram as operações da Ford, montando os primeiros tratores importados, a partir dessa data, várias empresas entraram no Brasil, como a Allis-Chalmers, Massey Ferguson, John Deere, Caterpillar e Fiat. Todas sendo montadoras de tratores, máquinas e implementos importados (ANFAVEA, 2017).

No Brasil, segundo Vegro (1997) até 1960, a demanda nacional de tratores era suprida por meio de importações dos países desenvolvidos, onde a indústria já era consolidada.

Após 1960, havia necessidade de se aumentar a produção e a produtividade agrícola do país, tanto para consumo interno como para aumento das exportações, grandes responsáveis pela geração de divisas. Nessa época, o setor de tratores passou a ser protegido por políticas cambiais e fiscais que ofereciam vantagens comparativas em relação aos similares importados (Vegro et al., 1997).

A indústria de tratores agrícolas surgiu no Brasil com o desenvolvimento da política de substituição de importações. Antes disso, praticamente não havia indústria. Diante do surto de industrialização que ocorria no país ao final dos anos 1950, presenciava-se o êxodo rural. Esse êxodo era necessário para o desenvolvimento da indústria e conseqüente ampliação do mercado interno. Nos estados Unidos, esse problema foi resolvido através da mecanização do campo. Havia então, no Brasil, a necessidade de mecanizar a agricultura, para aumentar a produtividade e sua área cultivada, liberando mão de obra para a indústria (Sobral, 2010).

Ainda segundo Sobral (2010), além desse fator, havia também questões de ordem técnica, relacionadas à falta de peças para reposição e a falta de assistência técnica para os tratores importados, que eram de uma grande variedade de marcas. Na concepção do governo da época, de Juscelino Kubitschek, a indústria de tratores seria a última etapa do desenvolvimento da indústria automobilística.

Diante desses argumentos, havia um consenso de que era preciso um setor nacional de tratores e outras máquinas agrícolas para baratear os custos da agricultura, aumentando a competitividade do setor. Não obstante, o

nascimento da produção nacional de tratores se deu após a viabilização da produção de motores Diesel no país, sendo a primeira fundição de um bloco de motor diesel feito pela Sofunge, em 1955 e o primeiro trator nacional construído em 1960, pela Ford, sendo seguida pela Valtra e pela New Holland. E em 1961 a Massey Ferguson lança um trator com o maior índice de nacionalização da época (Vian, 2009).

Dessa forma, o fortalecimento da agricultura ocorreu a partir da década de 50, com a adoção de inovações tecnológicas (Avila et al., 2015) e de políticas públicas. Baricelo e Bacha (2013) relatam que foi no período da Segunda Guerra Mundial que a mecanização da agropecuária teve maior impulso, dado que em tal período o Brasil foi fornecedor de matérias-primas e alimentos para os países que combatiam. Dessa forma, havia a necessidade de aumento da produtividade da agropecuária, o que foi conseguido por meio de inovações tecnológicas, como seleção de melhores sementes, uso de fertilizantes e inseticidas, e expansão do uso de máquinas e implementos agrícolas.

Dentre as inovações tecnológicas, o maquinário agrícola ocupa importante destaque na modernização agrícola brasileira. A crescente demanda por alimentos e a conseqüente necessidade de máxima produtividade na agricultura, impulsionaram o uso de máquinas agrícolas, especialmente de tratores, possibilitando uma produção e uso mais eficientes de recursos energéticos, associados tanto ao menor impacto ambiental quanto à melhoria das condições de trabalho dos operadores (Day et al., 2009, Korsching, 2001).

O trator assume, dessa forma, o papel central nas operações agrícolas, sendo caracterizado como a principal fonte de potência, especialmente nas operações que requerem força, tração e suporte (Rinaldi et al., 2016), sendo a máquina mais importante e difundida na agricultura (Iftikhar e Pedersen, 2011).

As tendências atuais de mercado são a maior potência e a automação das máquinas, permitindo melhor eficiência, maiores ganhos e redução de custos (Sarti et al., 2009). As empresas buscam cada vez mais a diferenciação pela qualidade e por potência.

### **1.2.3 Mecanização em Citros**

As primeiras plantas cítricas foram introduzidas no Brasil pelos portugueses, que trouxeram as mudas da Espanha, logo no início da colonização (Neves et al., 2006).

A expansão e popularização dos citros ocorreu em meados do século XIX, paralelo à expansão do café para o interior de São Paulo, ocupando pequenas propriedades rurais em cidades como: Taubaté, Jacareí, Sorocaba, Campinas, Piracicaba, entre outras. Em função da decadência do café, ocasionada por geadas, preços, entre outros, a laranja ocupou este espaço, sendo que a rota citrícola do estado de São Paulo pode ser comparada a rota do café. Outros fatores associam-se a essa expansão: apoio governamental, níveis de preços, condições edafoclimáticas (Fernandes, 2010).

Segundo o mesmo autor, a citricultura assume papel relevante a partir dos anos 1960, junto à industrialização do setor, passando por diversas crises econômicas de 1960 até hoje.

Por ser uma cultura suscetível às mudanças climáticas, pragas e doenças e que estas afetam as frutas, essas situações interferem na produção, preço de mercado e, conseqüentemente, em todo o andamento da atividade (Neves et al., 2010).

Por apresentar grande relevância econômica, diversos órgãos de pesquisa e empresas privadas estimularam inúmeras pesquisas no sentido de aprimorar as técnicas de produção na cultura e que vão desde o plantio até a colheita das frutas. De forma geral, a evolução das técnicas tende a reduzir os gastos com mão de obra e aumentar o emprego de capital em máquinas e implementos agrícolas, aumentando a competitividade do setor (Amaro et al., 2001; Baptistella et al., 2008; Amaro, 2014).

Em função disso, as empresas têm buscado inovações nos processos de produção (Baptistella et al., 2008). Na área agrícola, grande parte dos custos de produção está envolvida na mecanização das operações agrícolas, portanto, ferramentas que possibilitam redução de custos têm sido amplamente pesquisadas, difundidas e colocadas em prática por parte das empresas.

A utilização do trator dentro da propriedade agrícola é muito diversificada, e a busca otimizada de seu desempenho se justifica, principalmente, quando se leva em conta que o tráfego excessivo de máquinas pesadas pode provocar compactação do solo como também aumento no consumo de energia (Vale, 2011).

A crescente utilização de máquinas e implementos agrícolas nas operações de plantio, distribuição de fertilizantes e de calcário e na aplicação de defensivos, propiciou um grande avanço tecnológico na citricultura paulista (Amaro et al., 2001).

Dessa forma, a citricultura paulista apresentou notável desenvolvimento devido a adoção de novas tecnologias na condução dos pomares (Mascarin, 2006) e a crescente utilização de máquinas e implementos agrícolas nas operações do setor.

#### **1.2.4 Equilíbrio operacional e consumo de combustível**

O consumo de combustível para o trator em movimento depende da potência de tração e da perda de energia (Peça et al., 2010). O consumo de energia dos tratores está associado à interação pneu-solo, que causa deflexão do pneu e deformação do solo. Estudos indicam que 20 a 55% da potência disponível do trator é perdida devido ao processo de interação entre os fatores pneu e superfície do solo, causando deslizamento e resistência ao rolamento (Taghavifar e Mardani, 2014; Šmerda e Čupera, 2010). Essa perda de potência, além de estar associada ao consumo de combustível, corrobora para o aumento da compactação do solo, causando sérios prejuízos para a produção agrícola (Grečenko e Prikner, 2014, Patel e Mani, 2011).

A velocidade comum de um trator durante a operação de campo varia de 3 a 15 km h<sup>-1</sup>, sendo que nesta faixa de velocidade obtém-se os maiores valores do deslizamento da roda. Dessa forma, devem ser feitas ações para reduzir o deslizamento do pneu, trazendo maior eficiência de tração. Existem duas maneiras básicas para se reduzir esse deslizamento. A primeira está no aumento

da massa do trator adicionando lastro e, a segunda é ampliar a área de contato entre pneus e superfície (Šmerda e Čupera, 2010).

A massa total do trator afeta, além da compactação, a vida útil da transmissão, dos pneus, segurança e estabilidade do trator. A forma como a massa é distribuída entre os eixos exerce influência no desempenho do trator (Serrano et al, 2009). Em excesso, há desperdício de combustível devido ao aumento da resistência ao rolamento e aumento do desgaste do pneu e a compactação do solo. Em falta, ocorre o desperdício de combustível por deslizamento excessivo de pneus e desgaste prematuro dos pneus (Casady, 1997).

Gupta (2019), sugere que o trator deve ser mantido entre 10 a 15% de patinagem de roda para um melhor desempenho de tração. Patinagem baixa (menos de 5 a 7%) é indesejável, pois a eficiência de tração diminui e a energia é desperdiçada pelo contato pneu-solo, elevando o consumo de combustível e a compactação do solo. Patinagem acima de 20% resulta em rotação excessiva do pneu, o que é improdutivo.

Estudos indicam que o deslizamento em solo macio e solto não deve exceder 15 a 16%, enquanto solo duro e não solto 10% (Battiato e Diserens, 2013, Grečenko, 2010, Lacour et al., 2014). Deslizamento acima de 15% leva compactação, perda de desempenho e aumento do consumo de combustível (Moitzi et al., 2013). Deslizamento entre 6 a 7% indica que o trator é muito pesado para o trabalho, dessa forma ocorre o aumento do consumo de combustível, a deformação e compressão do solo. Janulevičius et al. (2018) relata que trabalhos nesta condição eleva em até 15% o consumo de combustível.

Algumas pesquisas indicam que tratores que trabalham exclusivamente em área agrícola são mais econômicos e eficientes quando o deslizamento situa-se na faixa de 7 a 12% (Battiato e Diserens, 2013, Moitzi et al., 2013, Serrano et al., 2009).

A adoção do lastro melhora a aderência com o solo, embora aumente a resistência ao rolamento e à compactação causada ao solo (Nam et al., 2010, Taghavifar e Mardani, 2013). As massas de lastro devem ser selecionadas com a relação ideal entre perda de tração, resistência ao rolamento e deslizamento, levando em conta as características do solo a ser trabalhado (Grečenko e Prikner, 2014).

O uso racional de lastro possibilita alcançar maior eficiência operacional do trator, reduzindo as perdas de energia pela resistência a rolagem, reduz perdas de tração, deslizamento e consumo de combustível (Damanauskas e Janulevičius, 2015, Taghavifar e Mardani, 2013).

### **1.2.5 Ergonomia e Segurança**

Nos últimos anos, percebe-se que, no desenvolvimento de máquinas agrícolas, fatores que envolvem conforto e segurança passaram a incorporar parte da concepção do projeto e que critérios ergonômicos têm sido aplicados para atender a uma melhor concepção do design do produto final.

O elevado custo das máquinas agrícolas, bem como o alto valor da mão de obra têm corroborado para que as empresas adotem esses fatores prezando por uma maior produtividade de seus funcionários, que resultará em maiores capacidades operacionais ao longo do tempo (Vian et al., 2013; Bochtis et al., 2019).

Embora existam muitos avanços na automação dos processos, os operadores humanos têm papel essencial na maioria dos sistemas de produção, devido à sua flexibilidade e adaptabilidade. Os seres humanos, no trabalho, correm o risco de se machucar, se empregarem uma postura de trabalho cíclica, contínua, forte ou constrangedora. Atualmente, os distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORT) são os problemas de saúde ocupacional mais comuns nos países desenvolvidos e em desenvolvimento (Bernard et al., 1997; Possebom et al., 2018), devido às más condições de trabalho e à ausência de programas eficazes de prevenção de lesões no trabalho. O risco de distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho pode ser reduzido com a aplicação dos princípios de ergonomia.

A aplicação de princípios ergonômicos no local de trabalho pode resultar em uma alta taxa de produtividade, melhoria da qualidade do trabalho, melhor saúde e segurança dos trabalhadores, menores reivindicações de remuneração dos trabalhadores, conformidade com as regulamentações governamentais, melhor satisfação no trabalho, baixa taxa de rotatividade de funcionários, moral aprimorada de trabalhadores, baixa taxa de absenteísmo.

Essa mudança desencadeou o início da preocupação com os aspectos ergonômicos dos tratores, dando ênfase na segurança ocupacional e no conforto dos operadores (Vian et al., 2013).

Embora aspectos ergonômicos começassem a fazer parte da cultura empresa, alguns pesquisadores como Breedveld (2005) e Jensen (2002) consideram que a ergonomia tem entrado tardiamente no processo de design dos produtos, gerando preocupações. Estudos realizados anteriormente em tratores agrícolas focavam em maximizar a eficiência ao custo do fator humano. No entanto, padrões cada vez mais rigorosos de segurança no trabalho levaram a um interesse em elevar o conforto ergonômico e a segurança do operador (Alves et al., 2011).

Essa consideração ergonômica no estágio de desenvolvimento de novos produtos tem sido uma importante estratégia para melhorar a eficiência, prevenindo lesões e doenças relacionadas ao trabalho entre os funcionários. A ergonomia pode apoiar as empresas a permanecerem competitivas (Dul e Neumann, 2009), embora seja experimentada como uma atividade dispendiosa e seu potencial é subexplorado, especialmente em países em desenvolvimento (Dul et al., 2012; Asadzadeh et al., 2013).

O desempenho ergonômico das cabines de tratores é de grande importância na agricultura e as demandas mais altas por conforto de condução são feitas pelos operadores de tratores (Li et al., 2019)

A postura de operar é amplamente definida como a postura adotada por um operador para executar uma tarefa enquanto manipula um veículo ou uma ferramenta mecânica. Isso afeta significativamente o conforto ao dirigir e a disposição do espaço na cabine (Lai et al., 2013).

Os tratores agrícolas evoluíram nos últimos anos, destacando as melhores considerações ergonômicas no projeto da estação do operador, que contribuíram substancialmente para a melhoria do conforto e segurança do operador, mas existem poucos estudos sobre avaliação de parâmetros e implicações na saúde ocupacional (Antonucci et al., 2012; Cunha et al., 2012).

A principal preocupação ergonômica é para o operador; entende-se que o aumento da produtividade e a melhoria da qualidade do produto são resultado de uma interação satisfatória entre o funcionário e o sistema de produção (Filip e Candale, 2012).

### 1.3 Referências

AGROFIT, (2008) Disponível em:<[http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)>. Acesso em: 20 de jun de 2020.

ANFAVEA. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (2017) Guia MAR-1: Tudo o que você deve saber. Disponível em: [http://www.anfavea.com.br/docs/cartilha\\_mar-1.pdf](http://www.anfavea.com.br/docs/cartilha_mar-1.pdf). Acesso: 17-julho-2020

Alves ADS, Costa FRL, Cortez JW, Dantas ACS, Nagahama HJ (2011) Níveis de potência sonora emitidos por trator agrícola em condições estáticas e dinâmicas. **Pesquisa Agropecuária Tropical** 41:110-119. <http://dx.doi.org/10.5216/pat.v41i1.9741>.

Amaro AA, Vicente MCM, Baptistella CSL (2001) **Citricultura paulista: Tecnologia e mão de obra** 22:1-37. Laranja, Cordeirópolis.

Amaro AA (2014) Produção de Laranja: agronegócio em perigo. Instituto de Economia Agrícola (IEA). Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=13454>>. Acesso em: 01 set. 2020.

Andrade DJ, Ferreira MC, Martinelli NM (2014) Aspectos da Fitossanidade em Citros. São Paulo: Cultura Acadêmica. 265 p.

Antonucci A, Siciliano E, Ladiana D, Boscolo P, Di Sivo M (2012) Perception of occupational risk by rural workers in an area of central Italy. **Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents** 26:439-445.

Asadzadeh SM, Azadeh A, Negahban A, Sotoudeh A (2013) Assessment and improvement of integrated HSE and macro-ergonomics factors by fuzzy cognitive maps: the case of a large gas refinery. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries** 26:1015-1026. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2013.03.007>

Avila DF, Griebeler MPD, Brum AL (2015) Inovação: a Modernização da Agricultura no Planalto Gaúcho (Brasil). **UNOPAR Científica. Ciências Jurídicas e Empresariais** 16:156-164. <https://doi.org/10.17921/2448-2129.2015v16n2p156-164>

Bacha CJC (2012) **Economia e política agrícola no Brasil**. 2. ed. São Paulo: Atlas, p. 264-266.

Baptistella CSL, Fredo CE, Olivette MPA, Vicente MCM, Francisco VLFS (2008) Técnicas e ocupação de mão de obra na cultura da laranja no estado de São Paulo. **Informações Econômicas** 38:73-81.

Baricelo LG, Bacha CJC (2013) Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil. **Revista de Política Agrícola** 22:67-83.

Battiato A, Diserens E (2013) Influence of tyre inflation pressure and wheel load on the traction performance of a 65 kW MFWD tractor on a cohesive soil. **Journal of Agricultural Science** 5:197-215. <https://doi.org/10.5539/jas.v5n8p197>

Bashford LL, Woerman GR, Shropshire GJ (1985). Front wheel assist tractor performance in two and four-wheel drive modes. **Transactions of the ASAE** 28:23-29.

Bassanezi RB, Gimenes-Fernandes N, Yamamoto PT (2003) Morte súbita dos citros. **Boletim Citrícola**. 24, 54 p.

Bassanezi RB, Silva Junior GS, Feichtenberger E, Belasque Junior J, Behlau F, Wulff NA (2016) Doenças dos citros. In: Amorim, L., Rezende, J.A.M., Bergamin Filho, A., Camargo, L.E.A. (Eds.). **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 5. ed. Ouro Fino: Agronômica Ceres, p. 271-306.

Bernard BP (1997) Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors - A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back. Cincinnati:NIOSH, 590 p.

Bochtis D, Sørensen CAG, Kateris D (2019) Advances and Future Trends in Agricultural Machinery and Management. In.: Bochtis D, Sørensen CAG, Kateris D (Eds.) **Operations Management in Agriculture**. Academic Press, p.197-208. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809786-1.00009-6>.

Bové, J.M (2006) Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. **Journal of Plant Pathology** 88:7-37. <http://dx.doi.org/10.4454/jpp.v88i1.828>

Breedveld P, Dul J (2005) The Position and Success of Certified European Ergonomists. Rotterdam: RSM Erasmus University, 22 p.

Casady WW (1997) Tractor Tire and Ballast Management. Agricultural MU Guide – University of Missouri Extension. Disponível em <<https://extensiondata.missouri.edu/pub/pdf/agguides/agengin/q01235.pdf>> Acesso em: 05 set. 2020.

CEPEA. Centro de estudos avançados em economia aplicada (2018) **PIB do agronegócio**. Piracicaba: ESALQ/USP. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

Cunha JPAR, Duarte MAV, Souza CMA (2012) Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **Idesia** 30:25-34. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292012000100004>.

Damanauskas V, Janulevicius A (2015) Differences in tractor performance parameters between single-wheel 4wd and dual-wheel 2wd driving systems. **Journal of Terramechanics** 60:63-73. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2015.06.001>

Day B, Field L, Jarvis A (2009) **Agriculture engineering**. Biosystems Engineering 103:36-47.

Della Vechia JF (2017) **Interação entre produtos fitossanitários no manejo de *brevipalpus yothersi* e *diaphorina citri* na cultura dos citros**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Dul J, Neumann WP (2009) Ergonomic contributions to company strategies. **Applied Ergonomics**. 40:745-752. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.07.001>

Dul J, Bruder R, Buckle P, Carayon P, Falzon P, Marras WS, Wilson JR, Doelen B van der (2012) A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. **Ergonomics** 55:377-395 <https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>

EC. European Commission (2004) The magnitude and spectrum of farm injuries in the european union countries. Athens, Greec. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/health/ph\\_projects/2002/injury/fp\\_injury\\_2002\\_exs\\_02\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2002/injury/fp_injury_2002_exs_02_en.pdf)> Acesso em: 03 jun 20

European Agency for Safety and Health at Work (2005) Expert forecast on emerging physical risks related to occupational safety and health Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 77p. Disponível em:

<<https://osha.europa.eu/en/publications/report-expert-forecast-emerging-physical-risks-related-occupational-safety-and-health>>. Acesso em: 03 jun 20

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2020) Sustainable Agricultural Mechanization. Disponível em: <<http://www.fao.org/sustainable-agricultural-mechanization/en/>> Acesso em: 24 set. 2020.

Fernandes BC (2010) **Desenvolvimento histórico da citricultura**. 49 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Unesp, Araraquara.

Filip N, Candale L (2012) Researches regarding the noise conversion from tractor engine in order to reduce the intake manifold noise. **Actual Tasks on Agricultural Engineering**, 40:141-147. <https://doi.org/10.4271/2013-26-0103>

Fonseca MDGD (1990) **Concorrência e progresso técnico na indústria de máquinas para agricultura: um estudo sobre trajetórias tecnológicas**. 268 f. (Doutorado em Economia) - UNICAMP, Campinas.

FUNDECITRUS. Fundo de Defesa da Citricultura (2016) Inventário de árvores e estimativa de safra de laranja 2016/17 do cinturão citrícola de São Paulo e triângulo/sudoeste mineiro. Disponível em: <[https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes\\_relatorios/](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/)>. Acesso em: 16 jun 2020.

FUNDECITRUS. Fundo de Defesa da Citricultura (2017) Safra maior, frutos menores. **Revista Citricultor** 42:8-12.

Goering CE (1992). Engine and tractor power. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 92 p.

Grečenko A, Prikner P (2014) Tire rating based on soil compaction capacity. **Journal of Terramechanics** 52:77-92. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.08.001>

Grečenko A (2010) Thrust and slip of a low-pressure tire on compressible ground by the compression-sliding approach. **Journal of Terramechanics**, 47: 249-259. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2010.01.001>

Gottwald TR, Da Graça JV, Bassanezi RB (2007) Citrus huanglongbing: the pathogen and its impact. **Plant Health Progress**. <https://doi.org/10.1094/PHP-2007-0906-01-RV>

Gu Y, Kushwaha RL (1994) Dynamic load distribution and tractive performance of a model tractor. **Journal of Terramechanics**, 31:21-39. [https://doi.org/10.1016/0022-4898\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0022-4898(94)90030-2)

Gupta C, Tewari VK, Kumar AA, Shrivastava P (2019) Automatic tractor slip-draft embedded control system. **Computers and Electronics in Agriculture**. 165:104947. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104947>

Hoy D, Brooks P, Blyth F, Buchbinder R (2010) The epidemiology of low back pain. **Best Practice & Research Clinical Rheumatology** 24:769–781. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2010.10.002>

HAS. Health and Safety Authority (2013) Farm safety action plan. 2013 e 2015. Dublin: **The Metropolitan Building 2013**. 32 p. ISBN 978-1-84496-186-3.e

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019) Levantamento Sistemático da Produção Agrícola Estatística da Produção Agrícola, 95 p.

Iftikhar N, Pedersen TB (2011) Flexible exchange of farming device data. **Computers and Electronics in Agriculture** 75:52-63. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.010>

Janulevičius A, Damanauskas V, Pupinis G (2018) Effect of variations in front wheels driving lead on performance of a farm tractor with mechanical front-wheel-drive. **Journal of Terramechanics** 77:23-30. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.02.002>

Jensen PL (2002) Human factors and ergonomics in the planning of production. **International Journal of Industrial Ergonomics** 29:121-131. [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00056-7)

Kotler P, Armstrong G (2015) **Princípios de Marketing** (15 ed.) São Paulo: Pearson. 780 p.

Korsching PF (2001) New technologies for rural America: boon or bane? **Technology in Society** 23:73-77

Lacour S, Burgun C, Perilhon C, Descombes G, Doyen V (2014) A model to assess tractor operational efficiency from bench test data. **Journal of Terramechanics** 54:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2014.04.001>

Lai CH, Yang F, Nie X (2013) Research on vehicle driving posture based on comfort. **Enterprise Science and Technology and Development**. 16:15-17

Li H, Zhao D, Ma X, Jin X (2019) Predictive model of tractor driving posture considering front and rear view. **Biosystems Engineering** 185:64-75. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.03.010>

Litchfield MH (1999) Agricultural work related injury and ill-health and the economic cost. **Environmental Science and Pollution Research** 6:75–182. <https://10.1007/BF02987623>

Mascarin LS (2006) **Caracterização de sistemas de colheita e desenvolvimento de técnica para a obtenção de mapas de produtividade para citros**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba.

Molari G, Mattetti M, Walker M (2015) Field performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks on a low trafficable soil. **Journal of Agricultural Engineering** 46:162-166. <https://doi.org/10.4081/jae.2015.477>

Moitzi G, Haas M, Wagenristl H, Boxberger J, Gronauer A (2013) Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. **Soil and Tillage Research** 134:56-60. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.07.006>

Nam JS, Park YJ, Kim KU (2010) Determination of rating cone index using wheel sinkage and slip. **Journal of Terramechanics** 47:243-248

Neves MF, Jank MS, Lopes FF, Trombin VG (2006) Ações para aumentar a competitividade da cadeia de laranja no Brasil. **Artigo Técnico. Laranja**. 27:213-229.

Neves MF, Trombin VG, Milan P, Lopes FF, Cressoni F, Kalaki R (2010) O retrato da citricultura brasileira. Ribeirão Preto: Markestrat, 138p. Disponível em: <[http://www.citrusbr.com.br/download/Retrato\\_Citricultura\\_Brasileira\\_Marcos\\_FF\\_ava.pdf](http://www.citrusbr.com.br/download/Retrato_Citricultura_Brasileira_Marcos_FF_ava.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2014.

Neves MF, Trombin VG (2017) Anuário da crítica cultura. São Paulo: CitrusBR, 60p. Disponível em: [http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/CitrusBR\\_Anuario\\_2017\\_alta.pdf](http://www.citrusbr.com/download/biblioteca/CitrusBR_Anuario_2017_alta.pdf) >. Acesso em: 06 jun. 2020.

Niels S (2017) Public-private re-alignments: the role of structural economic transformations in spurring the joint international engagement of agribusiness and the Brazilian State. **Política & Sociedade** 15(32): 204-229. <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7984.2016v15n32p204>

Osorio RML, Lima SMV, Sant'anna RL, Castro AMG (2017) Demandas tecnológicas da cadeia produtiva de laranja no Brasil. **Latin American Journal Of Business Management** 8:40-66

Peça JO, Serrano JM, Pinheiro A, Carvalho M, Nunes M, Ribeiro L, Santos F (2010) Speed advice for power efficient drawbar work. **Journal of Terramechanics**. 47:55-61. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2009.07.003>.

Patel SK, Mani I (2011) Effect of multiple passes of tractor with varying normal load on subsoil compaction. **Journal of Terramechanics**. 48:277-284. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2011.06.002>.

Ramos HH, Yanal K, Araújo D, Rocha DSR, Spósito MB, Bassanezi RB (2007) Estado da arte na tecnologia de aplicação em frutíferas - volume de aplicação e diâmetro de gotas. **Summa Phytopathologica** 33:110-112

Possebom, G, Alonço AS, Bellochio SDC, Lopes TG, Carpes DP, Becker RS, Moreira AR, Francetto TR, Rossato FP, Zart BCCR (2018) Comparison of methods for postural assessment in the operation of agricultural machinery. **Journal of Agricultural Science** 10:252-262. <https://doi.org/10.5539/jas.v10n9p252>

Rinaldi PCN, Fernandes HC, Teixeira MM, Cecon PR, Alvarenga CB (2016) Diagnóstico da potência e torque dos tratores agrícolas fabricados e comercializados no Brasil. **Revista Engenharia na Agricultura** 23:246-256. <https://doi.org/10.13083/reveng.v24i3.644>

Sarti F, Sabbatini R, Vian CEF (2009) PROJETO PIB: Perspectivas do Investimento em Mecânica. Projeto PIB, Campinas, n. 7, p. 160. Disponível em: <[http://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/ie\\_ufrj\\_sp07\\_mecanica.pdf](http://www.eco.unicamp.br/neit/images/stories/arquivos/ie_ufrj_sp07_mecanica.pdf)>

Serrano JM, Peça JO, Silva JR, Márquez L (2009) The effect of liquid ballast and tyre inflation pressure on tractor performance, *Biosystems Engineering* 102(1):51-62. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.10.001>.

Silveira JM (2014) Agricultura Brasileira: o papel da inovação tecnológica. In: Buainain AM, Alves E, Silveira JM, Navarro Z (Eds.). *O Mundo rural no Brasil do século 21: A formação de um novo padrão agrário e agrícola*. Brasília: Unicamp/EMBRAPA, p.374-421.

Silva RP, Baricelo LG, Vian CEF (2015) Estoque brasileiro de tratores agrícolas: evolução e estimativas de 1960 a 2016. *Revista de Economia Agrícola* 62:21-34.

Šmerda T, Čupera J (2010) Tire inflation and its influence on drawbar characteristics and performance – Energetic indicators of a tractor set. *Journal of Terramechanics*. 47:395-400. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2010.02.005>.

Sobral GR (2010) **Evolução da indústria de tratores agrícolas no Brasil: estrutura de mercado e competitividade no período 1994-2008**. 2010. 61 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - UFRGS, Porto Alegre.

Stoilov S, Kostadinov GD (2009). Effect of weight distribution on the slip efficiency of a four-wheel-drive skidder. *Biosystems Engineering* 104:486-492. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.08.011>

Taghavifar H, Mardani A (2013) Investigating the velocity, inflation pressure and vertical load on rolling resistance of a radial ply tire. *Journal of Terramechanics* 50:99-106. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2013.01.005>

Taghavifar H, Mardani A (2014) Applying a supervised ANN (artificial neural network) approach to the prognostication of driven wheel energy efficiency indices. *Energy* 68:651-657. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.048>

Vale WG (2011) **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e semeadura**. 217 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - UENF, Campos dos Goytacazes.

Vegro CLR, Ferreira CRPT, Carvalho FC (1997) Indústria brasileira de máquinas agrícolas: evolução e mercado, 1985-1995. Informações Econômicas, SP, v.27, n.1.

Vian CEF (2009) Dinâmica dos investimentos no subsetor de Máquinas Agrícola. In: Sabbatini R (Coord.). **Projeto PIB: Perspectivas de Investimentos em Mecânica**. Campinas: UFRJ/UNICAMP, p. 111-133.

Vian CEF, Andrade Júnior AM (2010) Evolução histórica da indústria de máquinas agrícolas no mundo: origens e tendências. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, **Anais...** Campo Grande: Sober, p. 1-19.

Vian CEF, Andrade Júnior AM, Baricelo LG, Silva RP (2013) Origens, evolução, e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. 51:719-744. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032013000400006>

Zoz FM, Grisso RD (2003) Traction and tractor performance. ASAE distinguished lecture series. Tractor Design N°. 27. St. Joseph: ASAE, 48 p.

## **CAPÍTULO 2 – Equilíbrio operacional em tratores agrícolas para pulverização na cultura do citros**

**RESUMO** - Ações que visam melhorar as variáveis que compõem a cadeia produtiva do citros são importantes, principalmente às que tangem à mecanização e, dentre desta, destaca-se a escolha e adoção de critérios para selecionar tratores agrícolas que possam obter melhor desempenho que satisfaça as necessidades da cultura. A pulverização é uma das atividades agrícolas mecanizadas mais realizadas na cultura de citros, demandando tratores que façam manobras com o menor raio de giro e que possuam eficiência operacional satisfatórias. Dessa forma, objetivou-se com este estudo, avaliar cinco marcas de tratores agrícolas disponíveis no mercado brasileiro, no que tange ao equilíbrio operacional de tratores, visando ao uso na pulverização na cultura de citros. O trabalho foi conduzido em área agrícola, no município de Boa Esperança do Sul – SP (latitude 21°53'42" S, longitude 48°37'59" O). Foram avaliados modelos de cinco marcas de tratores agrícolas de pneus, 4x2 TDA, cabinados, com 66 kW (90 cv) de potência no motor, os quais foram denominados de tratores A, B, C, D e E. As características construtivas dos tratores influenciaram nos resultados. Para a operação em pomares adensados, o trator A apresentou menor largura, menor bitola dianteira e menor vão livre horizontal, além de menor relação massa/potência. Esse trator também atendeu às características de manutenibilidade, raio de giro e avanço dinâmico.

**Palavras-chave:** mecanização agrícola, características dimensionais, características ponderais, manutenibilidade

### **Operational balance in agricultural tractors for spraying in citrus**

**ABSTRACT** - The citrus culture has great relevance in the Brazilian agricultural scenario, especially in the São Paulo state, as it presents an expressive value of production and employment-generating. Actions that aim to improve the variables that make up the production chain are important, especially those related to mechanization and, among this, the choice and adoption of criteria to select agricultural tractors that can obtain better performance that satisfies the needs of the crop stands out. Spraying is one of the most mechanized agricultural activities carried out in citrus cultivation, requiring tractors that perform maneuvers with the smallest turning radius and that have satisfactory operational efficiency. Thus, the objective of this study was to evaluate five brands of agricultural tractors available in the Brazilian market, with regard to: dimensional and weight characteristics; dynamic advance and turning radius, aiming to be used in spraying citrus. The experiment was conducted in an agricultural area, in the municipality of Boa Esperança do Sul - SP (latitude 21°53'42" S, longitude

48°37'59" W). Models of five brands of agricultural tractor of tires, 4x2 FWD, cockpit, with 66 kW (90 hp) of engine power were evaluated, which were called tractors A, B, C, D and E. The constructive characteristics of the tractors influenced the results. For operation in dense orchards, tractor A had smaller width, smaller front track width and smaller horizontal clearance, in addition to lower mass/power ratio. This tractor also met the characteristics of maintainability, turning radius and dynamic advance.

**Keywords:** agricultural mechanization; dimensional characteristics; weight characteristics; maintainability

## 2.1 Introdução

A necessidade da otimização dos recursos, da busca pela eficiência e redução de custos, aliados ao aumento da mecanização agrícola, fizeram com que as empresas fabricantes de tratores agrícolas reduzissem o tempo de lançamentos de novas tecnologias, disponibilizando tratores mais eficientes, confortáveis e seguros, sendo produtos mais duráveis, confiáveis e leves (Kutzbach, 2000).

Legislações trabalhistas que presam pelo conforto, ergonomia e segurança dos operadores, bem como legislações que regulamentam limites cada vez menores de poluentes emitidos pelas máquinas agrícolas têm corroborado para que os fabricantes de tratores agrícolas busquem novas máquinas para atenderem tal demanda. Tais exigências propiciam um investimento de pesquisa e desenvolvimento por parte das empresas para se adequarem, ajustando seus produtos às normas e buscando inovações tecnológicas para serem cada vez mais competitivos.

A inovação tecnológica desempenha um papel importante nos sistemas agrícolas (Ball e Norton, 2002; Coccia, 2005; Coccia, 2009; Ferrari et al., 2013; Pardey et al., 2010; Reece, 1999; Wright, 2012). Técnicas que visam a adoção de práticas agrícolas como fertilizantes, defensivos, sementes geneticamente melhoradas, facilitaram a produção em larga escala (Bochtis et al., 2019). Em função do clima tropical no Brasil, a adoção de tais medidas contribuiu de forma significativa para que o país conseguisse explorar duas, três colheitas por ano (Nóia Junior et al., 2019). Se por um lado houve o aumento da capacidade de produção, por outro houve o aumento da incidência de pragas, doenças, plantas

daninhas, exigindo maior necessidade de controle por pulverização agrícola mecanizada.

A indústria agrícola, em particular, teve avanços excepcionais e aplicação de novas tecnologias, revolucionando a agricultura (Coccia, 2009; Sassenrath et al., 2008). As inovações tecnológicas são amplamente aplicadas aos tratores agrícolas, permitindo a produção e o uso mais eficientes dos recursos energéticos, associados ao menor impacto ambiental e à melhoria das condições de trabalho dos operadores (Day et al., 2009; Korsching, 2001).

De fato, o trator tem um papel central nas operações agrícolas e continua sendo a máquina mais importante e difundida na agricultura (Iftikhar e Pedersen, 2011). O trator agrícola é provido de meios que lhe conferem apoio estável sobre uma superfície horizontal e impenetrável, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica, para movimentar os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas e é, frequentemente, o principal símbolo de status da empresa agrícola (Mialhe, 1980; Cavallo et al., 2017). Além disso, é comum encontrar agricultores individuais fiéis a uma determinada marca (Day et al., 2009).

Obviamente, a tecnologia incorporada em um trator tem influência considerável nos custos de produção e, conseqüentemente, exerce influência no preço final do produto comercializado (Von Pentz, 2011). A demanda por máquinas agrícolas depende fortemente da renda agrícola, que é influenciada por variáveis externas como: política agrícola, ambiente socioeconômico, clima e políticas públicas (Vieweg, 2012).

Outros fatores também contribuem para a maior demanda de máquinas agrícolas, tais como: redução do desgaste do trabalhador, a elevação de sua capacidade produtiva, elevação da qualidade com que as operações são realizadas e a necessidade de completar as tarefas em um menor espaço de tempo (Aguilera et al., 2019).

Desta forma, as características dimensionais e ponderais dos tratores agrícolas são fundamentais para que se possa selecionar adequadamente a máquina mais adequada a realizar o conjunto de operações mecanizadas de determinada cultura.

Diante do pressuposto de que as inovações tecnológicas presentes nos tratores agrícolas visam à otimização do tempo operacional, facilidade de manutenção, maior conforto e segurança ao operador, objetivou-se com este estudo, avaliar modelos de tratores agrícolas disponíveis no mercado brasileiro, de modo a definir qual deles melhor se adequa à utilização na pulverização da cultura de citros, no que tange ao equilíbrio operacional.

## 2.2 Material e Métodos

### 2.2.1 Local do experimento e tratores avaliados

O experimento foi conduzido em área agrícola (Figura 1), localizada no município de Boa Esperança do Sul – SP (latitude 21°53'42" S, longitude 48°37'59" O e altitude de 505 m).



**Figura 1.** Localização experimental.

Foram avaliados cinco modelos de cinco marcas de tratores agrícolas de pneus, 4x2 TDA, cabinados, com 66 kW (90 cv) de potência, os quais foram denominados de tratores A, B, C, D e E. Algumas características dos tratores podem ser observadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características dos tratores quanto à: Potência, Rotação de potência nominal, Reserva de torque, Rotação (nominal) na TDP, Rotação do motor na rotação nominal da TDP, Pneu dianteiro e traseiro.

| Itens  | Trator A | Trator B | Trator C | Trator D | Trator E |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| Potência (cv/kW)                                 | 90/66    | 90/66    | 90/66    | 89/66    | 90/66    |
| Rotação de potência nominal (rpm)                | 2400     | 2400     |          | 2000     | 2200     |
| Reserva de Torque (%)                            | 25       | 26       |          | -        | 33,2     |
| Rotação (nominal) na TDP (rpm)                   | 540      | 540      |          | 540      | 750      |
| Rotação do motor na rotação nominal da TDP (rpm) | 2100     | 1000     |          | 1560     | 2292     |
| Pneu dianteiro                                   | 12.4-24  | 12.4-24  | 12.4-24  | 12.4-24  | 11.2-24  |
| Pneu traseiro                                    | 18.4-30  | 18.4-30  | 18.4-30  | 18.4-30  | 16.9-30  |

As avaliações realizadas foram: características dimensionais e ponderais; manutenibilidade; raio de giro e avanço dinâmico.

### 2.2.2 Características dimensionais e ponderais avaliadas

Quanto às características dimensionais, foram aferidos o ângulo de entrada e ângulo de saída, também denominados de traficabilidade frontal e traseira (Chudakov, 1977), determinados a partir do ângulo de inclinação das tangentes às rodas traçadas a partir dos pontos extremos (dianteiro e traseiro) mais baixos do chassis do trator; largura do trator, medida a partir da distância horizontal entre o ponto mais externo do trator do lado esquerdo ao ponto externo do lado direito, no mesmo plano; bitolas dianteira e traseira do trator, medida de centro a centro dos pneus dianteiros e traseiros, respectivamente, e altura do trator, avaliada pela distância vertical entre o ponto mais baixo ao ponto mais alto do trator.

O vão livre vertical foi obtido por meio da mensuração da distância entre o plano de apoio e o ponto mais baixo da parte central do trator e o vão livre horizontal foi obtido por meio da distância entre dois planos paralelos ao plano longitudinal e tangentes aos pontos mais internos dos rodados, respectivamente.

Para características ponderais, foi aferida a massa do trator (kg), a partir da qual se determinou a relação massa/potência, e o avanço dinâmico dos tratores, obtido através de duas repetições com o trator em movimento a uma velocidade constante em local plano e firme, com e sem tração TDA acionada,

utilizando as recomendações do fabricante do equipamento “Avançometro”, formado por um módulo eletrônico digital microprocessado, dois sensores de roda e chave sinalizadora.

### 2.2.3 Variáveis relativas à manutenibilidade

Quanto às características de manutenibilidade, avaliou-se a abertura do capô pela medição da altura máxima de abertura ( $h$ ) do capô quando aberto (Figura 2a); o comprimento do capô ( $L$ ) do capô, dado pela distância horizontal entre o ponto inferior do capô no plano vertical e o ponto mais extremo do capô, e o ângulo de abertura do capô, definido por meio ângulo ( $\alpha$ ) formado entre a altura de abertura ( $h$ ) e comprimento ( $L$ ).

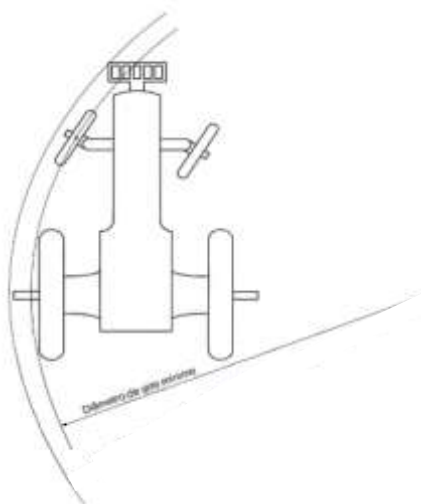
Em seguida foram determinados, a partir de visualização direta, os componentes possíveis de serem vistos com o capô aberto (Figura 2a) e com o capô fechado (Figura 2b).



**Figura 2.** a) Medições para altura de abertura, comprimento e ângulo de abertura do capô e componentes visíveis com capô; b) componentes visíveis com capô fechado.

### 2.2.4 Raio de giro

O raio de giro foi determinado a partir do menor círculo descrito por um ponto da intersecção do plano vertical médio da roda mais externa do trator, com o plano de apoio, em nível, sobre o qual a máquina desloca-se em círculo, com o volante de direção totalmente esterçado à direita ou à esquerda (Figura 3). Para este ensaio empregou-se as normas encontradas na NBR ISO 789-3:2016 (ABNT, 2016), o ensaio foi realizado com o trator em condições de operação (TDA acionada, marcha e rotação de trabalho).



**Figura 3.** Raio de giro.

O Índice de Simetria do raio de giro (ISrg) foi calculado conforme a equação 1 e o valor expresso em percentagem.

$$ISrg(\%) = \frac{(RGE - RGD)}{(RGE + RGD)} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

sendo RGE, o raio de giro a esquerda e, RGD, o raio de giro a direita.

De acordo com o resultado obtido, o ISrg (%) foi classificado em:

| <b>Isrg (%)</b> |           |
|-----------------|-----------|
| Ótimo           | <0,5      |
| Bom             | 0,5 a 1,0 |
| Regular         | 1,1 a 2,0 |
| Deficiente      | >2,0      |

### 2.2.5 Análises estatísticas

Foi realizada a análise multivariada para as variáveis das características dimensionais. Para a aplicação da análise multivariada, o conjunto de dados foi padronizado de modo que cada variável foi mantida com média nula e variância unitária. A análise multivariada foi realizada por meio da análise de componentes principais, que permite condensar a maior quantidade de informação original contida em  $n$  variáveis em  $p$  latentes ortogonais denominadas componentes principais ( $(n = 11$  e  $p = 2$ , neste trabalho), que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (Hair et al., 2005). Assim, o conjunto inicial de oito variáveis (ângulo de entrada, ângulo de saída, altura e largura do trator, bitolas dianteira e traseira, vão livre horizontal e vertical) passou a ser caracterizado por duas variáveis latentes ortogonais, os componentes principais, possibilitando sua representação em figuras bidimensionais (ordenação dos acessos por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retidas pelos componentes principais que mostram autovalores superiores a um (Kaiser, 1958). Autovalores inferiores à unidade não foram considerados relevantes, seguindo o critério de Kaiser.

A análise foi feita a partir dos dados das variáveis originais retidas pelos componentes principais que possuem autovalores maiores que a unidade (Kaiser, 1958). Foram considerados os coeficientes das funções lineares para interpretação, sendo atribuído o peso de cada variável por meio dos coeficientes ( $>|0,7|$ ).

Para as demais variáveis analisadas no trabalho, utilizou-se da composição da média para a comparação dos resultados.

## **2.3 Resultados e Discussão**

### **2.3.1 Análise multivariada das características dimensionais**

A análise multivariada dos componentes principais para as variáveis relacionadas às características dimensionais, permitiu a identificação de dois componentes principais com autovalores maiores que um (4,88 e 3,23 para os componentes 1 e 2, respectivamente). Os componentes principais (CP)

permitem compreender relações entre as características dimensionais e os modelos de tratores. Verificou-se que 81,07% das informações originais foram retidas nos dois componentes (Tabela 2), sendo 48,80% no componente 1 e 32,28% no componente 2.

**Tabela 2.** Autovalores, quantidade de variância explicada, autovetores e coeficientes de correlação dos componentes principais para as variáveis relacionadas às características dimensionais.

| <b>Componentes</b>                 | <b>CP1</b>    | <b>CP2</b>    |
|------------------------------------|---------------|---------------|
| Autovalores                        | 4,88          | 3,23          |
| Variância explicada                | 48,80         | 32,28         |
| Variância acumulada                | 48,80         | 81,07         |
| <b>Correlação (autovetores)</b>    |               |               |
| Comprimento máximo (m)             | -0,31(-0,68)  | 0,34(0,60)    |
| Altura máxima (m)                  | -0,19(-0,42)  | -0,46*(-0,82) |
| Largura máxima (m)                 | 0,41*(0,91)   | -0,06(-0,12)  |
| Bitola dianteira (m)               | 0,40*(0,88)   | 0,17(0,31)    |
| Bitola traseira (m)                | 0,21(0,46)    | -0,47*(-0,84) |
| Vão livre vertical (m)             | -0,41*(-0,90) | 0,01(0,02)    |
| Vão livre horizontal dianteiro (m) | 0,41*(0,90)   | 0,08(0,14)    |
| Vão livre horizontal traseiro (m)  | 0,22(0,50)    | -0,47*(-0,84) |
| Ângulo de entrada                  | -0,29(-0,64)  | -0,36(-0,66)  |
| Ângulo de saída                    | -0,17(-0,38)  | -0,25(-0,46)  |

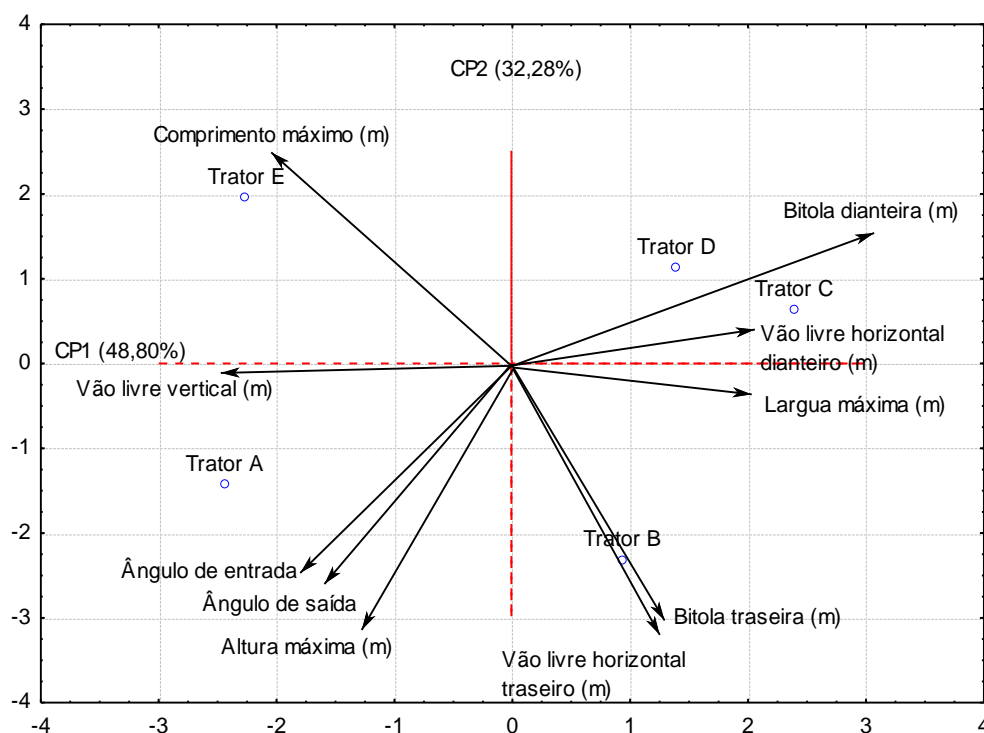
\*Correlação significativa entre as variáveis e os componentes principais.

Houve ação conjunta das variáveis largura máxima, bitola dianteira, vão livre vertical e vão livre horizontal traseiro para o CP1. Para o CP2 observou-se maiores coeficientes de correlação nas variáveis altura máxima, bitola traseira e vão livre horizontal traseiro.

A partir da Figura 4, é possível observar tendência a maior largura máxima (0,91), bitola dianteira (0,88) e vão livre horizontal dianteiro (0,90) nos

tratores B, C e D, localizados à direita. Essas características influenciam na escolha do trator para a lavoura citrícola, uma vez que a redução do espaçamento entre ruas exige tratores mais estreiros e com menores bitolas. Verificou-se maior vão livre vertical (-0,90) nos tratores A e E, localizados à esquerda.

Houve tendência à maior altura máxima (-0,82), bitola traseira (-0,84) e vão livre horizontal traseiro (-0,84) nos tratores B e A, ambos localizados na parte inferior. Destaca-se que a bitola é a adequação do trator ao espaçamento da cultura e implemento.



**Figura 4.** Variáveis relacionadas às características dimensionais.

Ressalta-se para a cultura de citros, a busca por tratores que ocupem uma área menor, mas que possam satisfazer as necessidades das empresas quanto às operações agrícolas mecanizadas. Essa busca por tratores menores, deve-se a mudança no plantio da cultura, com menor espaçamento e maior otimização das áreas com plantas, visando obter uma maior produtividade final.

Nas condições experimentais deste trabalho, o pomar possuía espaçamento entre ruas de 6,8 m (Figura 5a), com espaçamento entre pés de 2,3 m, altura e largura das plantas de 3,7 m e 4,3 m, respectivamente, ocupando um volume de 37 m<sup>3</sup> por planta.

O menor espaçamento de plantio, possibilita o cruzamento dos galhos entre as árvores no meio das ruas dos pomares conforme seu desenvolvimento, dessa forma tratores que possuem como características menor altura, menor comprimento, menor largura e menor bitola dianteira e/ou traseira possam se enquadrar melhor nessa nova realidade dos pomares citrícolas (Figuras 5b e 5c).



**Figura 5.** Vista das condições do pomar: a) espaçamento entre ruas; b) entrada do trator na rua do pomar e, c) vista da rua do pomar com o trator em atividade.

O ângulo de entrada determina o desnível frontal máximo que o trator é capaz de ultrapassar e o ângulo de saída determina a inclinação máxima do talude que pode ser ultrapassado sem que a máquina ou implemento acoplado ao trator toque o solo. Logo, quanto maiores os ângulos, maior a capacidade do trator em superar os obstáculos encontrados. Apesar da correlação do ângulo de entrada ter sido inferior a 0,70 no CP1 (-0,64) e CP2 (-0,66), foi muito próximo a esse, proporcionando uma tendência de maior ângulo de entrada no trator A (inferior à esquerda).

### 2.3.2 Características ponderais

Quanto às características ponderais (Tabela 3), observa-se que os tratores apresentaram variação quanto à massa, sendo o trator C o que possui

a maior massa dentre todos, refletindo na maior relação massa/potência. Esta relação reflete diretamente na capacidade de tração e no desempenho operacional do conjunto trator + implemento, aumentando o consumo de combustível e gerando, durante as operações, quando mal dimensionadas, o chamado “galope” ou power-hop, ocasionando desgaste prematuro dos componentes. Embora tenha sido encontrada esta variação na relação massa/potência, o avanço dinâmico obtido variou entre 1,0% e 4,6%, corroborando com o encontrado por Cassia (2014) na avaliação do avanço dinâmico em tratores utilizados na pulverização de citros. Adicionalmente, os autores comentam que os valores desejáveis para esta variável é de 1 a 5%, sendo os valores de 1,2 a 1,8% considerados ideais.

**Tabela 3.** Características ponderais dos tratores.

| <b>CARACTERÍSTICAS PONDERAIS</b> | <b>Trator A</b>        | <b>Trator B</b>        | <b>Trator C</b>        | <b>Trator D</b>        | <b>Trator E</b>        |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Massa Total                      | 4.050 kg               | 4.740 kg               | 4.920 kg               | 4.510 kg               | 3.890 kg               |
| Relação massa/cv                 | 45 kg cv <sup>-1</sup> | 53 kg cv <sup>-1</sup> | 54 kg cv <sup>-1</sup> | 50 kg cv <sup>-1</sup> | 44 kg cv <sup>-1</sup> |
| Avanço dinâmico                  | 4,63%                  | 1,49%                  | 1,57%                  | 1,31%                  | 1,90%                  |

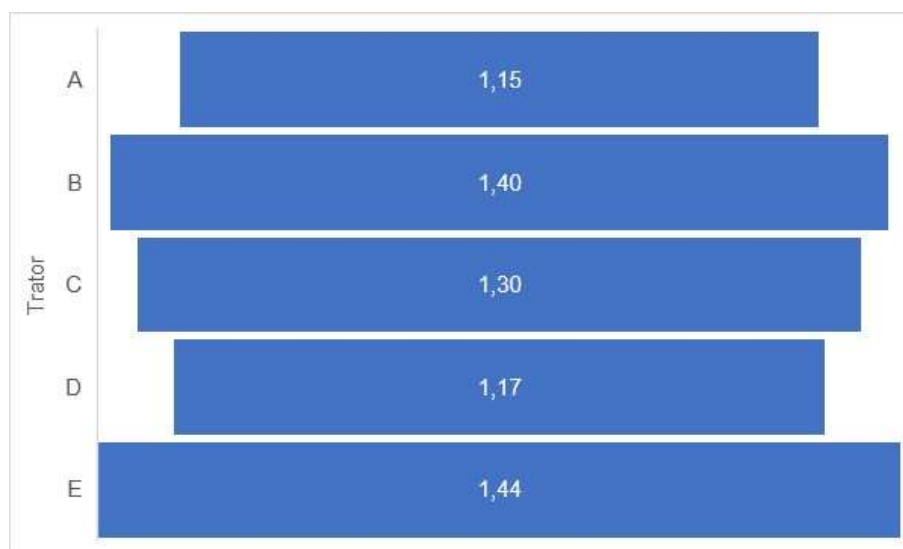
### 2.3.3 Manutenibilidade

Os componentes relacionados aos itens de manutenibilidade são aqueles capazes de serem visualizados com o capô aberto. A possibilidade de verificar itens usuais, que fazem parte da rotina do operador, sem abrir o capô do trator, implica em otimização do tempo quanto às atividades mecanizadas e facilidade de manutenção, sobretudo manutenção preventiva. Logo, quanto mais itens visíveis mais fácil torna-se a operação. Todos os tratores necessitam da abertura do capô para verificar o nível de óleo do motor, os tratores D e C necessitam, também, da abertura para verificar o nível do fluido do radiador. Basicamente, os resultados são bem próximos para esse quesito, tendo a necessidade da abertura do capô para os itens mais usuais.

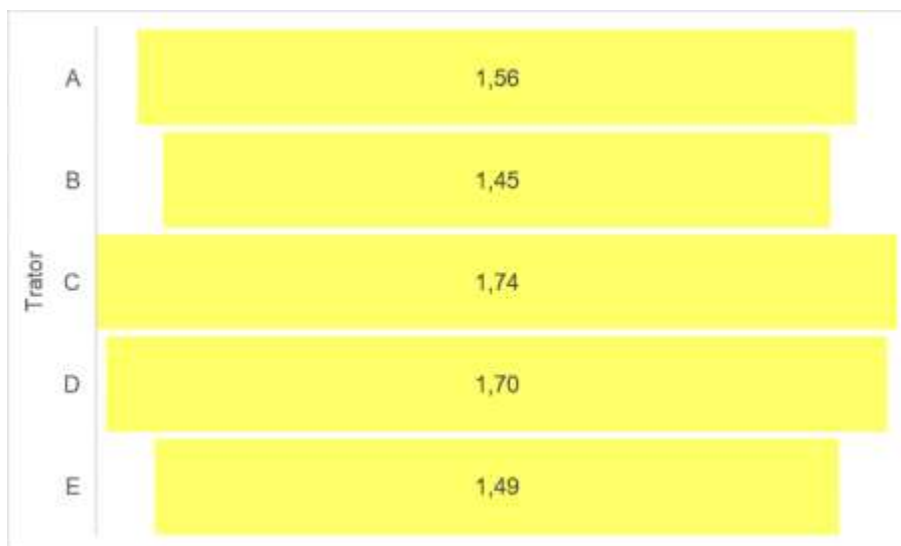
**Tabela 4.** Visualização dos componentes de manutenibilidade com tampa do motor aberto e fechado.

| Trator | Condição | Itens          |                    |                            |
|--------|----------|----------------|--------------------|----------------------------|
| A      | Aberto   | Filtro de ar   | Bateria            | Fluído do radiador         |
|        | Fechado  | Vareta de óleo | Filtro decantador  | Reposição do óleo do motor |
| B      | Aberto   | Filtro de ar   | Bateria            | Fluído do radiador         |
|        | Fechado  | Vareta de óleo | Filtro decantador  | Reposição do óleo do motor |
| C      | Aberto   | Filtro de ar   | Fluído do radiador | -                          |
|        | Fechado  | Vareta de óleo | Filtro decantador  | Reposição do óleo do motor |
| D      | Aberto   | Filtro de ar   | Fluído do radiador | -                          |
|        | Fechado  | Vareta de óleo | Filtro decantador  | Reposição do óleo do motor |
| E      | Aberto   | Filtro de ar   | Fluído do radiador | -                          |
|        | Fechado  | Vareta de óleo | Filtro decantador  | Reposição do óleo do motor |

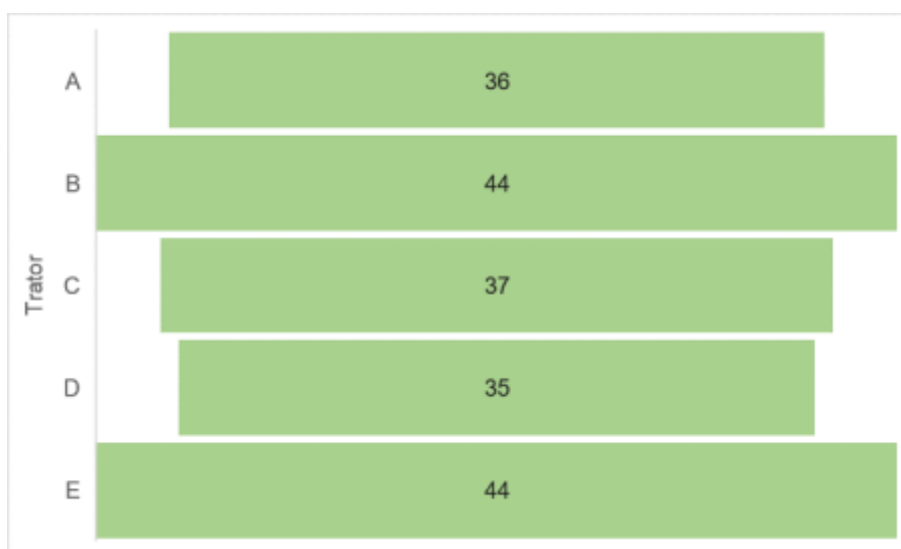
Outros itens relacionados à manutenibilidade, podem ser observados na Figura 6 (a, b, c). Estes itens conferem maior facilidade na manutenção dos componentes do motor, como exemplo tem-se a abertura e comprimento do capô (Figura 6a), quanto maior a abertura e comprimento do capô, melhor a visualização e mais fácil a manutenção.



(a)



(b)



(c)

**Figura 6.** Componentes de manutenibilidade: a) altura máxima do capô aberto (m); b) comprimento do capô (m) e c) ângulo de abertura do capô.

O trator que apresenta maior abertura é o trator E, e o trator D apresenta maior comprimento (Figura 6b). Outro ponto essencial é o ângulo de abertura do capô que facilita o acesso e visualização dos componentes do motor, para esse item o trator que apresentou maior ângulo foram os tratores B e E, respectivamente (Figura 6c).

#### 2.3.4 Raio de giro

O raio de giro é uma característica dimensional que reflete nas características de manobrabilidade.

Recomenda-se que os tratores apresentem o mesmo raio de giro à esquerda e direita, pela Tabela 5 é possível observar que apenas o trator D apresenta tal característica, exigindo a mesma quantidade de espaço para manobrar independente dos lados, o que conferiu sua classificação como ótimo. Os tratores B e E apresentaram classificação deficiente, por apresentar uma diferença significativa no seu raio de giro à esquerda e direita.

**Tabela 5.** Diâmetro de raio de giro (m) dos tratores

| Marca/Modelo | RGE* (m) | RGD* (m) | ISrg* (%) | Classificação |
|--------------|----------|----------|-----------|---------------|
| A            | 6,2      | 6,1      | 1,2       | Regular       |
| B            | 6,5      | 6,0      | 4,0       | Deficiente    |
| C            | 6,8      | 6,9      | 1,3       | Regular       |
| D            | 6,3      | 6,3      | 0,4       | Ótimo         |
| E            | 6,8      | 6,3      | 3,3       | Deficiente    |

RGE: raio de giro a esquerda; RGD: raio de giro a direita; ISrg: Índice de Simetria de raio de giro

## 2.4 Conclusão

Ocorreram diferenças entre os modelos de tratores no que diz respeito as avaliações realizadas neste estudo devido às características construtivas dos tratores.

Para a cultura dos citros, a análise da escolha do trator deve ser de tal forma que atenda aos requisitos dos sistemas de produção dos pomares, ou seja, os tratores devem trabalhar em locais com redução de espaçamento entre ruas, apresentando facilidade de manutenção, menor largura máxima, menor bitola e índice de simetria de raio de giro. Dessa forma, o trator que apresenta condições de trafegabilidade em pomares adensados e que esteja dentro das faixas consideradas boas para manutenção, largura, bitola e raio de giro é o trator A.



## 2.5 Referências

Aguilera E, Guzmán GI, Molina MG, Soto D, Infante-Amate J (2019) From animals to machines. The impact of mechanization on the carbon footprint of traction in Spanish agriculture: 1900–2014. **Journal of Cleaner Production** 221:295-305. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.247>

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) Tratores agrícolas - **Procedimentos de ensaio Parte 3: Diâmetros de giro e do espaço de giro. ABNT NBR ISO 789-3:2016**, 11 p.

Ball VE, Norton GW (2002) Agricultural Productivity: Measurement and Sources of Growth. **Springer Science**. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0851-9>

Bochtis D, Sørensen CAG, Kateris D (2019) 1 - Agricultural Production Through Technological Evolution, Editor(s): Dionysis Bochtis, Claus Aage Grøn Sørensen, Dimitrios Kateris. **Operations Management in Agriculture, Academic Press**, p. 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809786-1.00001-1>

Cassia MT, Silva RP, Vidal DO, Lorevice PG, Compagnon AM (2014) Caracterização dimensional e ponderal de tratores agrícolas para pulverização na cultura do citros. In: XLIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, **Anais...** Campo Grande: CONBEA Disponível em: <<http://conbea14.sbea.org.br/2014/anais/R0450-1.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Cavallo E, Ferrari E, Bollani L, Coccia M (2014) Attitudes and behaviour of adopters of technological innovations in agricultural tractors: A case study in Italian agricultural system. **Agricultural Systems** 130:44-54. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.05.012>

Chudakov, D.A (1977) **Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóviles**. Moscou: Mir, 434p.

Coccia M (2005) Measuring intensity of technological change: the seismic approach. **Technological Forecasting and Social Change** 72:117-144. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2004.01.004>

Coccia M (2009) Measuring the impact of sustainable technological innovation. **International Journal of Technology Intelligence and Planning** 5:276-288. <https://doi.org/10.1504/IJTIP.2009.026749>

Day B, Field L, Jarvis A (2009) Agriculture engineering. **Biosystems Engineering** 103:36-47. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.11.024>

Ferrari E, Bollani L, Coccia M, Cavallo E (2013) Technological Innovations in agricultural tractors: adopters' behaviour towards new technological trajectories and future directions. **Working paper Ceris-CNR** 15:1–32.

Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black W (2005) **Análise multivariada de dados** (5th ed.) Porto Alegre: Bookman, 593 p.

Hard DL, Myers JR (2006) Fatal work-related injuries in the agriculture production sector among young in the United States, 1999–2002. **Journal of Agromedicine** 11:57-65. [https://doi.org/10.1300/J096v11n02\\_09](https://doi.org/10.1300/J096v11n02_09)

Iftikhar N, Pedersen TB (2011) Flexible exchange of farming device data. **Computers Electronics in Agriculture**. 75:52-63. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.010>

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**. 23:187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

Korsching PF (2001) New technologies for rural America: boon or bane? **Technology in Society**. 23:73-77. [https://doi.org/10.1016/S0160-791X\(00\)00036-1](https://doi.org/10.1016/S0160-791X(00)00036-1)

Kutzbach HD (2000) Trends in power and machinery. **Journal of Agricultural Engineering Research** 76: 237-247. <https://doi.org/10.1006/jaer.2000.0574>

Mialhe LG (1980) **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU. 289 p.

Noia Junior RS, Sentelhas PC (2019) Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. **European Journal of Agronomy** 103:140-151. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.12.008>

Pardey PG, Alston JM, Ruttan VW (2010) The economics of innovation and technical change in agriculture. In: Hall BH, Rosenberg N (Eds.) **Handbook of Economics of Innovation** 2. Amsterdam: Elsevier, p. 939-984. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02006-X](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02006-X)

Reece JD (1999) From simple crops to complex ecosystems: agricultural research and the environmental imperative. **Technovation** 19:423-432. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(99\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(99)00027-9)

Sassenrath GF, Heilman P, Luschei E, Bennette E, Fitzgerald G, Klesius P, Tracy W, Williford JR, Zimba PV (2008) Technology, complexity and change in agricultural production systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**. 23:285-295. <https://doi.org/10.1017/S174217050700213X>

Vieweg HG (2012) An introduction to mechanical engineering: study on the competitiveness of EU mechanical engineering industry. European Commission. Disponível em: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/12329/attachments/2/traslations/en/renditions/pdf>>. Acesso em 10 jul. 2020.

Von Pentz M (2011) On our way to a global company. In: 69TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. **Anais...** Hannover: EurAgEng.

Wright BD (2012) Grand missions of agricultural innovation. **Research Policy** 41:1716-1728. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.04.021>

### **CAPÍTULO 3 - Ergonomia e campo visual de tratores agrícolas de pneus utilizados na pulverização de citros**

**RESUMO** - A ergonomia visa estudar o melhor meio de adaptar o trabalho, os instrumentos, comandos, equipamentos e máquinas para o trabalhador, analisando seu ciclo de trabalho, garantindo conforto e segurança, que acarretará em maior eficiência de trabalho e ganhos com menor fadiga e redução de lesões. Objetivou-se com o estudo avaliar a ergonomia de tratores agrícolas de pneus, 4x2 TDA, cabinados, utilizados na pulverização de citros, bem como propor uma metodologia que facilite a classificação dos tratores quanto à disposição dos comandos no interior da cabine. Foram avaliadas quatro marcas de tratores, chamados de trator A, B, C e D em diferentes planos (lateral e superior) avaliando localização dos comandos em áreas de máxima e ótimo acesso; localização dos comandos em áreas de visão ótima e máxima e campo visual do operador (vista superior). Nenhum trator obteve a nota Excelente na distribuição dos comandos. Os tratores A e D apresentaram maior percentual de comandos nas regiões de alcance Ótimo, Muito Bom e Bom. Os tratores B e C apresentaram a maior parte dos comandos na região de alcance Ruim. Todos os tratores apresentaram a maior parte dos comandos nos campos visuais situados nas regiões 1 e 2, campo visual estacionários e dos olhos, respectivamente. A metodologia proposta se mostrou adequada, sendo capaz de demonstrar com critérios técnicos o trator que possui melhor classificação quanto à ergonomia.

**Palavras-chave:** citricultura; segurança; conforto; seleção de máquinas; disposição de comandos

#### **Ergonomics and visual field of agricultural tire tractors used in citrus spraying**

**ABSTRACT** - Ergonomics aims to study the best way to adapt the work, instruments, controls, equipment and machines for the worker, analyzing their work cycle, ensuring comfort and safety, which will result in greater work efficiency and gains with less fatigue and reduction of injuries. The objective of this study was to evaluate the ergonomics of agricultural tire tractors, 4x2 FWD, cockpit, used in the citrus spraying, as well as to propose a methodology that facilitates the classification of tractors as to the layout of the controls inside the cockpit. We evaluated four tractor brands, called tractor A, B, C and D in different planes (side and top), evaluating the location of the controls in areas of maximum and excellent access; location of controls in areas of optimum and maximum vision and visual field of the operator (top view). No tractor received an Excellent score in the distribution of commands. Tractors A and D had the highest percentage of commands in the reach regions of Great, Very Good and Good. Tractors B and C had most of the commands in the Bad reach region. All tractors presented most of the commands in the visual fields located in regions 1 and 2, stationary and eyes visual fields, respectively. The proposed methodology proved

to be adequate, being able to demonstrate with technical criteria the tractor that has the best classification in terms of ergonomics.

**Keywords:** citrus production; safety; comfort; selection of machines; layout of commands

### 3.1 Introdução

O trator é a principal fonte de potência na agricultura, devido à sua capacidade de tração e de fornecer potência aos equipamentos agrícolas (ASAE S390.1, 1994). A natureza das tarefas em um trator exige uma série de ações a serem executadas pelo operador, o que impõe variadas demandas fisiológicas ao corpo. Exemplos dessas tarefas são a direção do trator, olhar para trás para observar e controlar a máquina / implemento, e a força necessária para operar a embreagem, o freio e a alavanca de controle hidráulico.

A tarefa e o local de trabalho determinam as posturas e criam um padrão de carga nas estruturas do corpo do indivíduo. O design inadequado do local de trabalho pode intensificar problemas relacionados à segurança, conforto e, em alguns casos, à saúde (Fathallah et al., 2009; Hsiao et al., 2005; Kumar et al., 2009; Monarca et al., 2009). Estudos indicam que a potência do motor e o serviço a ser realizado determinam o modelo do trator durante a compra (Kuta et al., 2019).

O estudo da ergonomia tem sido aplicado em áreas industriais. Diversos estudos foram realizados para avaliar o desempenho ergonômico de sistema de produtos (Wang et al., 2015; Chander e Cavatorta, 2017; Sonja et al., 2016).

Na agricultura, máquinas e equipamentos são indispensáveis nas fazendas por tornarem o trabalho mais fácil e mais eficiente. Hoje em dia, mal se pode imaginar a agricultura sem um trator ou outra máquina agrícola. A mecanização agrícola, no entanto, envolve um grande número de atividades e que acaba expondo à vida e à saúde das pessoas que usam o equipamento, ocasionando acidentes e doenças associadas a ele. Os trabalhadores do setor agrícola estão expostos a vários fatores de risco, como elevação manual, movimentação de cargas, condução de trator, etc. (Bernard, 1997; Bobick & Myers, 1995; Murphy, 1992; Parton, 1990).

Os métodos de avaliações ergonômicos são variados, podendo ser divididos em auto-relato, observação, simulações virtuais e medições diretas, de acordo com as ferramentas e os meios utilizados (Qiu et al., 2019).

Existem vários registros de projetos ergonômicos bem-sucedidos, principalmente quando há esforço e comprometimento colaborativo, entre pesquisa, empresa e ergonomistas (Hendrick, 1996). Até o início dos anos 2000, a ergonomia entrava no processo de projeto tarde demais, não havendo condição hábil de melhorar (Breedveld e Dul, 2005; Jensen, 2002). Aliado a isso, havia a dificuldade de compreensão por parte de gerentes, tendo a necessidade de a ergonomia atuar na contribuição estratégica para a empresa, incorporando o conceito à organização (Dul e Neumann, 2009).

Diante do pressuposto que tratores diferentes, de 90 cv (66 kW), apresentam diferentes configurações que podem afetar o conforto, dirigibilidade, visibilidade, segurança dos operadores, objetivou-se com este estudo, avaliar a ergonomia de tratores agrícolas de porte médio, de pneus, 4x2 TDA, utilizados na pulverização de citros, bem como propor uma metodologia que facilite a classificação destes tratores quanto à disposição dos comandos no interior da cabine.

### 3.2 Material e métodos

Este trabalho foi desenvolvido em uma propriedade agrícola de citros, localizada no município de Nova Europa – SP, Brasil. Foram realizados testes em quatro tratores agrícolas de pneus, cabinados, 4x2 TDA, os quais foram denominados de tratores<sup>1\*</sup>: A, B, C e D (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características dos tratores A, B, C e D<sup>1\*</sup>.

| Trator | Pot. Nominal Motor | Rot. Potência Nominal | Torque Máx. | Rotação Torque Max | Massa | Dist. entre eixos | Altura | Largura |
|--------|--------------------|-----------------------|-------------|--------------------|-------|-------------------|--------|---------|
|        | kW/cv              | rpm                   | Nm          | rpm                | kg    |                   | mm     |         |
| A      | 66 (90)            | 2400                  | 341         | 1600               | 4140  | 2182              | 2791   | 1454    |
| B      | 66 (90)            | 2400                  | 330         | 1400               | 3630  | --                | 2800   | 1910    |
| C      | 66 (90)            | 2000                  | 347         | 1500               | 4675  | 2250              | 2537   | 1925    |
| D      | 66 (90)            | 2200                  | 393         | 1400               | 3350  | 2375              | 2655   | 1851    |

<sup>1</sup> Dados obtidos a partir dos catálogos das empresas fabricantes.

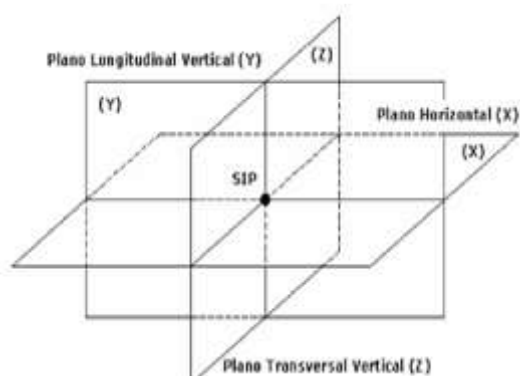
\* As marcas de tratores foram omitidas para não haver conflitos de interesse.

Com as medidas de altura e largura, foi calculada a área interna da cabine.

A avaliação ergonômica foi realizada por meio de medidas obtidas a partir do Seat Index Point (SIP), em português ponto de referência do assento. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1999, norma NBR NM-ISO 5353, o SIP é um ponto situado no plano médio longitudinal central do assento, onde o plano tangencial do encosto intersecciona o plano horizontal (Figura 1a).

Para a determinação do ponto de referência do assento, foi utilizado um dispositivo de madeira, conforme orientações da NBR NM-ISO 5353 (Figura 1b). Para minimizar o atrito entre o dispositivo e o assento das máquinas avaliadas, utilizou-se um tecido de percal e, em seguida, adicionou-se progressivamente massas até se atingir a massa total de 65 kg (Fontana, 2005), o que, somado a massa do SIT, equivale à massa de um operador de 75 kg, valor este considerado como sendo a massa média dos operadores brasileiros, para uma altura de 1,70 m (Fontana, 2005).

Para a determinação ergonômica do projeto interno da cabine, as medidas foram coletadas com o auxílio de um equipamento denominado “dispositivo GF” (Figura 1c), desenvolvido por Fontana (2005). O equipamento é composto por uma base de ferro maciça, que recebe duas hastes reguláveis ligadas por uma junção e, graduadas em centímetros (cm).



a)



b)

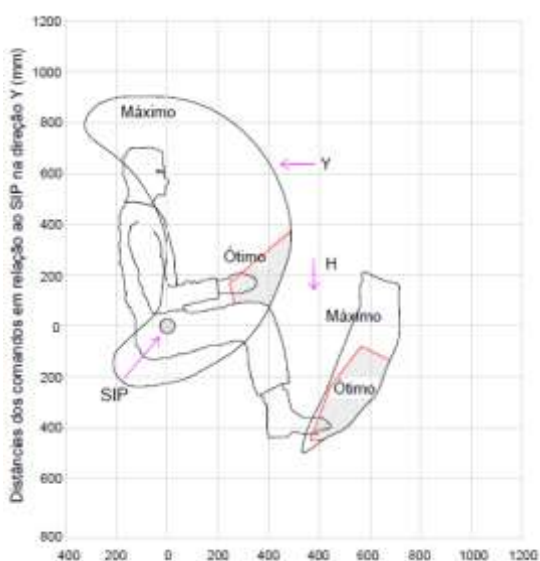


c)

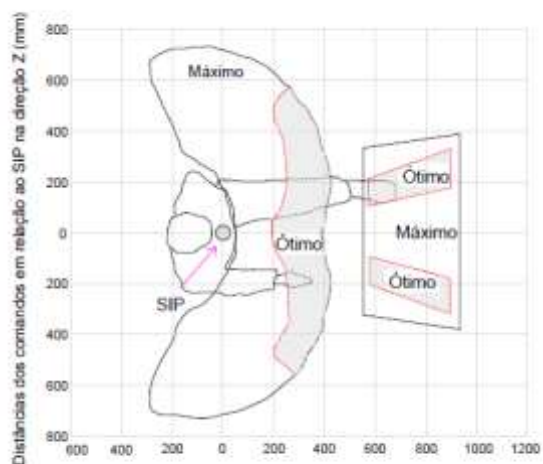
**Figura 1.** a) Planos utilizados como referencial para o levantamento das coordenadas de cada comando de operação; b) Dispositivo de madeira SIP e; c) Dispositivo “GF”.

Uma vez determinado o SIP, o dispositivo “GF” foi posicionado sobre o assoalho da cabine, lateralmente ao banco do operador, por proporcionar maior facilidade na aferição das medidas.

Desta forma, mensurou-se as distâncias do SIP até os órgãos de comandos (Tabela 2), nas três dimensões (x, y e z) que, posteriormente, foram representadas em gráficos utilizando-se plataforma (CAD), contendo as áreas de máximo e ótimo alcance aos comandos (Figura 2), esquematizados de acordo com as características antropométricas de um grupo de operadores brasileiro, classificados com 1,70 m de altura (Fontana, 2005).



a)

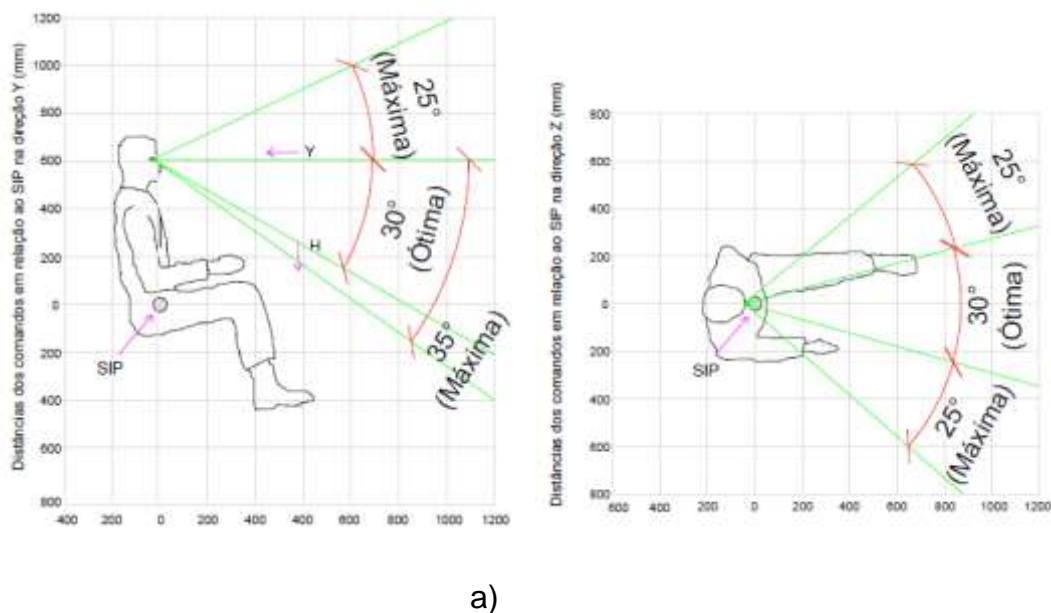


b)

**Figura 2.** Áreas de máxima e ótimo alcance nos planos a) lateral (x, y); b) superior (x, z).

Uma vez posicionados os comandos nos gráficos, avaliou-se a sua distribuição em relação ao campo visual do operador, conforme a metodologia apresentada por Fontana (2005), definindo-se os campos visuais com áreas de ótima e máxima visão dos comandos nas três dimensões (x, y e z), conforme mostrado na Figura 3.

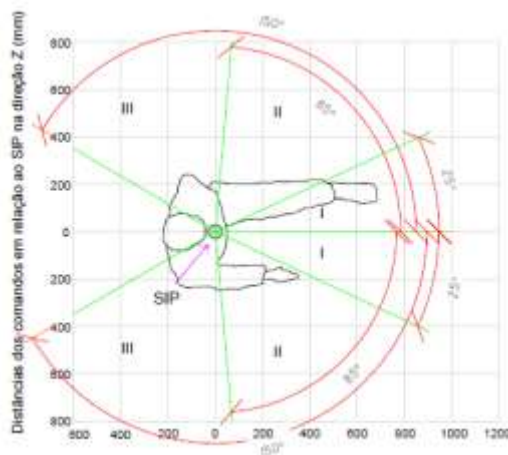
Os comandos são considerados localizados em área de ótima visão quando o operador não necessita movimentar o globo ocular ou a cabeça para visualizar os comandos. Os comandos visualizados apenas com um movimento do globo ocular direcionado na lateral (Figura 3a) ou na horizontal (Figura 3b) é denominado de campo visual máximo.



**Figura 3.** Comandos localizados nas áreas de visão ótima e máxima: a) no plano x, z (vista lateral) e; b) plano x, y (vista superior).

A partir dos resultados encontrados nas análises ergonômicas, nos planos superior e lateral, foi adicionado o campo visual do operador baseado em três regiões (Figura 4). Cada região está associada a um tempo de reação do operador, conforme metodologia de Menezes et al. (1985). São dispostas três faixas, sendo  $+25^{\circ}$  a  $-25^{\circ}$ ;  $+85^{\circ}$  a  $-85^{\circ}$  e  $+150^{\circ}$  a  $-150^{\circ}$ , que representa campo de visão estacionário (região I), campo visual dos olhos (região II) e campo visual

obtido com movimento da cabeça (região III), respectivamente. Quanto maior o ângulo necessário para acionar um comando, maior o tempo de reação necessário para acioná-lo.



**Figura 4.** Campo visual do operador vista superior (x, y): I – campo visual estacionário; II – campo visual dos olhos e III – campo visual obtido com o movimento da cabeça.

No plano x, y (superior) os comandos são considerados em um campo de visão ótimo em ângulos compreendidos entre  $-25^{\circ}$  e  $+25^{\circ}$ . Nesta região, chamada de visão periférica, de acordo com Fontana, (2005), o tempo de reação do operador é rápido. Para ângulos entre  $-25^{\circ}$  a  $-85^{\circ}$  e  $+25^{\circ}$  a  $+85^{\circ}$ , é necessário movimentos dos olhos para complementar a visão periférica, neste sentido, tem-se o campo visual máximo e tempo de reação médio. Já para os ângulos situados entre  $-85^{\circ}$  a  $-150^{\circ}$  e  $+85^{\circ}$  a  $+150^{\circ}$ , o campo visual é obtido com o movimento da cabeça, os comandos localizados são considerados fora das regiões de ótimo e máximo campo visual, com tempo de reações demorado.

Dentre todos os comandos existentes na cabine do operador dos tratores avaliados, foram selecionados para avaliação ergonômica aqueles que após discussão com a equipe de mecanização da fazenda são mais comumente utilizados pelo operador nas operações agrícolas de modo geral (Tabela 2).

**Tabela 2.** Comandos avaliados para levantamento de ergonomia dos tratores.

| Item | Componente  |
|------|---|
| 1    | Acelerador de mão                                 |
| 2    | Alavanca de acionamento TDP Normal                |
| 3    | Alavanca de acionamento TDP-Econômica             |
| 4    | Alavanca deslocamento frente/ré                   |
| 5    | Alavanca seletora de marchas                      |
| 6    | Alavanca seletora de marchas (Alta, Média, Baixa) |
| 7    | Alavanca seletora do grupo de marchas (II) 1 a 3  |
| 8    | Bloqueio diferencial                              |
| 9    | Botão de acionamento - farol (médio)              |
| 10   | Chave de partida                                  |
| 11   | Dispositivo de acionamento do SHTP                |
| 12   | Pedal acelerador                                  |
| 13   | Pedal embreagem                                   |
| 14   | Pedal freio                                       |
| 15   | Setas   |
| 16   | Tração  |
| 17   | Volante   |

Dentre estes comandos, selecionou-se os comandos mais utilizados na pulverização em citros, sendo: Acelerador de mão (1); TDP Normal (2); TDP-econômica (3); alavanca deslocamento frente/ré (4); alavanca seletora do grupo de marchas (II) 1 a 3 (7); pedal do acelerador (12); pedal da embreagem (13); pedal do freio (14) e volante (17). Para esta classificação adotou-se a proposta de Nietiedt et al. (2012), que considera como comando mais utilizados aqueles que são utilizados em intervalos de tempo inferior a cinco minutos.

Para a mensuração dos resultados foi proposta uma metodologia, adotando-se uma combinação das quatro avaliações realizadas (Figura 2 e 3) projetadas na plataforma CAD. A cada avaliação foi atribuída uma classificação de acordo com a disposição dos comandos, nas regiões de alcance, considerando a localização destes comandos nos planos xy e xz (Tab. 3).

**Tabela 3.** Classificação proposta de acordo com a disposição dos comandos utilizados na pulverização, nas regiões de acordo com os planos avaliados.

| Plano Lateral | Plano Superior | Campo visual Lateral | Campo visual Superior | Resultado |
|---------------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------|
| Ótimo         | Ótimo          | Ótimo                | Ótimo                 | Excelente |
| Ótimo         | Ótimo          | Ótimo                | Fora                  | Ótimo     |
| Ótimo         | Ótimo          | Máxima               | Fora                  | Muito bom |
| Ótimo         | Ótimo          | Máxima               | Máxima                | Ótimo     |
| Ótimo         | Ótimo          | Fora                 | Fora                  | Bom       |
| Máxima        | Máxima         | Máxima               | Máxima                | Bom       |
| Ótimo         | Máxima         | Máxima               | Fora                  | Bom       |
| Ótimo         | Máxima         | Máxima               | Máxima                | Bom       |
| Fora          | Fora           | Fora                 | Fora                  | Ruim      |
| Fora          | Fora           | Máxima               | Fora                  | Ruim      |
| Máxima        | Fora           | Ótimo                | Fora                  | Bom       |
| Máxima        | Máxima         | Fora                 | Fora                  | Ruim      |

Assim, comandos localizados na região de ótimo alcance, em qualquer dos planos, receberam nota 5; para aqueles localizados na região de máximo alcance foi atribuída a nota 3, enquanto que os comandos posicionados externamente a essas duas regiões receberam nota 1. A partir desta classificação e pontuação, construiu-se uma matriz de referência exemplificada pela Tabela 4, cujo resultado final apresenta a soma das notas atribuídas a cada comando e a classificação de alcance, variando de ruim a excelente.

**Tabela 4.** Matriz de pontuação proposta de acordo com a disposição dos comandos nas regiões de acordo com os planos avaliados.

| Plano   |          | Campo visual |          | Pontuação | Resultado |
|---------|----------|--------------|----------|-----------|-----------|
| Lateral | Superior | Lateral      | Superior |           |           |
| 5       | 5        | 5            | 5        | 20        | Excelente |
| 5       | 5        | 5            | 3        | 16        | Ótimo     |
| 5       | 5        | 3            | 1        | 14        | Muito bom |
| 5       | 5        | 3            | 3        | 16        | Ótimo     |
| 5       | 5        | 1            | 1        | 12        | Bom       |
| 3       | 3        | 3            | 3        | 12        | Bom       |
| 5       | 3        | 3            | 1        | 12        | Bom       |
| 5       | 3        | 3            | 3        | 14        | Bom       |
| 1       | 1        | 1            | 1        | 4         | Ruim      |
| 1       | 1        | 3            | 1        | 6         | Ruim      |
| 3       | 1        | 5            | 1        | 10        | Bom       |
| 3       | 3        | 1            | 1        | 8         | Ruim      |

A somatória das notas compõe a nota final, sendo realizada pela fórmula abaixo:

$$Nota = P.L. + P.S. + C.V.L. + C.V.S., \text{ onde:} \quad \text{Eq. 2}$$

P.L.: Plano Lateral

P.S.: Plano Superior

C.V.L.: Campo visual Lateral

C.V.S.: Campo visual superior

### 3.3 Resultados e Discussão

Para a área frontal interna da cabine do operador (Tabela 5), observa-se que não houve variação numérica discrepante entre os tratores A, B e C, enquanto que o trator D apresentou área frontal interna menor que os demais (22,5%; 59,2% e 28,6%, respectivamente).

**Tabela 5.** Área frontal interna dos tratores.

| Trator | Altura (m) | Largura (m) | Área frontal da cabine (m <sup>2</sup> ) |
|--------|------------|-------------|--|
| A      | 1,55       | 1,50        | 2.32                                     |
| B      | 1,55       | 1,40        | 2.17                                     |
| C      | 1,56       | 1,50        | 2.34                                     |
| D      | 1,46       | 1,25        | 1.82                                     |

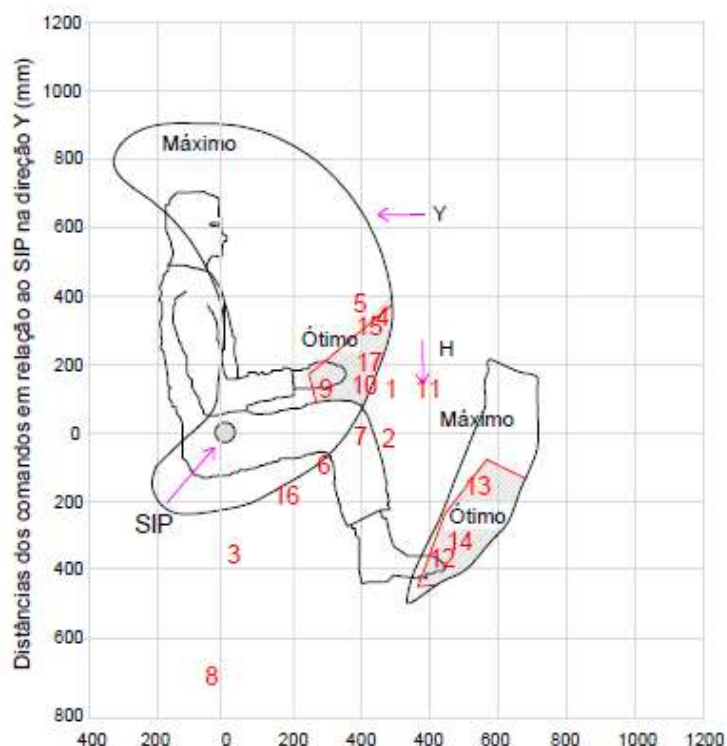
A área interna da cabine é uma medida importante, pensando no conforto que o operador terá ao longo de sua jornada de trabalho. Uma cabine com área interna reduzida implicará em maior desconforto para o operador devido à dificuldade de movimentações internas quando da necessidade de acionamento de algum comando.

De acordo com Peripolli et al. (2017), o trator e operador formam uma unidade produtiva, denominada sistema homem-máquina e, quando este sistema é ineficiente, o operador é exposto a elevada carga física e mental, apresentando menor produtividade e qualidade no seu trabalho, elevando riscos de acidente e doenças ocupacionais. Por outro lado, a menor área frontal da cabine pode ser interessante para operações na cultura de citros, pois devido ao adensamento, menores são os espaçamentos nesta cultura, ocorrendo o risco de quebra de galhos e ramos, bem como de quebrar o vidro do trator.

### 3.3.1 Áreas de máxima e ótimo alcance

A disposição dos comandos em relação ao alcance do operador é apresentada nas Figura 5 a 9 e no material suplementar (Figura 10 a 15).

Para o Trator A, observa-se, que no corte lateral (Figura 5), 58,8% dos comandos estão distribuídos na região de ótimo alcance, 29,4% na região de máximo e 11,8% estão fora destas duas regiões (Tabela 6).



**Figura 5.** Áreas de máxima e ótimo alcance no plano lateral (x, y), para o trator A.

O trator D (Figura 14a), apresentou melhor distribuição dos comandos na região de ótimo, máximo e fora destas duas regiões (37,4%; 31,3% e 31,3%, respectivamente). Já os Tratores B e C (Figura 10a; Figura 12a, respectivamente), apresentaram 17,7% dos comandos na região de ótimo alcance, bem como a maior parte dos comandos fora da região de ótimo e máximo (76,5% e 64,7%, respectivamente).

**Tabela 6.** Valores da disposição dos comandos totais e comandos mais utilizados na pulverização em citros para os Tratores A, B, C e D dentro do critério de ótimo, máximo e fora do critério de ótimo e máximo para os planos analisados.

| Descrição                                       | Critério | Trator A |                          | Trator B |                          | Trator C |                          | Trator D |                          |
|---|----------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|
|   |          | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados |
| %   |          |          |                          |          |                          |          |                          |          |                          |
| Área de máxima e ótimo acesso no plano lateral  | Ótimo    | 58,8%    | 77,8%                    | 17,6%    | 11,1%                    | 17,6%    | 22,2%                    | 37,5%    | 62,5%                    |
|   | Máximo   | 29,4%    | 11,1%                    | 5,9%     | 11,1%                    | 17,6%    | 22,2%                    | 31,3%    | 37,5%                    |
|   | Fora     | 11,8%    | 11,1%                    | 76,5%    | 77,8%                    | 64,7%    | 55,6%                    | 31,3%    | 0,0%                     |
| Área de máxima e ótimo acesso no plano superior | Ótimo    | 47,1%    | 66,7%                    | 17,6%    | 0,0%                     | 0,0%     | 22,2%                    | 31,3%    | 25,0%                    |
|   | Máximo   | 5,9%     | 0,0%                     | 11,8%    | 11,1%                    | 5,9%     | 0,0%                     | 25,0%    | 37,5%                    |
|   | Fora     | 47,1%    | 33,3%                    | 70,6%    | 88,9%                    | 94,1%    | 77,8%                    | 43,8%    | 37,5%                    |
| Área de visão ótima e máxima no plano superior  | Ótimo    | 23,5%    | 44,4%                    | 11,8%    | 11,1%                    | 35,3%    | 44,4%                    | 31,3%    | 25,0%                    |
|   | Máximo   | 47,1%    | 44,4%                    | 47,1%    | 44,4%                    | 29,4%    | 33,3%                    | 0,0%     | 0,0%                     |
|   | Fora     | 29,4%    | 11,1%                    | 41,2%    | 44,4%                    | 35,3%    | 22,2%                    | 68,8%    | 75,0%                    |
| Área de visão ótima e máxima no plano lateral   | Ótimo    | 5,9%     | 0,0%                     | 5,9%     | 0,0%                     | 0,0%     | 0,0%                     | 6,3%     | 12,5%                    |
|   | Máximo   | 5,9%     | 0,0%                     | 5,9%     | 11,1%                    | 5,9%     | 11,1%                    | 12,5%    | 0,0%                     |
|   | Fora     | 88,2%    | 100,0%                   | 88,2%    | 88,9%                    | 94,1%    | 88,9%                    | 81,3%    | 87,5%                    |
| Campo visual do operador na vista superior      | 25°      | 41,2%    | 55,6%                    | 35,3%    | 33,3%                    | 41,2%    | 55,6%                    | 31,3%    | 25,0%                    |
|   | 85°      | 41,2%    | 33,3%                    | 58,8%    | 55,6%                    | 52,9%    | 44,4%                    | 31,3%    | 37,5%                    |
|   | 150°     | 17,6%    | 11,1%                    | 5,9%     | 11,1%                    | 5,9%     | 0,0%                     | 37,5%    | 37,5%                    |

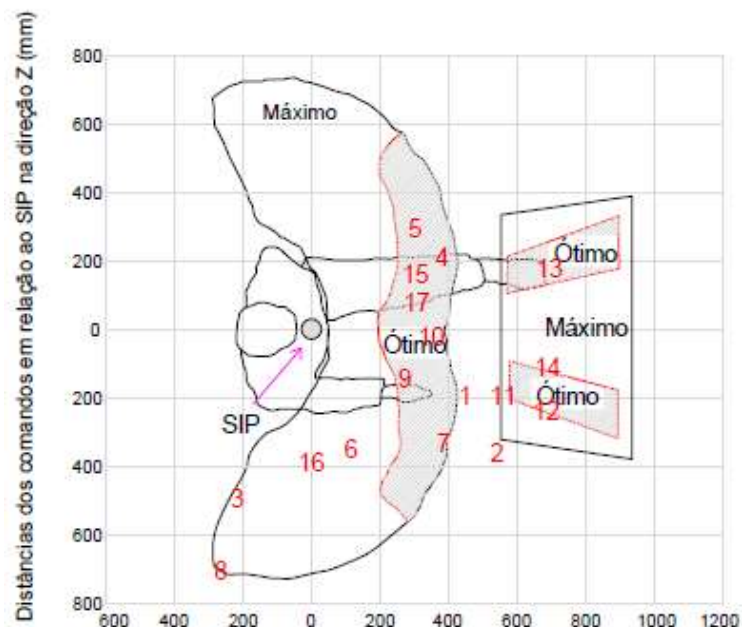
Chamam atenção esses resultados, pois a maior parte dos comandos estão dentro de uma configuração que pode levar à maior fadiga do operador, desviando a atenção ao longo de sua jornada de trabalho, haja vista, que os maiores resultados encontrados se situam na faixa fora do ótimo e de máximo alcance aos comandos.

Comandos que se encontram fora destas regiões promovem ao operador maior fadiga, pois exigem maior atenção para o seu acionamento, o que implica na falta de atenção do operador quanto à direção do trator. As regiões de ótimo e de máximo alcance dos comandos compreendem as áreas de maior atuação por parte do operador com o menor esforço necessário; sendo assim, seria interessante ter nessa região os comandos mais utilizados durante a operação agrícola.

Para os comandos mais utilizados na pulverização em citros, nota-se para o trator A (Figura 5), que a maioria se encontra na área de ótimo e de máximo, sendo 78% e 11%, respectivamente. Apenas 11% dos comandos estão fora dessas regiões, levando o operador a maior fadiga e necessitando de maior atenção ao longo da operação.

Para os comandos mais utilizados na operação de pulverização, 78% dos comandos do Trator B (Figura 10a) e 65% do Trator C (Figura 12a) estão fora da região de ótimo e de máximo acesso, enquanto que o Trator D (Figura 14a) não apresentou nenhum destes comandos fora das regiões de ótimo e máximo acesso.

Na Figura 6 é possível observar o corte superior da posição dos comandos para o trator A. Dentro da região de ótimo alcance encontram-se o volante, os pedais de aceleração, freio e embreagem, a chave de partida e outros comandos, resultando em 47,1% dos comandos dentro desta região. Para a região de máximo alcance e para a região que compreende as áreas fora do ótimo e fora do máximo os valores são de 5,9% e 47,1%, respectivamente.



**Figura 6.** Áreas de máxima e ótimo alcance no plano superior (x, z).

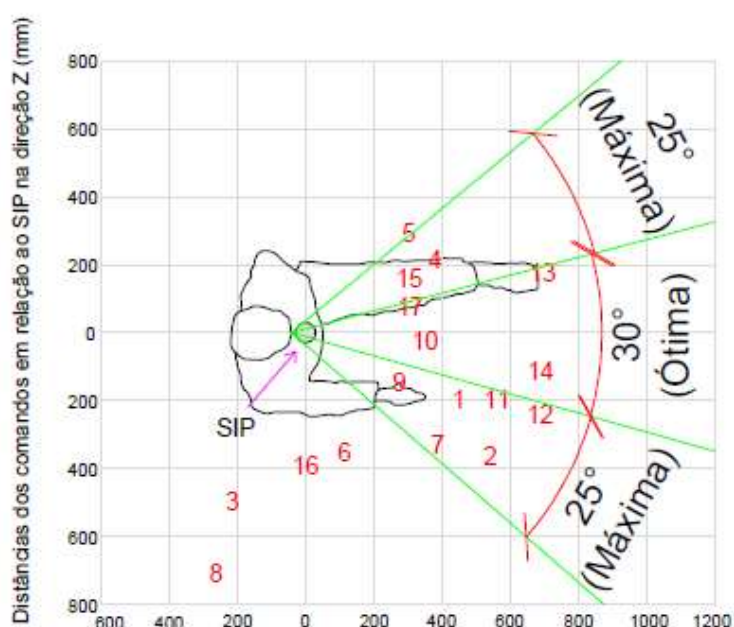
Os tratores B e C (Figura 10b; Figura 12b, respectivamente), apresentaram os piores resultados para a região de ótimo alcance (17,6% e 5,9%, respectivamente). O trator D (Figura 14b) é o trator que apresentou melhor distribuição na região de ótimo e de máximo alcance, com 31,3%, 25,0% dos comandos respectivamente. Todos os tratores apresentaram resultados elevados na região fora do ótimo e de máximo alcance, com 70,6%, 94,1% e 43,8%, respectivamente.

Quanto aos comandos mais utilizados para a pulverização, observa-se para o trator A (Figura 6), que 66,7% dos comandos estão dentro da região do ótimo e 33,3% dos comandos estão alojados fora da faixa de ótimo e de máximo.

Para os comandos mais utilizados na pulverização, 11,1% e 88,8% dos comandos estão na faixa de máximo e fora da faixa de ótimo e de máximo para o trator B (Figura 10b), respectivamente. Resultado parecido foi encontrado para o trator C (Figura 12b), no qual 22,2% dos comandos estão dentro da faixa de ótimo e 77,78% estão fora da faixa de ótimo e de máximo. Já o trator D (Figura 14b) apresentou resultado menos discrepante, com 28,57% dos comandos dentro do ótimo, 42,86% na faixa do máximo e 28,57% fora da faixa de ótimo e de máximo.

### 3.3.2 Comandos localizados nas áreas de ótima e máxima visão

No que diz respeito às áreas de visão ótima e máxima para o trator A (Figura 7), observa-se que 23,53% dos comandos estão dentro da faixa de ótimo, 47,05% na faixa de máximo e 29,42% dos comandos estão fora da faixa de ótimo e de máximo (Tabela 6). A maior parte dos comandos avaliados neste estudo estão dentro do campo de visão do operador (70,58%), sendo possível visualizá-los com leves movimentos oculares, sem esforço. Isso aumenta a segurança e o conforto operacional.



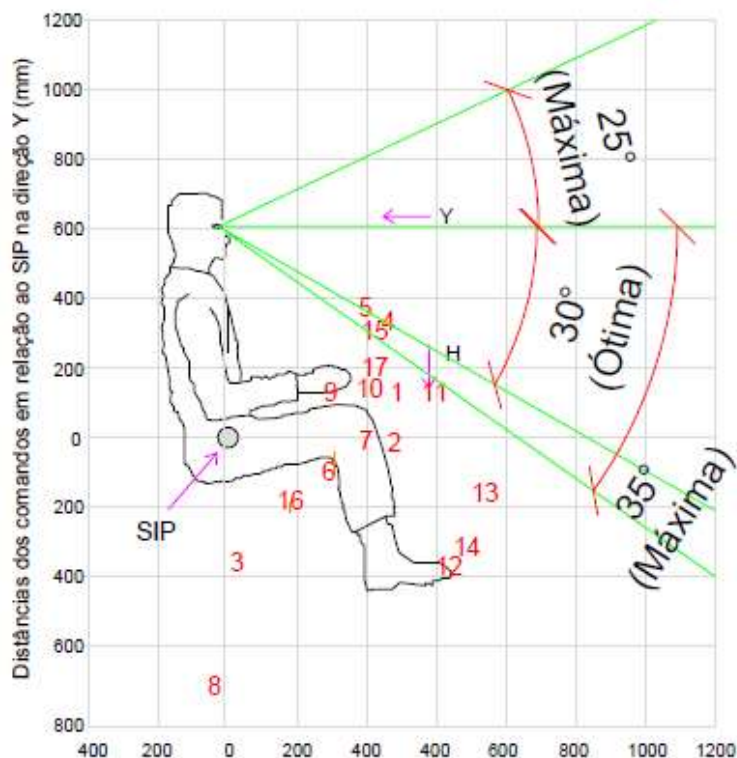
**Figura 7.** Comandos localizados nas áreas de visão ótima e máxima, no plano x, z, para o trator A.

Para o trator B (Figura 11a), chama atenção os valores encontrados para os comandos distribuídos na região de máximo alcance e a região de fora do ótimo e de máximo alcance, apresentando 47,1% e 41,2%, respectivamente. O trator C (Figura 13a), apresentou resultados mais homogêneos, com 35,3% dos comandos distribuídos na região de ótimo alcance e fora da região de ótimo e de máximo e 29,4% na região de máximo alcance. O trator D (Figura 15a) foi o trator que apresentou maior percentagem de comandos fora da região de ótimo de máximo alcance, com 68,8%.

Para os comandos mais utilizados na operação de pulverização, observa-se que para o trator A (Figura 7), foi encontrado para faixa de ótimo e máximo acesso 44,4%.

Quanto aos comandos mais utilizados na operação de pulverização, o trator B (Figura 11a), apresentou 44,4% dos comandos na região de máximo e fora da região de ótimo e de máximo acesso, enquanto o Trator C (Figura 13a), apresentou 44% e 33% dos comandos na região de ótimo e na região de máximo acesso, respectivamente. O trator D (Figura 15a) apresentou o pior resultado para este item, com 85,7% dos comandos fora da região de ótimo e de máximo acesso. Embora alguns tratores tenham apresentado resultados satisfatórios, o ideal seria que todos os comandos mais utilizados se situassem na região de ótimo e de máximo acesso, pois as características do campo visual assumem importância na rápida percepção do operador.

Em relação às áreas de ótima e máxima visão do trator A (Figura 8), verifica-se que a maioria dos comandos estão fora da área de ótimo e de máxima, (88,20%). Para a faixa de ótimo e para a faixa de máximo, foram encontrados 5,9% em cada um deles. Os comandos fora da faixa de visão do operador necessitam, ao serem acionados, maior atenção do operador, haja vista, a necessidade da atenção no momento da operação e no acionamento do comando. Esse movimento confere à operação, maiores riscos de acidente ao longo de sua jornada.



**Figura 8.** Comandos localizados nas áreas de visão ótima e máxima do plano (x, y), para o trator A.

Resultado semelhante foi encontrado para o trator B (Figura 11b), sendo que 88,2% dos comandos estão distribuídos na região que compreende a região fora de ótimo e de máximo alcance. Para o trator C (Figura 13b), nenhum comando está situado dentro da região de ótimo alcance e 94,12% dos comandos estão na região fora de ótimo de máximo alcance. O trator D (Figura 15b) apresentou 81,25% na região fora de ótimo e máximo alcance.

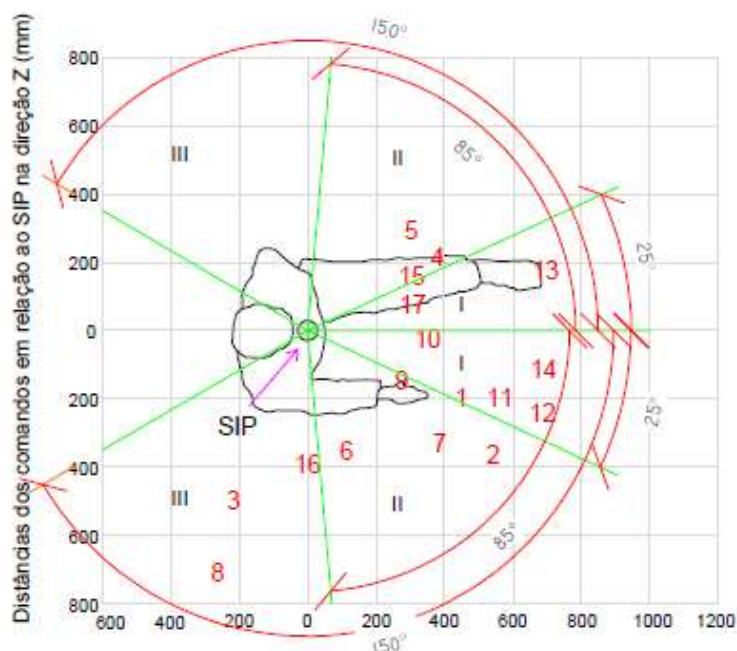
A totalidade dos comandos mais utilizados na pulverização, situam-se fora da área de ótimo e de máximo para os tratores A e C (Figura 8 e 13b, respectivamente). Já para os tratores B (Figura 11b) e D (Figura 15b), 88,89% e 87,5% dos comandos, respectivamente estão situados na região considerada como fora da região de ótimo e de máximo alcance.

Estes resultados podem estar associados à área interna útil da cabine do operador. O trator D (Figura 15b) possui a menor área útil, implicando que o operador fique muito próximo ao vidro frontal da cabine, fazendo com que ele tenha menor visibilidade do interior da cabine e seus comandos. O inverso é

verdadeiro, pois o trator C (Figura 13b) apresenta a maior área útil da cabine, possibilitando que os comandos fiquem mais espaçados, o que acarreta falta de visualização ao realizar o procedimento ergométrico. Torna-se fundamental a importância de o operador alcançar e acionar, com o mínimo de esforço e com postura corporal ideal, todos os principais comandos de operação, os quais são frequentemente acionados por parte do operador (Schlosser et al., 2002).

### 3.3.3 Campo visual do operador

Em relação aos campos visuais do operador (Figura 9), é possível observar que para o trator A, 41,2% dos comandos estão presentes no campo visual estacionário ( $-25^\circ$  a  $+25^\circ$ ); 41,2% se encontram no campo visual dos olhos ( $-85^\circ$  a  $+85^\circ$ ) e 17,6% (Tabela 6) no campo visual obtido com o movimento da cabeça ( $-150^\circ$  a  $+150^\circ$ ).



**Figura 9.** Campo visual do operador vista superior (x, z), para o trator A.

Os valores encontrados para o trator B (Figura 11c) foram de 35,3%, 58,8% e 5,9% (Tabela 7), para os campos visuais estacionários, dos olhos e com movimentos da cabeça, respectivamente. O trator C (Figura 13c) apresentou resultados melhores na distribuição dos comandos em relação a movimentação

necessária do operador para seu acionamento, com 41,2% no campo I; 52,9% e 5,9% nos campos II e III, respectivamente. O trator D (Figura 15c) apresentou 31,25% dos comandos no campo I e campo II e 37,5% no campo III.

**Tabela 7.** Porcentagem dos comandos dentro de cada região do campo visual nos tratores avaliados.

| Trator | Região do campo de visão |       |       |
|--------|--------------------------|-------|-------|
|        | I                        | II    | III   |
| A      | 41,2%                    | 41,2% | 17,6% |
| B      | 35,3%                    | 58,8% | 5,9%  |
| C      | 41,2%                    | 52,9% | 5,9%  |
| D      | 31,2%                    | 35,3% | 37,5% |

A postura do corpo quando o operador está operando uma máquina é influenciada pela visibilidade. O aumento do campo visual por meio de movimentos causa uma carga adicional de trabalho e prejudica o desempenho do operador à medida em que ele adota uma postura inadequada (Zander, 1972). Para isto, o operador, deve manter-se uma postura estável apesar de ter vibrações e sacolejos frequentemente. Durante sua jornada de trabalho, os movimentos rotacionais com a cabeça chegam em 15 a 20 rotações por minuto, o que gera o tronco torcido, tensionando os músculos lombares, aumentando a fadiga e dores musculares (Deganutti et al., 2011).

Quando se consideram os comandos mais utilizados na pulverização, os valores da distribuição dos comandos para o trator A (Figura 9) são de 55,56%; 33,33% e 11,11% para os campos visuais I, II e III, respectivamente. Assim, constata-se que a maior parte dos comandos se encontram nos campos que oferecem menor tempo de reação do operador.

Os valores encontrados para o trator B (Figura 11c) são de 33,33%; 55,56% e 11,11% para os campos visuais I, II e III, respectivamente (Tabela 8). O trator C (Figura 13c) apresentou melhores resultados, com 55,56% dos comandos no campo visual I e nenhum comando no campo visual III. Já o trator D (Figura 15c), por sua vez, apresentou 25% no campo I; e 37,5% no campo II e campo III.

**Tabela 8.** Porcentagem dos comandos dentro de cada região do campo visual nos tratores avaliados para a operação de pulverização em citros.

| Trator | Região do campo de visão |       |       |
|--------|--------------------------|-------|-------|
|        | I                        | II    | III   |
| A      | 55,6%                    | 33,3% | 11,1% |
| B      | 33,3%                    | 55,6% | 11,1% |
| C      | 55,6%                    | 44,4% | 0%    |
| D      | 25,0%                    | 37,5% | 37,5% |

O campo visual é importante para que o operador tenha rápida percepção das operações a serem realizadas, não influenciando na postura de seu corpo durante a jornada de trabalho (Fontana, 2005). A fadiga visual do operador está relacionada com a visibilidade ineficiente causada por obstáculos, dificultando a percepção destes (Couto, 1987). Os valores encontrados no campo visual estacionário promovem a percepção de objetos em movimento com maior facilidade, denotando maior capacidade do operador em visualizar detalhes. No campo visual dos olhos, são necessários movimentos com os olhos para complementar com a visão obtida no campo I. Para os comandos encontrados no campo III, são necessários movimentos com a cabeça para que se faça o acionamento.

Pelos resultados encontrados, o trator que apresenta a maior quantidade de comandos situados nas áreas que resultam em melhores campos de visão (regiões I e II) é o trator C (Figura 13c). O trator A (Figura 9) apresentou maior distribuição dos comandos nas três regiões (I, II e III), assim como o trator B (Figura 11c). O trator D (Figura 15c), por sua vez, obteve o pior resultado com a maior parte dos comandos situados na região do campo de visão III.

Sintetizando a análise da disposição dos comandos, de acordo com a metodologia proposta neste trabalho, são apresentados na Tabela 9 os resultados obtidos.

Nota-se que nenhum dos tratores conseguiu a nota Excelente, sendo a grande maioria dos comandos distribuídas entre as notas Muito Bom, Bom e Ruim. Mesmo que a ciência ergonômica tenha evoluído ao longo do tempo, ainda há uma parte considerável dos comandos distribuídos nos tratores classificados

como Ruim, ou seja, estão fora da condição de ótimo e de máximo alcance, acarretando prejuízos físicos e psíquicos ao operador e às empresas, uma vez que, ao longo do tempo há maiores chances destes funcionários adquirirem algum tipo de lesão.

Considerando-se a classificação proposta (Tabela 9), verifica-se que os tratores A e D foram os que apresentaram maior percentual de comandos classificados como Ótimo, Muito Bom e Bom. Dentre estes dois espécimes destacam-se o trator A que apresentou maior número de comandos (59%) nas categorias Ótimo, Muito Bom e Bom. Por outro lado, os tratores B e C apresentaram maiores percentuais de comando classificados em localização Ruim sob o ponto de vista ergonômico.

Quanto aos comandos mais utilizados para a pulverização, verifica-se que os tratores A e D foram os que apresentaram melhores resultados, classificados com 66% dos comandos situados entre Ótimo, Muito bom e Bom. Os tratores B e C apresentaram 44% e 56% dos comandos situados nestas faixas, respectivamente.

**Tabela 9.** Classificação ergonômica final dos tratores quanto a distribuição dos comandos para os comandos e para os comandos mais utilizados na pulverização.

| Critério  | Trator A |                          | Trator B |                          | Trator C |                          | Trator D |                          |
|-----------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|
|           | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados | Comandos | Comandos mais utilizados |
|           | %        |                          |          |                          |          |                          |          |                          |
| Excelente | 0.0%     | 0.0%                     | 0.0%     | 0.0%                     | 0.0%     | 0.0%                     | 0.0%     | 0.0%                     |
| Ótimo     | 29.0%    | 33.0%                    | 6.0%     | 11.0%                    | 0.0%     | 0.0%                     | 5.0%     | 0.0%                     |
| Muito bom | 24.0%    | 22.0%                    | 0.0%     | 0.0%                     | 6.0%     | 12.0%                    | 24.0%    | 33.0%                    |
| Bom       | 6.0%     | 11.0%                    | 35.0%    | 33.0%                    | 29.0%    | 44.0%                    | 24.0%    | 33.0%                    |
| Ruim      | 41.0%    | 33.0%                    | 59.0%    | 56.0%                    | 65.0%    | 44.0%                    | 47.0%    | 34.0%                    |

### **3.4 Conclusão**

Os espécimes avaliados diferenciaram-se entre si do ponto de vista do alcance aos comandos.

Os tratores A e D apresentam maior percentual de comandos em regiões de alcance classificados como: Ótimo, Muito Bom e Bom, enquanto que os tratores B e C apresentam a maior parte dos comandos na região de alcance classificados como Ruim. Comandos na região de Ótimo, Muito Bom e Bom permitem ao operador ter menos fadiga, menor chance de lesão, maior atenção a operação, aumentando o conforto e a segurança para o operador.

A metodologia proposta se mostra adequada para a classificação dos tratores quanto à ergonomia, conseguindo obter um resultado com parâmetros técnicos que atendam às necessidades quanto aos quesitos estabelecidos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa ao primeiro autor.

## 3.5 Referências

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. ASAE S390.1. (1994) Agricultural machinery management data. In: **ASAE Standards: standards engineering practices data**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1999) NBR NM-ISSO 5353: Máquinas rodoviárias, tratores e máquinas agrícolas e florestais – Ponto de referência do assento. Rio de Janeiro.

Bernard BP (1997) **Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors - A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back**. Cincinnati: NIOSH, 590 p.

Breedveld P, Dul J (2005) **The Position and Success of Certified European Ergonomists**. Rotterdam School of Management. Rotterdam: Erasmus University, p. 22.

Bobick TG, Myers JR (1995) Back injuries in agriculture: occupations affected. In: McDuffie H (Ed.) **Agricultural health and safety: workplace, environment, sustainability**. New York: CRC Press Inc, p. 325-332.

Couto HA (1987) **Ergonomia aplicada ao trabalho: coletânea dos cadernos Ergo**. Belo Horizonte: Cultura, 432 p.

Chander DS, Cavatorta MP (2017) An observational method for postural ergonomic risk assessment. **International Journal of Industrial Ergonomics** 57:32-41. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2016.11.007>

Deganutti R, Palhaci MCJP, Hellmeister LAV (2011) Projeto ergonômico de assento para tratores, utilizando-se dos recursos da computação gráfica. In: VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, **Anais...** Guimarães: ICECE, p. 192-196.

Dul J, Neumann WP (2009). Ergonomic contributions to company strategies. **Applied Ergonomics**. 40:745-752.  
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.07.001>

Fathallah FA, Chang JH, Pickett W, Marlenga B (2009) Ability of youth operators to reach farm tractor controls. **Ergonomics** 52:685-694.  
<https://doi.org/10.1080/00140130802524641>

Fontana G (2005) **Avaliação ergonômica do projeto interno de cabines de Forwarders e Skidders**. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Esalq, Piracicaba.

Hsiao H, Whitestone J, Bradtmiller B, Whisler R, Zwiener J, Lafferty C, Kau TY, Gross M (2005) Anthropometric criteria for the design of tractor cabs and protection frames. **Ergonomics** 48:323-353.  
<https://doi.org/10.1080/00140130512331332891>

Hendrick H (1996) **Good Ergonomics Is Good Economics Human Factors and Ergonomics Society**. Santa Monica, CA, USA.

Jensen PL (2002) Human factors and ergonomics in the planning of production. **International Journal of Industrial Ergonomics** 29:121-131.  
[https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00056-7](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00056-7)

Kumar A, Bhaskar G, Singh JK (2009) Assessment of controls layout of Indian tractors. **Applied Ergonomics** 40:91-102.  
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2008.01.017>

Kuta L, Stopa R, Szyjewicz D, Komarnicki P (2019) Determination of comfortable position for tractor Driver's hands based on dynamic load. **International Journal of Industrial Ergonomics** 74: 102866. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.102866>

Menezes JF, Maziero JVG, Iamashita RY, Corrêa IM, Passarella Neto A, Fenz E, Milan M (1985) **Avaliação de características de visibilidade apresentadas por um grupo de tratores de rodas**. Campinas: Boletim Técnico IAC, 17 p.

Monarca D, Cecchini M, Santi M, Colantoni A (2009) Analysis of anthropometric compatibility of agricultural tractor cabs. **Agricultural Engineering International** 11:1-10.

Murphy DJ (1992) **Safety and Health for Production Agriculture**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 253 p.

Nietdiedt GH, Ribas RL, Schlosser JF, Frantz UG, Casali AL, Uhry D (2012) Distribuição dos comandos de operação em tratores agrícolas nacionais com até 55 kW de potência. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 16:690-695. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000600015>

Parton K (1990) Back Injuries on farms: regional variations in New South Wales. **Journal of Occupational Health and Safety - Australia and New Zealand** 6:53-59.

Peripolli JLZ, Alonço AS, Possebom G (2017) Conformidade do espaço interno livre de tratores agrícolas e itens de segurança obrigatórios segundo as normas NBR/ISO 4252 e NR 12. **Tecno-lógica** 21:103-107. <http://dx.doi.org/10.17058/tecnolog.v21i2.8612>

Qiu B, Zhou J, Zheng Z, Shen H (2019) Establishing a dynamic ergonomic evaluation index system for complex product designs based on the theory of product life cycle. **International Journal of Industrial Ergonomics** 69:153-162. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2018.11.006>

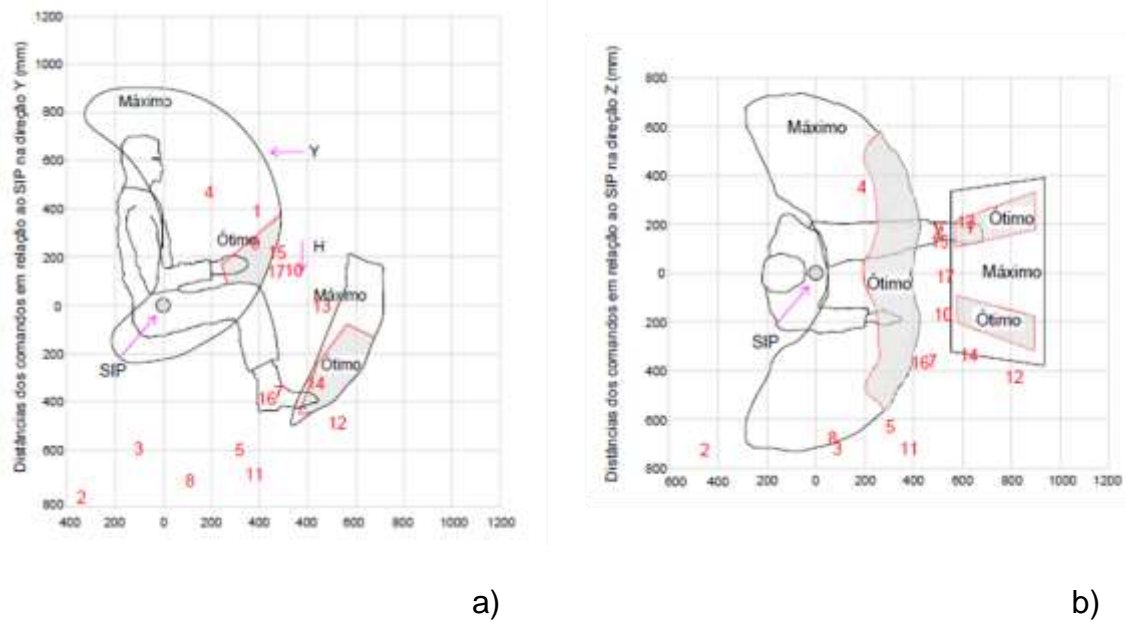
Schlosser JF, Debiasi H, Parcianello G, Rambo L (2002) Antropometria aplicada aos operadores de tratores agrícolas. **Ciência Rural** 32:983-988. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000600011>

Sonja P, Alan H, Matija V (2016) An ergonomic expert system for risk assessment of work-related musculo-skeletal disorders. **International Journal of Industrial Ergonomics** 53:130-139. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.11.008>

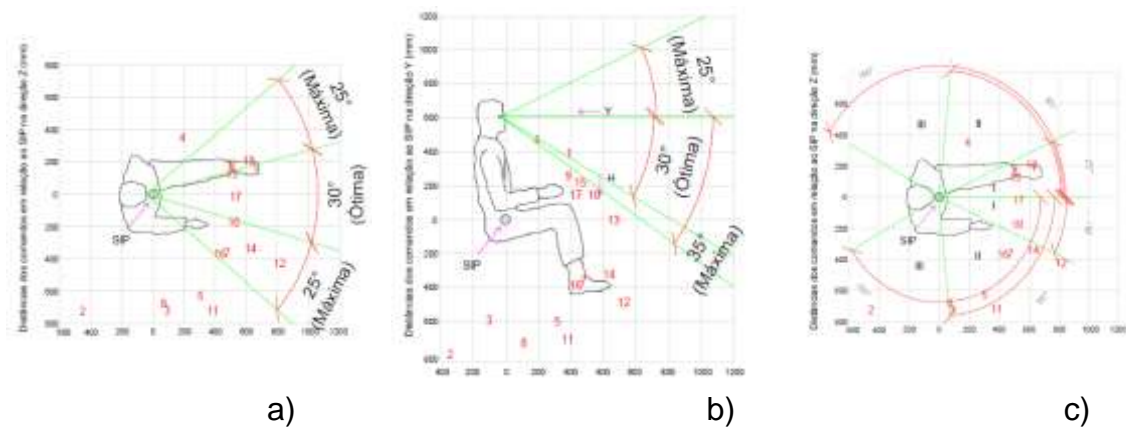
Zander J (1972) **Ergonomics in machine desing: a case study of the selfpropelled combine harvester**. Wageningen: Mededelingen Landboowhogeschool, 161 p.

Wang L, Li W, Chen J (2015) Ergonomic evaluation of the operating characteristics of the 6MF-30 portable pneumatic extinguisher. **Applied Ergonomics** 51:39-43. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.04.009>

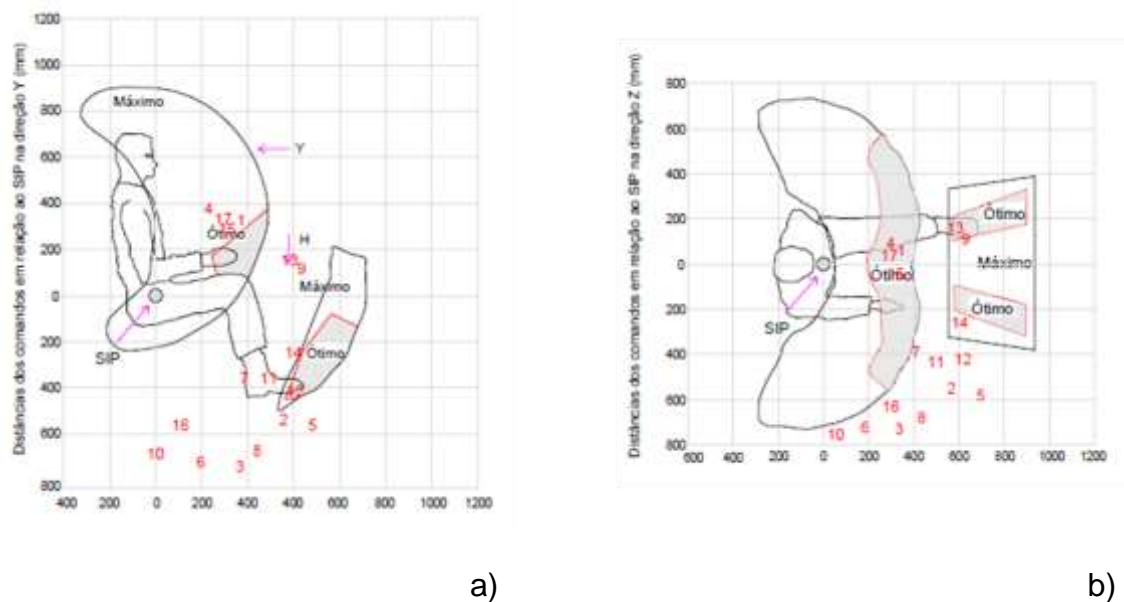
### 3.6 Material Suplementar



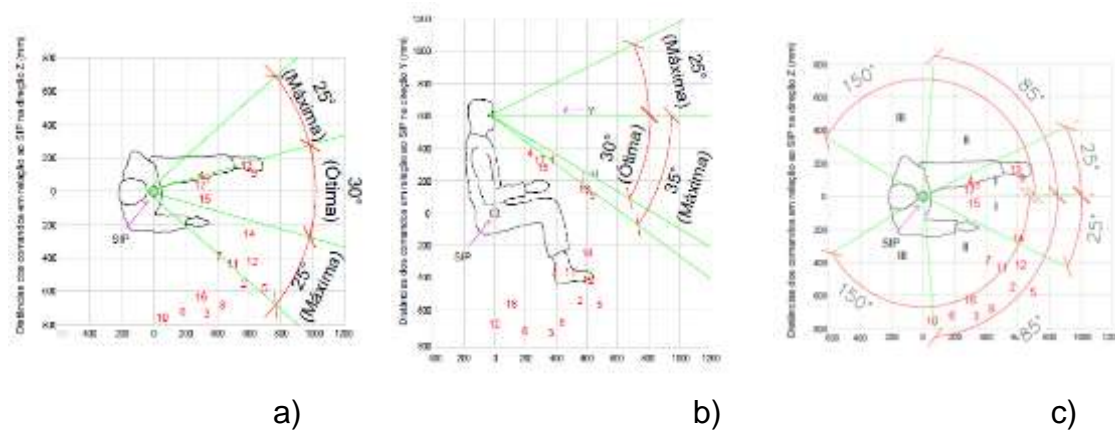
**Figura 10.** Áreas de máxima e ótimo alcance para o trator B nos planos a) lateral (x, y); b) superior (x, z).



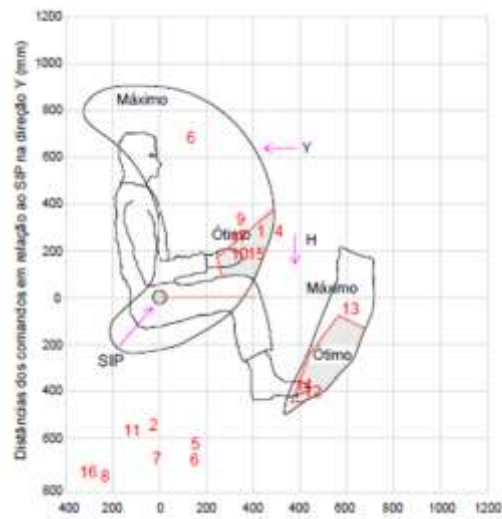
**Figura 11.** Campo visual do operador para o trator B: a) vista superior (x, y); b) vista lateral (x, z); c) vista superior (x, y).



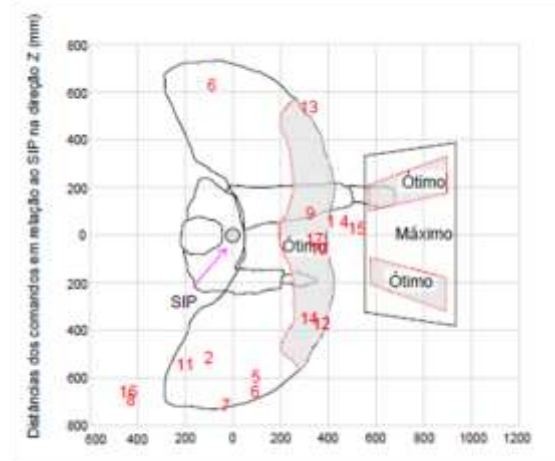
**Figura 12.** Áreas de máxima e ótimo alcance para o trator C nos planos a) lateral (x, y); b) superior (x, z).



**Figura 13.** Campo visual do operador para o trator C: a) vista superior (x, y); b) vista lateral (x, z); c) vista superior (x, y).

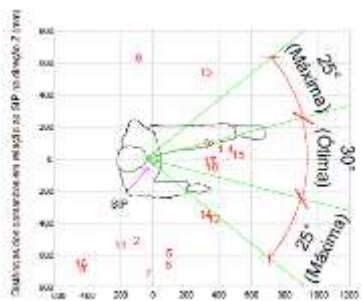


a)

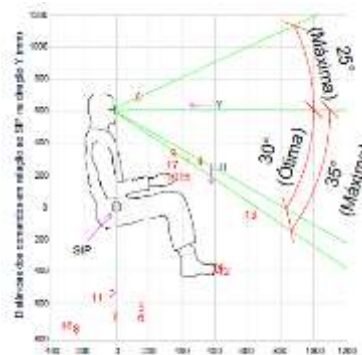


b)

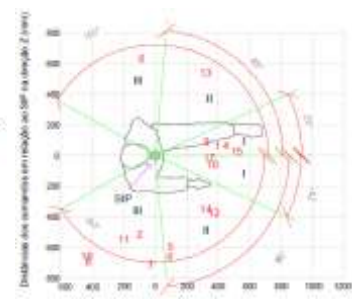
**Figura 14.** Áreas de máxima e ótimo alcance para o trator D nos planos a) lateral (x, y); b) superior (x, z).



a)



b)



c)

**Figura 15.** Campo visual do operador para o trator D: a) vista superior (x, y); b) vista lateral (x, z); c) vista superior (x, y).

## **CAPÍTULO 4 – Relação massa/potência e desempenho de tratores agrícolas na operação de pulverização em citros**

**RESUMO** - Tratores agrícolas são fontes de potência que alavancaram a mecanização nas lavouras e foram responsáveis pelo aumento da produção agrícola devido à facilidade encontrada em produzir em função do trabalho em larga escala. Por serem fonte geradora de poluição, os motores dos tratores agrícolas estão sujeitos a normas elaboradas para controlar a emissão de gases pelo escape. No Brasil adotou-se a norma MAR-I e os novos motores que estão sendo desenvolvidos certamente terão alterações na forma de trabalho e consumo horário de combustível. Para cada operação agrícola, recomenda-se a melhor configuração possível de distribuição de massa, permitindo a melhor adequação da demanda energética para cada situação de trabalho. Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar o consumo de combustível de tratores com 66 kW, 4x2 TDA, em duas configurações de relação massa/potência durante a pulverização de citros. O experimento foi realizado em área agrícola situada no município de Boa Esperança do Sul – SP. Foram avaliadas cinco marcas de tratores cabinados (A, B, C, D e E), apresentando motores adequados à norma MAR-I de controle de poluentes. Foram utilizadas duas configurações de relação massa/potência, trabalhando com TDP normal e TDP econômica, durante a pulverização de citros. Os resultados indicam que houve pouca variação no consumo horário de combustível. O trator D apresentou alteração no seu comportamento após adequação. As configurações de lastro e avanço ficaram dentro dos padrões recomendados. Novas configurações de motores podem influenciar o consumo horário de combustível.

**Palavras-chave:** mecanização agrícola, equilíbrio dinâmico, consumo horário de combustível.

### **Mass/power ratio and performance of agricultural tractors in the citrus spraying operation**

**ABSTRACT** – Agricultural tractors are sources of power that leveraged mechanization in crops and were responsible for the increase in agricultural production due to the facility in producing through large-scale work. As they are a source of pollution, agricultural tractor engines are subject to norms to control gases emissions by exhaust. As they are a source of pollution, agricultural tractor engines are subject to regulations designed to control exhaust emissions. In Brazil, the MAR-I norm was adopted and the new engines that are being developed will certainly have changes in the way of work and hourly fuel consumption. For each agricultural operation, the best possible mass distribution configuration is recommended, allowing the best adjustment of the energy demand for each work situation. Therefore, the objective of this study was to evaluate the fuel consumption of tractors with 66 kW, 4x2 FWD, in two configurations of mass/power ratio during citrus spraying. The experiment was carried out in an agricultural area located in the municipality of Boa Esperança

do Sul - SP. Five brands of cab tractors (A, B, C, D and E) were evaluated, all with 66 kW of engine power, 4x2 FWD, presenting engines suitable to the MAR-I pollutant control norm. Two mass/power ratio configurations were used, working with normal power take-off (PTO) and economical PTO, during citrus spraying. The results indicate that there was little variation in hourly fuel consumption. The D tractor showed a change in its behavior after adaptation. The configurations of ballast and advance settings were within the recommended standards. New engine configurations can influence hourly fuel consumption.

**Keywords:** agricultural mechanization, dynamic balance, hourly fuel consumption.

#### 4.1 Introdução

Os tratores são as principais máquinas na agricultura, presente em várias operações agrícolas, como preparo de solo, semeadura, fertilização, pulverização e colheita (Janulevičius et al., 2013). Por ser utilizado em diversas operações de campo e durante todas as etapas de produção, o trator está sujeito a demandas de cargas variadas (Pitla et al., 2016).

Para que os tratores sejam utilizados com eficiência, eles devem ser adequados da melhor maneira possível nos trabalhos pretendidos. Ao compor conjuntos de trator e implemento, o foco deve ser o trator para que possa trabalhar em condições ideais de carga (Janulevičius et al., 2013). Ao trabalhar com equipamentos agrícolas de maneira especializada, é possível economizar combustível e reduzir as emissões de gases pelo escape (Juostas e Janulevičius, 2009; Sendžikienė et al., 2012). Porém, isso requer conhecimento das sutilezas da operação e capacidade de avaliar a interação entre os sistemas e mecanismos do trator.

Além disso, para uma operação específica, a demanda de carga no trator é alterada como resultado de variações de velocidade, condições de campo (por exemplo, variabilidade do solo e inclinação do terreno), larguras de trabalho do implemento, profundidade das operações efetivas e manuseio da máquina pelo operador. Em função do largo espectro de uso, a mecanização agrícola acaba sendo responsável por uma parcela substancial de impactos ambientais, principalmente devido ao consumo horário de combustível e às emissões de

gases de escape dos motores (Janulevičius et al., 2019) e ao desgaste dos materiais.

As condições atuais de sistemas de produção e os requisitos ambientais forçaram os usuários e as empresas fabricantes de máquinas agrícolas a reduzirem o consumo horário de combustível e a toxicidade dos gases de escape (Baltrėnas et al., 2008; Worldwide Emissions Standards, 2012). No Brasil, resoluções do Ministério do Meio Ambiente têm restringindo a emissão de poluentes de máquinas agrícolas no ambiente, assim como acontece na União Europeia e nos Estados Unidos, com medidas semelhantes (Ettl et al., 2018; Bacenetti et al., 2018).

A eficiência de tração e o consumo horário de combustível de tratores agrícolas são tópicos que têm recebido muita atenção recentemente, tanto por razões econômicas quanto ambientais, e os fabricantes de tratores estão dedicando mais atenção e recursos ao design de produtos eficientes (Goering, 1992). A eficiência de entrega de energia de um trator durante a operação em campo depende do desempenho da linha de tração do trator e de como o trator interage com o solo; por sua vez, a eficiência da interação pneu-solo depende dos parâmetros de projeto do trator. Portanto, entender quais são os parâmetros-chave que afetam a eficiência de tração e a quantificação de seu papel é de importância primordial neste contexto.

Estudos indicam que o deslizamento das rodas do trator acarreta mudança no comportamento do consumo energético do trator. A redução da patinagem dos pneus é obtida usando lastro apropriado, variando a pressão dos pneus, uso de pneus de alta flexão e controle da força de tração e posição dos implementos (Stoilov e Kostadinov, 2009), porém, deve-se se ater às características físicas do solo e condição de umidade do solo (Čiupienė et al., 2019; Osinenko et al., 2015).

O lastro incorreto pode resultar em aumento do consumo horário de combustível, custos de serviços mais altos e aumento da compactação e danos ao solo. Um estudo europeu descobriu que o lastro correto dos tratores pode resultar em economia de combustível na faixa de 5 a 8% (Intelligent Energy Europe, 2012), além de melhorar a tração.

Quando o trator apresenta excesso de lastro, ocorrem problemas como: maior consumo horário de combustível, redução de produtividade do uso do trator, maior desgaste mecânico como resultado de maiores cargas de torque, compactação do solo. Por outro lado, a falta de lastro, ocasiona: maior escorregamento do pneu na lavoura, maior desgaste dos pneus, criação de sulcos profundos em solos úmidos, galope do trator comprometendo sistemas mecânicos (Farm Energy Innovation Program, 2013). Uma das razões para a escolha da mudança de lastro e pressão dos pneus nos procedimentos experimentais reside no fato de que essas são as variáveis que os operadores de tratores podem controlar (Regazzi et al., 2019).

Partindo do pressuposto que o lastro correto e a relação massa/potência exercem influência nas operações agrícolas mecanizadas, diminuindo o consumo horário de combustível, objetivou-se com este trabalho avaliar o consumo horário de combustível em cinco marcas de tratores, com motor adaptado à resolução CONAMA-MAR I, na operação de pulverização em citros, em duas configurações de relação massa-potência e duas formas de trabalho (TDP Normal e TDP Econômica).

## **4.2 Material e Métodos**

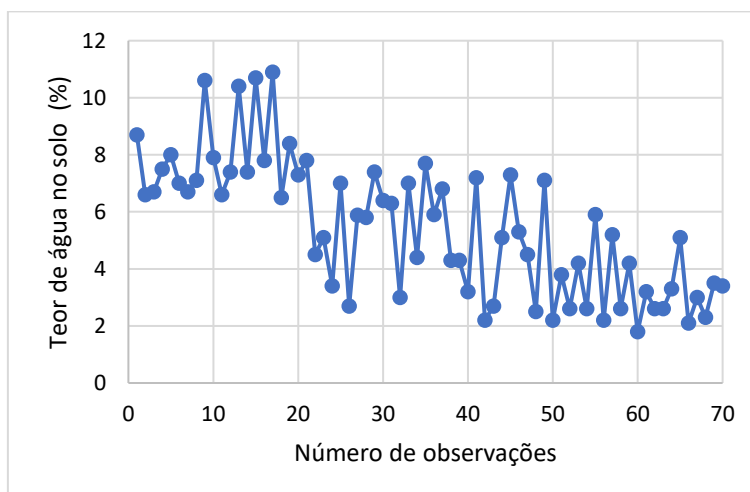
O experimento foi conduzido em área agrícola de uma empresa produtora de citros, localizada no município de Boa Esperança do Sul, SP, situada nas proximidades das coordenadas geodésicas de 21°53'51" latitude S, 48°38'22" longitude O e altitude de 505 m. O clima é classificado como Cwa, pelo método de Köppen.

As avaliações foram realizadas no mês de agosto de 2019 em área de aproximadamente 3,65 ha, com comprimento médio de linha de 465 m, em onze entre linhas do pomar, pertencente às áreas de pomares produtivos da fazenda (Figura 1).



**Figura 1.** Localização experimental.

A caracterização do teor de água do solo foi realizada na camada de 0,00 – 0,15 m, com a utilização da técnica de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) (Figura 2), por meio da relação entre o teor de água e a capacidade dielétrica de um solo mineral.



**Figura 2.** Determinação do teor de água do solo utilizando Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR).

Foram avaliadas cinco marcas de tratores agrícolas de pneus, 4x2 TDA, cabinados, com 66 kW (90 cv) de potência, que foram denominados de Trator A, B, C, D e E. Os tratores foram inicialmente mantidos na configuração recebida diretamente dos fabricantes (condição inicial de trabalho), como mostrado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Configuração inicial dos tratores.

| Observações                  | Trator A | Trator B | Trator C | Trator D | Trator E |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Pneus Dianteiros (PD)        | 12.4-24  | 12.4-24  | 11.2-24  | 12.4-24  | 12.4-24  |
| Pneus Traseiros (PT)         | 18.4-30  | 18.4-30  | 16.9-30  | 18.4-30  | 18.4-30  |
| Pressão interna (PD)         | 21       | 21       | 14       | 21       | 22       |
| Pressão interna (PT)         | 19       | 18       | 17       | 19       | 20       |
| Lastro sólido dianteiro (kg) | 46       | 160      | 140      | 400      | 400      |
| Lastro sólido traseiro (kg)  | 77       | 200      | 180      | 100      | 0        |
| Lastro líquido dianteiro (%) | 0        | 40       | 25       | 75       | 50       |
| Lastro líquido traseiro (%)  | 30       | 50       | 0        | 75       | 50       |
| Massa no eixo dianteiro (kg) | 1.450    | 1.870    | 1.660    | 2.240    | 2.150    |
| Massa no eixo dianteiro (%)  | 35,80    | 39,45    | 42,67    | 45,53    | 47,67    |
| Massa no eixo traseiro (kg)  | 2.600    | 2.870    | 2.230    | 2.680    | 2.360    |
| Massa no eixo traseiro (%)   | 64,20    | 60,55    | 57,33    | 54,47    | 52,33    |
| Massa total (kg)             | 4.050    | 4.740    | 3.890    | 4.920    | 4.510    |

Para a mensuração dos dados de consumo de combustível, foram realizados dois ensaios, sendo o primeiro com a TDP Normal (540 rpm) com três repetições e o segundo com a TDP econômica com duas repetições. As rotações dos motores na TDP Normal e Econômica estão descritas na Tabela 2. Para a análise TDP Econômica, não foi feito para o Trator C, pois este trator não apresentava esta configuração para realizar a operação.

**Tabela 2.** Rotação dos motores de cada modelo de trator na TDP Normal e Econômica.

| TDP           |       | Trator A      | Trator B | Trator C | Trator D | Trator E |
|---------------|-------|---------------|----------|----------|----------|----------|
|               |       | -----rpm----- |          |          |          |          |
| TDP Normal    | 540   | 2100          | 2200     | 2200     | 2000     | 2100     |
| TDP Econômica | 540-E | 1600          | 1700     | -        | 1550     | 1650     |

A velocidade média de deslocamento para o ensaio foi padronizada pela empresa, em 7,8 km h<sup>-1</sup>. A simulação da pulverização foi realizada com o tanque abastecido com água, com vazão de 703 L ha<sup>-1</sup>, com 21 pontas abertas e a massa do pulverizador cheio foi de 5.330 kg.

#### 4.2.1 Adequação dos tratores

Foi conferida a massa inicial dos tratores, a quantidade de lastros sólidos dianteiro e traseiro, lastro líquido dianteiro e traseiro, bem como a pressão interna dos pneus (Tabela 1), sendo então determinada a relação massa/potência para a condição inicial. Posteriormente, foi realizado o equilíbrio operacional dos espécimes, de modo a deixá-los adequados para a operação de pulverização, ou seja, com distribuição correta de massa nos eixos e pressão interna do pneu adequada à carga para o tipo de superfície de contato e de pneus utilizados.

Foram então calculadas a quantidade necessária de retirada ou acréscimo de lastros, bem como a pressão interna adequada para operação. Apesar de o pulverizador ser tracionado pela barra de tração, todos os tratores foram adequados para uma relação de distribuição estática de 40% de massa no eixo dianteiro e 60% de massa no eixo traseiro devido à transferência de massa (Janulevičius et al., 2018).

#### **4.2.2 Determinação do avanço dinâmico**

Foi realizada a avaliação do avanço dinâmico em dois momentos, o primeiro com a configuração inicial vinda de fábrica e o segundo com a configuração proposta pela equipe do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA), para adequar relação massa potência para  $33 \text{ kg kW}^{-1}$ . O resultado da avaliação de avanço dinâmico foi obtido após três repetições com o trator em movimento à velocidade constante de  $2,5 \text{ km h}^{-1}$ , em solo plano e firme, com e sem acionamento da TDA, utilizando com avançômetro eletrônico (Figura 3).



**Figura 3.** Equipamento utilizado para a avaliação do avanço dinâmico.

#### **4.2.3 Consumo horário de combustível**

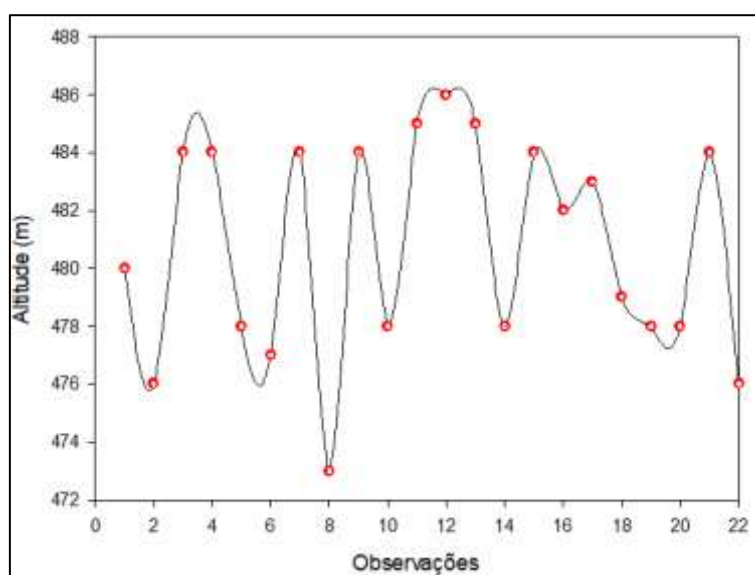
O protótipo para a medição do consumo horário de combustível foi desenvolvido, construído e validado por Lopes et al. (2003). O sistema consiste em dois conjuntos: um para a alimentação da bomba injetora e o outro para o retorno. Cada conjunto contém medidor de fluxo da marca Oval Corporation, modelo Flowmate LSF41, com precisão de 99% sobre a vazão nominal e vazão máxima de  $100 \text{ L h}^{-1}$ . Os valores de fluxo de combustível foram obtidos em  $\text{mL seg}^{-1}$ , sendo o consumo horário de combustível mensurado em 11 entrelinhas da cultura, com comprimento de 465 m, em 2 amostras por rua, com intervalo de 215 m entre as amostragens.

Para a mensuração dos dados de consumo horário de combustível, foram realizados dois testes, o primeiro com a TDP Normal e o segundo com a TDP econômica, sendo o primeiro realizado com três repetições e o segundo com duas repetições. A velocidade foi de  $7,8 \text{ km h}^{-1}$ , velocidade esta adotada usualmente na operação de pulverização pela empresa. Para a realização dos testes o tanque do pulverizador foi abastecido com água, sendo utilizada a vazão de  $703 \text{ L ha}^{-1}$ , com 21 pontas abertas em cada lado do pulverizador.

#### 4.2.4 Delineamento experimental e forma de análise dos resultados

Para o consumo do combustível, o delineamento experimental seguiu os padrões estabelecidos pelo Controle Estatístico de Processo, nos quais os pontos amostrais foram coletados ao longo do tempo (Montgomery, 2009), sendo os dados coletados a cada 99 segundos de realização da operação de pulverização.

Os pontos de coleta de consumo horário de combustível foram georreferenciados com o uso do aplicativo Campeiro C7, o que tornou possível determinar a altitude do local do experimento ponto a ponto (Figura 4).



**Figura 4.** Variação de altitude ao longo da linha de experimento.

Os dados coletados foram submetidos à análise de estatística descritiva, e posteriormente ao Controle Estatístico de Processo (CEP), com o uso das cartas de controle de valores individuais. As cartas de controle são gráficos que ilustram a variação dos resultados, com amostras coletadas ao longo do tempo e espaço.

As cartas de controle apresentam uma linha central, que representa a média dos valores e duas linhas acima e abaixo da linha central, representando o Limite Superior de Controle (LSC) e o Limite Inferior de Controle (LIC), respectivamente. Estes limites são calculados por meio das equações 1 e 2:

$$LSC = \bar{X} + 3\sigma \quad (1)$$

$$LIC = \bar{X} - 3\sigma \quad (2)$$

em que,

$\bar{X}$  - média dos valores individuais;

LSC - Limite Superior de Controle;

LIC - Limite Inferior de Controle;

$\sigma$  - desvio-padrão.

A ocorrência de um ponto fora dos limites de controle indica que há variação não aleatória nos resultados, variação esta que ocorre devido à existência de pelo menos uma causa especial. Neste caso o processo é tido como fora de controle (ou instável), necessitando de uma investigação relacionada à presença dos chamados fatores 6 M's (Máquina, Mão de obra, Material, Meio ambiente, Método e Medição), em busca da redução ou eliminação das causas responsáveis por essa variação. Além disso, as cartas de controle permitem fazer uma avaliação da variabilidade dos dados.

### **4.3 Resultados**

#### **4.3.1 Adequação dos tratores e Avanço Dinâmico**

Os resultados da aferição da massa dos tratores, bem como o avanço dinâmico e a relação massa/potência, encontram-se na Tabela 3. Observa-se que a maior parte dos tratores apresentou relação massa/potência inadequada conforme o recomendado para a operação de pulverização (ao redor de 33 kg kW<sup>-1</sup>, Schlosser et al., 2005). Os tratores A e C apresentaram a relação massa/potência desejada, não sendo necessário realizar a adequação da distribuição de massa. Os tratores B, C e D apresentaram, respectivamente, relação massa/potência da ordem de 18,2%; 21,2% e 12,1% superiores à relação desejada, sendo necessário então, a retirada de lastros para realizar a adequação.

Foram ajustados e retirados lastros sólidos, líquidos e realizados ajustes na calibração dos pneus. A distribuição de lastros seguiu a recomendação de 40% da massa no eixo dianteiro e 60% da massa no eixo traseiro.

**Tabela 3.** Adequação dos tratores.

| <b>Características ponderais</b> | <b>Trator A</b>        | <b>Trator B</b>        | <b>Trator C</b>        | <b>Trator D</b>        | <b>Trator E</b>        |
|----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Inicial<sup>1</sup></b>       |                        |                        |                        |                        |                        |
| Massa Total                      | 4.050 kg               | 4.740 kg               | 3.890 kg               | 4.920 kg               | 4.510 kg               |
| Relação massa/kW                 | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 39 kg kW <sup>-1</sup> | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 40 kg kW <sup>-1</sup> | 37 kg kW <sup>-1</sup> |
| Avanço dinâmico                  | 4,63%                  | 1,49%                  | 1,90%                  | 1,57%                  | 1,31%                  |
| <b>Final<sup>2</sup></b>         | <b>Trator A</b>        | <b>Trator B</b>        | <b>Trator C</b>        | <b>Trator D</b>        | <b>Trator E</b>        |
| Massa Total                      | 4.050 kg               | 4.000 kg               | 3.890 kg               | 3.980 kg               | 3.980 kg               |
| Relação massa/kW                 | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 33 kg kW <sup>-1</sup> | 33 kg kW <sup>-1</sup> |
| Avanço dinâmico                  | 4,63%                  | 1,32%                  | 1,90%                  | 1,66%                  | 1,42%                  |

<sup>1</sup> Antes da adequação; <sup>2</sup> após a adequação.

Embora, os tratores B, D e E tenham apresentado inicialmente uma relação massa/potência acima de 33 kg kW<sup>-1</sup>, o avanço dinâmico de todos os tratores, antes e após a adequação, situaram-se dentro da faixa recomendada por (Linares, 1996), que classifica como ótimos valores de avanço entre 1 e 5%. Ainda de acordo com esta classificação, os tratores B, D e E apresentaram avanço dinâmico ideal (de 1,2% a 1,8%).

Por se tratar de uma operação que demanda pouca exigência de tração, os valores de avanço foram baixos. Forastiere (2016), relata que o pneu 18.4 apresenta maior banda de rodagem, proporcionando maior aderência com a superfície da pista de rolamento, aumentando a capacidade do trator desenvolver a tração e fornecer potência suficiente para a operação agrícola a ser desempenhada. Esta aderência depende da carga dinâmica, que é o peso total do trator apoiado sobre o eixo motriz do trator e da natureza e condição da zona de contato.

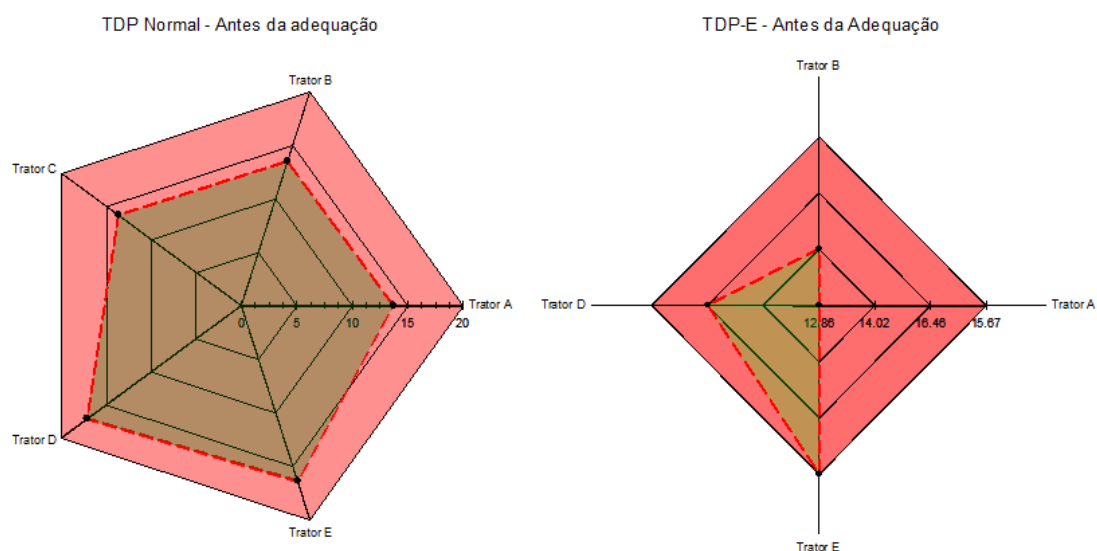
### 4.3.2 Desempenho Operacional

Na Tabela 4, encontram-se os valores de desvio padrão e coeficiente de variação (%) para os resultados encontrados de consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ) antes da adequação dos tratores proposta para  $33 kg kW^{-1}$ .

**Tabela 4.** Estatística Descritiva para consumo ( $L h^{-1}$ ) para TDP Normal e Econômica antes da adequação dos tratores.

| <b>Antes da Adequação - TDP Normal</b> |       |               |                         |         |            |         |
|--|-------|---------------|-------------------------|---------|------------|---------|
| Trator                                 | Média | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Mediana | Assimetria | Curtose |
| A                                      | 13,68 | 0,36          | 2,66                    | 13,65   | 1,03       | 0,93    |
| B                                      | 13,47 | 0,49          | 3,63                    | 13,50   | -0,72      | 2,08    |
| C                                      | 13,67 | 1,54          | 11,24                   | 13,50   | 0,83       | 1,01    |
| D                                      | 17,18 | 3,14          | 18,28                   | 16,38   | 1,72       | 3,89    |
| E                                      | 16,44 | 1,17          | 7,14                    | 16,40   | -1,23      | 2,85    |
| <b>Antes da Adequação - TDP -E</b>     |       |               |                         |         |            |         |
| A                                      | 12,86 | 0,84          | 6,50                    | 12,92   | -1,83      | 6,41    |
| B                                      | 14,03 | 0,60          | 4,24                    | 13,92   | 1,84       | 5,24    |
| D                                      | 16,46 | 1,32          | 7,99                    | 16,31   | -0,01      | -1,00   |
| E                                      | 15,67 | 0,85          | 5,42                    | 15,86   | -0,22      | -0,92   |

Os valores médios de consumo horário de combustível para os tratores A, B, C, D e E utilizando a TDP Normal e para os tratores A, B, D e E para a variável TDP Econômica, realizados antes da adequação proposta, estão na Figura 5a e 5b, respectivamente. Cabe ressaltar que para os Tratores A e C, não foram realizadas adequações, devido ao fato que estes já se encontravam na relação massa/potência proposta (ao redor de  $33 kg kW^{-1}$ ), os valores foram mantidos para efeito comparativo na análise.



**Figura 5.** Consumo horário de combustível (L h<sup>-1</sup>) nas condições: a) TDP Normal; b) TDP-Econômica antes da adequação.

Os resultados encontrados antes da adequação, para a operação em TDP Normal, para os tratores A, B e C estão bem próximos entre si, com consumo de 13,68; 13,47 e 13,67 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratores D e E destoaram em comparação aos demais, apresentando maior consumo (17,17 e 16,44 L h<sup>-1</sup>, respectivamente).

Para a avaliação com a TDP Econômica, os valores encontrados para os tratores A, B, D e E para a variável consumo (L h<sup>-1</sup>), foram de 12,86 L h<sup>-1</sup>; 14,02 L h<sup>-1</sup>; 16,46 L h<sup>-1</sup> e 15,67 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Os tratores D e E apresentaram comportamento parecido à análise com a TDP Normal, apresentando maiores consumos. Tal fato pode estar associado ao projeto da máquina, a especificação do motor quanto aos mecanismos de recirculação de gases, bem como a fatores associados a admissão, compressão, expansão e escape.

Os valores de desvio padrão encontrados estão bem próximos à média para os tratores A e B. Para os tratores C, D e E, os valores encontrados para desvio padrão estão mais distantes da média para a avaliação dos tratores em TDP Normal e para o trator D em TDP-E, apresentando maior variação nos dados, refletindo nos valores de coeficiente de variação.

Os valores de coeficiente de variação, pode ser caracterizado como baixo (<10%) segundo Pimentel-Gomes e Garcia (2002), e médio (10% a 20%). Embora se tenha um valor considerado como médio, este valor encontra-se muito perto do que pode ser considerado baixo. Esses resultados implicam na qualidade dos dados mensurados, gerando confiabilidade nos resultados obtidos.

Os valores das medianas estão próximos aos valores médios encontrados nos tratores, com exceção do trator D avaliado em TDP Normal, em que o valor da mediana está menor que o valor da média, dessa forma a mediana apresentou maior sensibilidade a variação encontrada dos dados, traduzindo melhor a realidade do consumo para este trator.

Quanto a Assimetria e Curtose, observa-se que os tratores A e D apresentaram assimetria positiva dos dados. O trator E apresentou assimetria negativa, enquanto os tratores B e C apresentaram os dados simétricos. Para a avaliação em TDP-E, o trator B apresentou assimetria positiva, o trator A assimetria negativa e os tratores D e E apresentaram comportamento dos dados simétricos. Para a curtose todos os tratores apresentaram a distribuição dos dados classificados em platicúrtico, apresentando uma curva de frequência mais aberto que a curva da distribuição normal. Para a avaliação em TDP-E, os tratores A e B apresentaram distribuição dos dados em curva platicúrtica, enquanto os tratores D e E apresentaram a distribuição em curva classificada como Leptocúrtica, com a curva de frequência mais fechada que a distribuição normal.

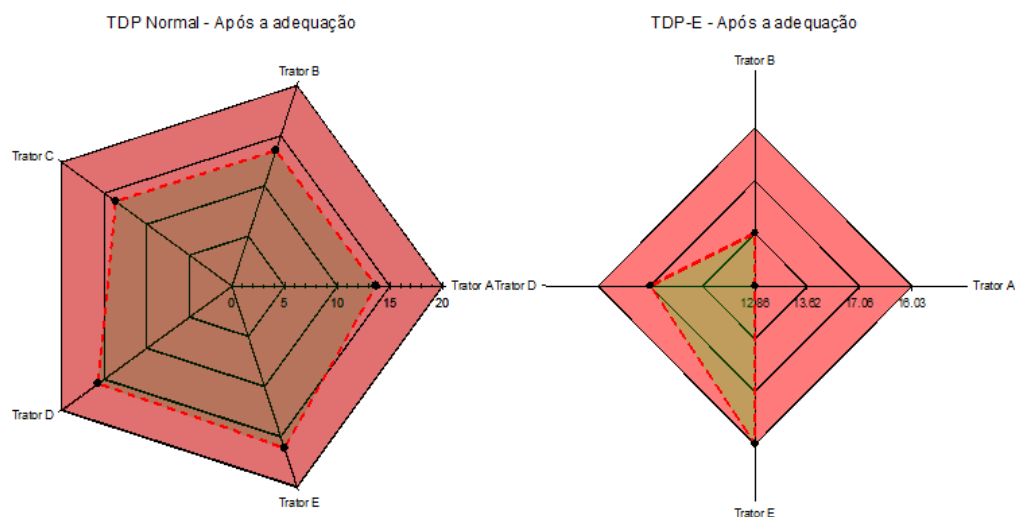
Na Tabela 5, encontram-se os valores de desvio padrão e coeficiente de variação (%) para os resultados encontrados de consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ) após a adequação dos tratores proposta para  $33 kg kW^{-1}$ .

**Tabela 5.** Estatística Descritiva para consumo ( $L h^{-1}$ ) para TDP Normal e Econômica após a adequação dos tratores.

| Após a Adequação - TDP Normal |       |               |                         |         |            |         |
|-------------------------------|-------|---------------|-------------------------|---------|------------|---------|
| Trator                        | Média | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação | Mediana | Assimetria | Curtose |

|                                  |       |      |       |       |       |       |
|----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| A                                | 13,68 | 0,36 | 2,66  | 13,65 | 1,03  | 0,93  |
| B                                | 13,52 | 0,91 | 6,76  | 13,45 | -0,04 | 1,68  |
| C                                | 13,67 | 1,54 | 11,24 | 13,50 | 0,83  | 1,01  |
| D                                | 15,76 | 0,78 | 4,92  | 15,61 | 0,71  | 0,01  |
| E                                | 16,18 | 1,19 | 7,33  | 16,24 | -0,19 | 0,23  |
| <b>Após a Adequação - TDP -E</b> |       |      |       |       |       |       |
| A                                | 12,86 | 0,84 | 6,50  | 12,92 | -1,83 | 6,41  |
| B                                | 13,63 | 0,46 | 3,38  | 13,59 | 0,02  | 0,98  |
| D                                | 17,06 | 0,76 | 4,43  | 17,03 | -0,04 | -0,97 |
| E                                | 16,03 | 0,89 | 5,58  | 15,99 | -0,15 | -0,68 |

Os valores de consumo horário de combustível para os tratores A, B, C, D e E para a TDP Normal (Figuras 6a) e para os tratores A, B, D e E com a TDP Econômica (Figuras 6b), após a adequação proposta demonstram que trabalhando na TDP Normal o trator B apresentou o menor consumo quando comparado aos demais tratores ( $13,52 \text{ L h}^{-1}$ ). O trator E obteve o maior consumo de combustível ( $16,18 \text{ L h}^{-1}$ ), enquanto os tratores A, C e D apresentaram consumo de  $13,68$ ;  $13,67$  e  $15,76 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente. Trabalhando na TDP-E, o trator A apresentou o menor consumo ( $12,86 \text{ L h}^{-1}$ ), seguido pelos tratores B, E e D, com  $13,62$ ;  $16,03$  e  $17,06 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente.



**Figura 6.** Consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ) nas: a) TDP Normal; b) TDP-Econômica após a adequação.

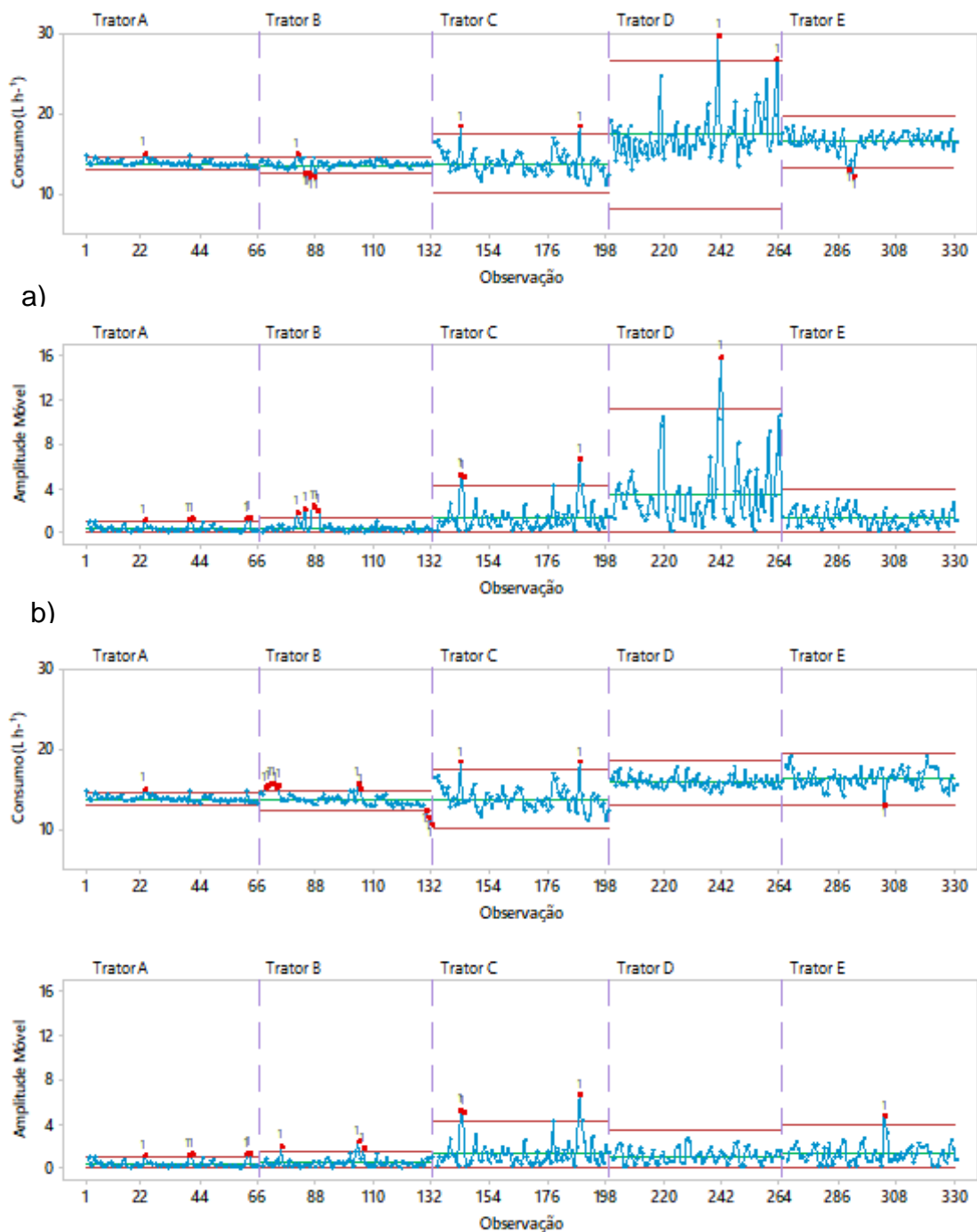
Os valores de desvio padrão encontrados estão bem próximos à média para todos os tratores, com exceção do trator C avaliado em TDP Normal, refletindo no coeficiente de variação (%), que é o mais elevado dentre os tratores avaliados.

De acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002), os valores de coeficiente de variação podem ser caracterizados como baixo (<10%) e médio (10% a 20%). Embora se tenha um valor considerado como médio, este valor encontra-se próximo do que pode ser considerado baixo. Esses resultados implicam na qualidade dos dados mensurados, gerando confiabilidade nos resultados obtidos.

As medianas estão bem próximas com os valores médios encontrados para todos os tratores.

Quanto a Assimetria e Curtose, observa-se que o trator A apresentou assimetria positiva dos dados. Os demais tratores apresentaram os dados simétricos. Para a avaliação em TDP-E, o trator A obteve assimetria negativa e nos demais tratores o comportamento dos dados foram simétricos. Para a curtose todos os tratores apresentaram a distribuição dos dados classificados em platicúrtico, com curva de frequência mais aberta que a curva da distribuição normal. Para a avaliação em TDP-E, os tratores A e B apresentaram distribuição dos dados em curva platicúrtica, enquanto nos tratores D e E a distribuição em curva foi classificada como Leptocúrtica, com a curva de frequência mais fechada que a distribuição normal.

Na Figura 7, encontram-se os dados obtidos por tratores para a análise em TDP Normal antes e após a adequação.



**Figura 7.** Cartas de controle de valores individuais referente ao consumo horário de combustível dos tratores trabalhando na TDP Normal antes (a) e após (b) a adequação. LSC = Limite Superior de Controle; X = Média; LIC = Limite Inferior de Controle.

Todos os tratores apresentaram processos fora de controle tanto para consumo ( $L h^{-1}$ ) quanto para amplitude móvel antes da adequação, indicando

instabilidade de processo tendo como causa alguns dos fatores relacionados ao 6M's: método, matéria-prima, mão de obra, máquinas, medição e meio ambiente.

Observando cada trator, verifica-se que o trator A obteve comportamento com os pontos ao redor da média ( $13,68 \text{ L h}^{-1}$ ), a amplitude dos pontos foi baixa, mesmo apresentando baixa variação, o trator A apresentou instabilidade de processo, ocorrendo ponto fora de controle, tal fato, pode estar associado ao relevo do terreno que apresentou ondulações fazendo com que o motor tenha uma maior exigência em função da declividade.

Para o trator B, observou-se maior quantidade de pontos fora de controle, indicando causa espacial ocorrendo no processo, além de ter uma amplitude maior nas linhas LSC e LIC, respectivamente. Os pontos ao redor da média ( $13,47 \text{ L h}^{-1}$ ) apresentam maior variação em seu comportamento. Os pontos fora de controle podem estar associados ao relevo do terreno, com condições topográficas que dificultavam o trator a trabalhar nas regulagens desejadas, exigindo do trator em certos momentos maior quantidade de força para trabalhar na condição desejada (velocidade de  $7,8 \text{ km h}^{-1}$  e rotação de 540 rpm na TDP).

Quanto ao trator C, os dados obtidos indicam instabilidade no processo (pontos fora de controle), uma amplitude elevada ao redor da média. Essa instabilidade do processo pode ser atribuída ao trator e ao relevo do terreno que exigia em determinadas condições mais força (torque) do trator para se adequar a condição desejada de operação.

Nota-se para essas três marcas de tratores (A, B e C) que mesmo apresentando comportamento distintos, com LSC e LIC, e variabilidade distinta ao redor da média, a média geral de consumo trabalhando na TDP Normal apresentou valores próximos,  $13,68 \text{ L h}^{-1}$ ,  $13,47 \text{ L h}^{-1}$  e  $13,67 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente.

Quanto ao trator D, percebe-se que houve a maior média, a maior dispersão dos pontos ao redor da média e maior amplitude entre os limites (LSC e LIC).

O trator E apresentou instabilidade no processo com ponto fora de controle, além de apresentar variabilidade dos dados ao redor da média ( $16,44 \text{ L h}^{-1}$ ), porém não apresentou pontos fora de controle no gráfico de amplitude

móvel, indicando que a variação existente ficou dentro do previsto de acordo com a metodologia adotada.

Cabe ressaltar, também, que todas as marcas de tratores, apresentam condições específicas de motor, atendendo a norma CONAMA 433/2011, estando na fase do MAR I. Cada trator apresenta um ciclo de controle para a emissão de gases no escapamento, algumas marcas fazem a recirculação destes gases, controlando a emissão, tal fato gera a queima incompleta do combustível, fazendo com que os tratores consumam maior quantidade de combustível.

Os tratores D e E são fabricados pela mesma empresa, portanto, apresentam o mesmo motor. O motor dessas duas marcas apresenta um componente eletrônico que regula a operação e a exigência do trator durante a operação. Os tratores estão adaptados a fase MAR I da resolução CONAMA. Além de ter a recirculação dos gases controlada internamente e uma certa quantidade de combustível que fica circulando no motor até ser queimada, esse motor também apresenta uma funcionalidade de que ao perceber que o torque está caindo, ele injeta uma certa quantidade de combustível para que o trator trabalhe sempre na condição desejada programada. Diferentes fabricantes de motores usam estratégias diferentes para manter suas emissões dentro do limite legal (Larsson e Hansson, 2011).

Após a avaliação foi feita a adequação dos tratores de acordo com a recomendação já citada para manter a operação com uma relação massa/potência ao redor de  $33 \text{ kg kW}^{-1}$ . Baseado nisso, foi feito os ajustes para os tratores B, D e E.

O consumo horário de combustível ( $\text{L h}^{-1}$ ) para o trator B praticamente não houve alteração ( $13,52 \text{ L h}^{-1}$ ). Para o trator D, observa-se que houve uma alteração no comportamento dos dados, apresentando após a adequação, os pontos dentro dos limites superior e inferior, com menor consumo médio ( $15,76 \text{ L h}^{-1}$ ), menor variabilidade dos pontos ao redor da média e menor amplitude entre os limites. A mesma observação pode ser feita para a carta de amplitude móvel. Para o trator E, houve pontos fora de controle, o consumo apresentou pouca alteração, porém, nota-se maior quantidade de pontos agrupados ao redor da média, e para a carta de amplitude móvel, houve ponto fora de controle, devido

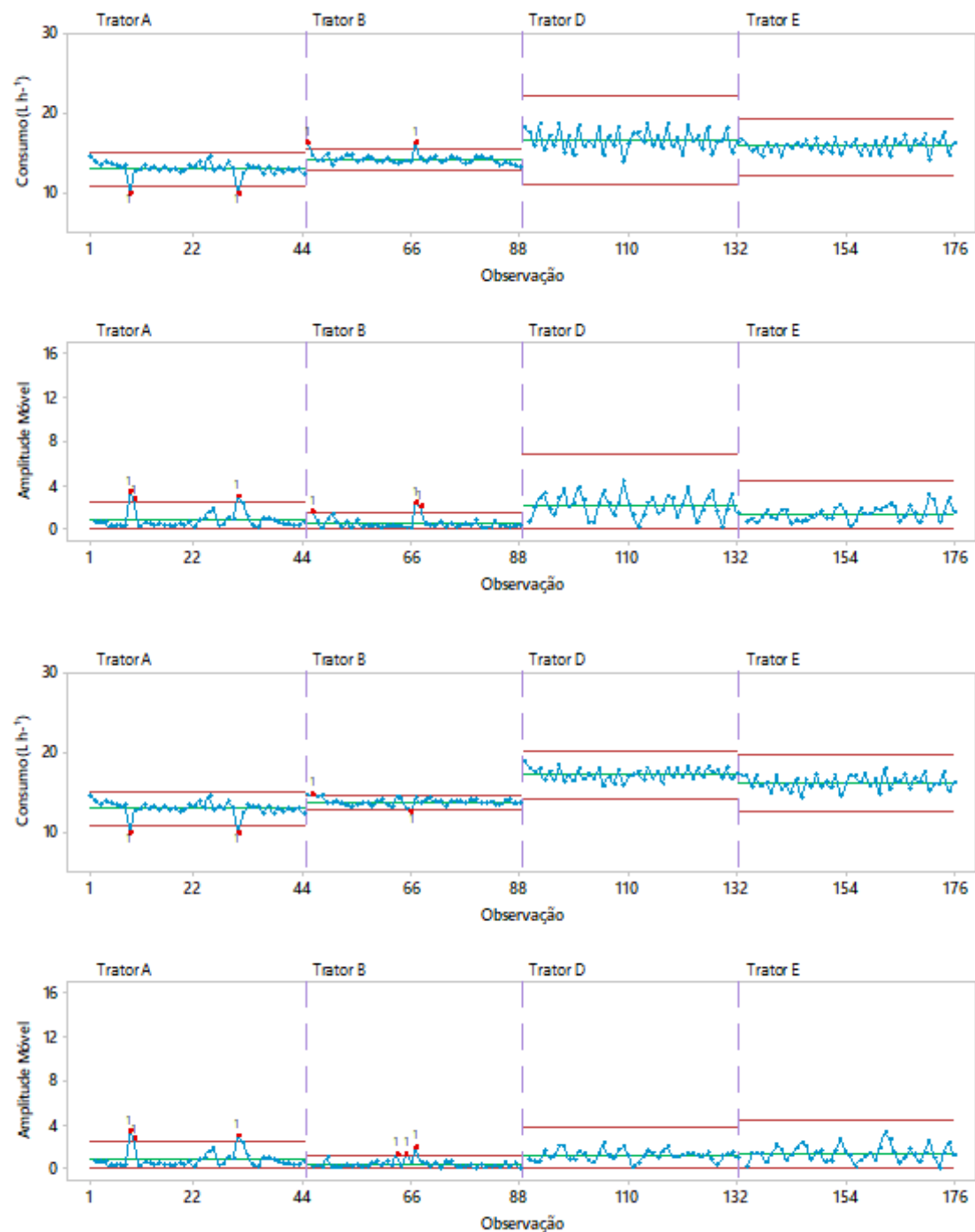
à alta amplitude da carta de controle no ponto que apresentou comportamento inesperado abaixo do limite inferior crítico.

Trabalhando na TDP Econômica (Figura 8), o trator A apresentou pontos fora de controle, bem como o trator B, com consumos de  $12,86 \text{ L h}^{-1}$  e  $14,02 \text{ L h}^{-1}$ , respectivamente antes da adequação. Observa-se para o trator A maior amplitude entre os limites críticos. O trator B apresentou menor amplitude entre os limites. Para os dois tratores, nota-se os pontos ao redor da média.

O trator C não apresentava a configuração de TDP Econômica, portanto, não houve avaliação.

Para o trator D e E não houve pontos fora de controle, o mesmo comportamento foi observado para amplitude móvel. O trator D apresentou maior amplitude entre os limites com os pontos ficando ao redor da média ( $16,46 \text{ L h}^{-1}$ ), já o trator E obteve limites críticos menores e pontos ao redor da média ( $15,67 \text{ L h}^{-1}$ ).

Os tratores D e E não apresentaram pontos fora de controle, observa-se para o trator D uma amplitude menor nos limites críticos, bem como os pontos ao redor da média ( $17,06 \text{ L h}^{-1}$ ), o mesmo comportamento pode ser atribuído ao trator E ( $16,03 \text{ L h}^{-1}$ ).



**Figura 8.** Cartas de controle de valores individuais referente ao consumo horário de combustível dos tratores trabalhando na TDP Econômica. LSC = Limite Superior de Controle; X = Média; LIC = Limite Inferior de Controle.

#### 4.4 Discussão

Observa-se para todas as avaliações, um comportamento parecido entre os tratores, independente do uso da TDP Econômica, bem como a adequação proposta. Podemos inferir que os fatores máquina com a adaptação do motor à resolução COMAMA, com recirculação dos gases até ocorrer a queima do combustível, bem como características de injeção de combustível após detecção de queda de rotação exigindo maior torque, associadas ao relevo (meio-ambiente) e à operação de pulverização, que não exige tanta energia do trator, são provavelmente, os fatores causadores do consumo horário de combustível estar entre 13 a 16 L h<sup>-1</sup>. Embora os resultados tenham apresentado comportamento semelhante, medir o desempenho do trator em condições de campo é essencial para uma compreensão mais completa do desempenho real em várias fases de trabalho das operações (Pitla et al., 2016).

Torna-se relevante a escolha de implementos corretamente, de acordo com a potência e as operações do trator a serem realizadas (Janulevičius et al., 2013).

Atualmente, os usuários tendem a comprar tratores menores, porém mais potentes. Essa tendência leva ao uso de implementos menores, mas tendo em mente que a potência do trator, o consumo horário de combustível e as emissões de escape aumentam (Juostas, 2009; Lindgren, 2011; Lewis, 2012).

Os resultados encontrados para avanço ficaram entre 1% a 5%, estudos realizados por Stoilov e Kostadinov (2009), mostraram que o trator gera o maior avanço das rodas dianteiras em solo arenoso, apresentando como recomendações valores de 3 a 4% em solos arenosos, enquanto para solos argilosos o valor recomendado é de 1% a 2% (Szente, 2009). O avanço das rodas dianteiras não é padrão para todos os tratores e muda dependendo do tamanho dos pneus usados e dos diferentes modelos de tratores. Nos tratores agrícolas, o avanço das rodas dianteiras é geralmente de 2 a 3% (Janulevičius et al., 2017, Molari et al., 2012, Stoilov e Kostadinov, 2009).

A utilização correta do conjunto motomecanizado, trator-equipamento, pode gerar uma significativa economia de consumo de energia e, portanto, menor custo operacional e maior lucro para a empresa. Em tratores agrícolas com tração dianteira auxiliar (4x2 TDA), quando a TDA é ligada, ocorre má

ligação rígida entre os eixos dianteiro e traseiro: eixo dianteiro gira com uma rotação maior que o eixo traseiro, essa diferença percentual se denomina avanço cinemático. Esse avanço pode variar de acordo com os modelos dos tratores, porém, a faixa ideal é de 1% a 5%. O avanço ocorre com o intuito de corrigir a diferença de diâmetro entre as rodas dianteira e traseira do trator (Linares, 1996; Rackham e Blight, 1985).

Como as rodas dianteiras são menores, elas precisam girar mais rapidamente do que as rodas traseiras para fornecer aproximadamente a mesma velocidade no solo para os dois pneus. Além dessa diferença de velocidade, as rodas dianteiras costumam girar um pouco mais rápido que a velocidade que daria exatamente a mesma velocidade no solo dos pneus traseiros (Molari et al., 2012). Esse avanço das rodas dianteiras varia entre os modelos de trator, mas geralmente varia de 1,5% a 3%. Qualquer valor de avanço das rodas dianteiras na faixa de 1% a 4% é considerado aceitável quando o trator está trabalhando em solo mole (Molari et al., 2012). O avanço positivo das rodas dianteiras nunca deve ser inferior a 1% e nunca superior a 4%; caso contrário, os pneus sofrerão deformações ou desgaste inadequado. Se o valor do avanço das rodas dianteiras for muito alto, o trator poderá saltar excessivamente sobre o eixo dianteiro, causando desgaste rápido dos pneus dianteiros e o solo poderá sofrer deformação sob os pneus dianteiros. Se o avanço das rodas dianteiras for muito baixo ou abaixo de zero, as rodas traseiras estarão tentando empurrar as rodas dianteiras e a circulação de potência ocorrerá na transmissão (Stoilov e Kostadinov, 2009; Vantsevich e Gray, 2009, Janulevičius e Pupinis, 2013). Isso pode resultar em falha na transmissão, desgaste excessivo dos pneus, condução irregular, aumento do círculo de viragem do trator e aumento do consumo horário de combustível.

De acordo com Pitla et al. (2016) o uso de carga e o consumo horário de combustível variam em diferentes magnitudes em um determinado campo de trabalho para a mesma operação, corroborando para o efeito do relevo e oscilações topográficas como fator de elevação de consumo.

Larsson e Hansson (2011), relatam que as alterações para emissão de poluentes compreendem principalmente reduções substanciais na acidificação e eutrofização do catalisador SCR. Essas alterações estão associadas a

alterações nas emissões de exaustão do trator e ocorrem ao custo do consumo de metais raros e ao consumo horário de combustível um pouco maior.

Lovarelli et al. (2018), encontraram em seu estudo sobre consumo horário de combustível e emissões de escape durante atividade de trator à campo que baixas velocidades de motor (<1.100 rpm) resultam em valores mais elevados de ineficiência, elevando o consumo e a emissão de poluentes, quando comparado a operações com velocidade superior a 1.100 rpm.

#### **4.5 Conclusão**

Houve pouca variação no consumo horário de combustível ( $L h^{-1}$ ) independente da configuração avaliada.

O trator D apresentou alteração no seu comportamento após a adequação de lastro, justificando que há relação entre massa/potência e consumo horário de combustível.

As configurações de lastro e avanço ficaram dentro dos padrões recomendados.

As características dos novos motores podem influenciar no consumo final de combustível.

Testes devem ser realizados para avaliar o comportamento do motor submetidos à diferentes operações agrícolas.

#### **Agradecimentos**

O autor agradece a Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo N.º 134637/2018-6 pela concessão de bolsa.

#### 4.6 Referências

Bacenetti J, Lovarelli D, Facchinetti D, Pessina D (2018) An environmental comparison of techniques to reduce pollutants emissions related to agricultural tractors. **Biosystems Engineering** 171:30-40. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.04.014>

Baltrėnas P, Vaitiekūnas P, Vasarevičius S, Jordaneh S (2008) Modelling of motor transport exhaust gas influence on the atmosphere. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management** 16:65-75. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2008.16.65-75>

Čipliesnė A, Gurevičius P, Janulevičius A, Damanauskas V (2019) Experimental validation of tyre inflation pressure model to reduce fuel consumption during soil tillage. **Biosystems Engineering** 186:45-59. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.06.023>

Ettl J, Bernhardt H, Pickel P, Remmele E, Thuneke K, Emberger P (2018) Transfer of agricultural work operation profiles to a tractor test stand for exhaust emission evaluation. **Biosystems Engineering** 176:185-197. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.016>

Farm Energy Innovation Program - NSW Efficient Farm Vehicles (2013) **Tractor ballasting**, 5pp. Disponível em: <<https://www.aginnovators.org.au/sites/default/files/Efficient%20Farm%20Vehicles%20-%20Tractor%20ballasting.pdf>> Acesso em: 01 jul. 2020.

Forastiere PR (2016) **Parâmetros de desempenho do trator agrícola modificado "Transformax"**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV – Viçosa.

Goering CE (1992). Engine and tractor power. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 92 p.  
Intelligent Energy Europe (2012) Fuel Efficiency – **Reducing your fuel bill and helping the environment**. [Online]. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/iee\\_implementation\\_report\\_2011\\_final\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/easme/sites/easme-site/files/iee_implementation_report_2011_final_en.pdf)> Acesso em: 15 maio 2020.

Janulevičius A, Šarauskius E, Čipliesnė A, Juostas A (2019) Estimation of farm tractor performance as a function of time efficiency during ploughing in fields of

different sizes. **Biosystems Engineering.** 179:80-93  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004>

Janulevičius A, Juostas A, Pupinis G (2013) Engine performance during tractor operational period. **Energy Conversion and Management** 68:11-19  
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.01.001>

Janulevičius A, Damanauskas V, Pupinis G (2018) Effect of variations in front wheels driving lead on performance of a farmtractor with mechanical front-wheel-drive. **Journal of Terramechanics** 77:23-30  
<https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.02.002>

Janulevičius A, Pupinis G, Lukštas J, Damanauskas V, Kurkauskas V (2017) Dependencies of the lead of front driving wheels on different tire deformations for a MFWD tractor. **Journal Transport** 32:23–31.  
<https://doi.org/10.3846/16484142.2015.1063084>

Janulevičius A, Pupinis G (2013) Power circulation in driveline system when the wheels of tractor and trailer are driven. **Journal Transport** 28:313-321.  
<https://doi.org/10.3846/16484142.2013.832378>

Juostas A, Janulevičius A (2009) Evaluating working quality of tractors by their harmful impact on the Environment. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management** 17:106-113 <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.106-113>

Larsson G, Hansson PA (2011) Environmental impact of catalytic converters and particulatefilters for agricultural tractors determined by life cycle assessment. **Biosystems Engineering.** 109:15-21  
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.01.010>

Lindgren M, Arrhenius K, Larsson G, Bäfver L, Arvidsson H, Wetterberg C, Hansson PA, Rosell L (2011) Analysis of unregulated emissions from an off-road diesel engine during realistic work operations. **Atmospheric Environment.** 45(30):5394-5398. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.046>

Lewis P, Leming M, Rasdorf W (2012) Impact of Engine Idling on Fuel Use and CO<sub>2</sub> Emissions of Nonroad Diesel Construction Equipment. **Journal Of Management In Engineering** 28:31-38  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000068](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000068)

Linares P (1996) Teoria de la tracción de tractores agrícolas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 157 p.

Lopes A, Furlani CEA, Silva RP (2003) Desenvolvimento de um protótipo para medição de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática** 5:24-31.

Lovarelli D, Fiala M, Larsson G (2018) Fuel consumption and exhaust emissions during on-field tractor activity: A possible improving strategy for the environmental load of agricultural mechanisation. **Computers and Electronics in Agriculture** 151:238-248. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.06.018>

Molari G, Bellentani L, Guarnieri A, Walker M, Sedoni E (2012) Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. **Biosystems Engineering** 111:57-63. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.10.008>

Montgomery, D.C (2009) Control charts for variables. In: Montgomery, D.C. Introduction to statistical quality control. Arizona: Wiley, v.6

Osinenko PV, Geissler M, Herlitzius T (2015) A method of optimal traction control for farm tractors with feedback of drive torque. **Biosystems Engineering** 129:20-33. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.009>

Pimentel-Gomes F, Garcia CH (2002) **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: Fealq, 309p.

Pitla SK, Luck JD, Werner J, Lin N, Shearer SA (2016) In-field fuel use and load states of agricultural field machinery. **Computers and Electronics in Agriculture** 121:290-300. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.12.023>

Rackham DH, Blight DP (1985) Four wheel drive tractors – A review. *Journal of Agricultural Engineers*, v.56, p.185- 201.

Regazzi N, Maraldi M, Molari G (2019) A theoretical study of the parameters affecting the power delivery efficiency of an agricultural tractor. **Biosystems Engineering** 186:214-227. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.07.006>

Schlosser JF, Debiasi H, Willes JA, Machado ODC (2005) Análise comparativa do peso específico dos tratores agrícolas fabricados no Brasil e seus efeitos sobre a seleção e uso. **Ciência Rural** 35:92-97. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782005000100014>

Sendžikienė E, Makarevičienė V, Kalenska S (2012) Exhaust emissions from the engine running on multi-component fuel. **Journal Transport** 27:111-117 <https://doi.org/10.3846/16484142.2012.690138>

Stoilov S, Kostadinov GD (2009) Effect of weight distribution on the slip efficiency of a four-wheel-drive skidder. **Biosystems Engineering** 104:486–492. <http://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.08.011>

Szente, M (2005) Slip calculation and analysis for four-wheel drive tractors. **Progress in Agricultural Engineering Sciences** 1:7–31 <http://doi.org/10.1556/Progress.1.2005.1.2>

Vantsevich VV, Gray JP (2009) Fuel economy and mobility of multi-wheel drive vehicles: modeling and optimization technology. In: PROCEEDINGS OF THE 2009 GROUND VEHICLE SYSTEMS ENGINEERING AND TECHNOLOGY SYMPOSIUM. **Resumos...** p. 1–8. Novi: NDIA Disponível em: <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a505904.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

Worldwide Emissions Standards – Delphi (2011/2012) Heavy Duty and Off-Road Vehicles. Disponível em: < [https://www.delphi.com/sites/default/files/inline-files/2016-2017-heavy-duty-amp-off-highway-vehicles\\_0.pdf?sfvrsn=0.03636262961639791&status=Temp](https://www.delphi.com/sites/default/files/inline-files/2016-2017-heavy-duty-amp-off-highway-vehicles_0.pdf?sfvrsn=0.03636262961639791&status=Temp) >. Acesso em: 05 jul. 2020.

## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

É fundamental a escolha correta do trator para ser utilizado nas operações agrícolas mecanizadas. No caso de pomares em citros, a escolha deve atender critérios que envolvem características dimensionais e ponderais para que possa se adequar ao pomar, principalmente quando adensado, critérios ergonômicos que envolvem a saúde do operador, critérios de desempenho e consumo de combustível.

A escolha indevida do trator pode propiciar danos a estrutura do mesmo por não ser compatível com o espaçamento entre ruas de citros, podendo gerar dificuldade de manobra por apresentar maior raio de giro. Quanto ao operador, este pode ser prejudicado pela disposição dos comandos na cabine do trator, gerando maior fadiga e ocasionando lesões por esforço repetitivo.

Outro ponto muito importante a ser considerado é o consumo de combustível. Para isso é fundamental a escolha do trator que consiga exercer a atividade proposta dentro das faixas ideais de relação massa/potência. Dessa forma evitará o aumento do consumo de combustível, minimizando as perdas do produtor e aumentando a eficiência na produção agrícola.

Diante dessas considerações, a proposta metodológica desse trabalho é capaz de auxiliar na melhor escolha e adequação dos tratores para as atividades designadas, no caso para a pulverização na cultura do citros.

Deve ser levado em consideração os novos motores agrícolas adaptados a fase MAR-1, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dessa forma testes devem ser realizados para avaliar o comportamento dos motores submetidos a diferentes operações agrícolas.