UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

MODELO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE FROTAS PARA A CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

Tiago de Oliveira Tavares
Engenheiro Agrônomo

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

MODELO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE FROTAS PARA A CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

Tiago de Oliveira Tavares
Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Leonardo Campos de Assis

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

2019

Tavares, Tiago de Oliveira
T231m Modelo computacional para análise do dimensionamento de frotas para a cafeicultura do Cerrado mineiro / Tiago de Oliveira Tavares. – – Jaboticabal, 2019
127 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Coorientador: Leonardo Campos de Assis

1. Dimensionamento de máquinas agrícolas. 2. Planejamento. 3. Mecanização agrícola. 4. *Coffea arabica*. 5. Máquinas agrícolas. I. Título.

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

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: MODELO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE FROTAS PARA A CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

AUTOR: TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES
ORIENTADOR: ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
COORIENTADOR: LEONARDO CAMPOS DE ASSIS

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

Prof. Dr. ROUVERSON PEREIRA DA SILVA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. CARLOS EDUARDO ANGELI FURLANI
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOÃO PAULO BARRETO CUNHA
Departamento de Engenharia-Instituto de Tecnologia/UFRRJ / Seropédica/RJ

Prof. Dr. RENATO ADRIANE ALVES RUAS
Campus Rio Paranaíba-UFV / Rio Paranaíba/MG

Prof. Dr. ALBERTO CARVALHO FILHO
Campus Rio Paranaíba-UFV / Rio Paranaíba/MG

Jaboticabal, 08 de abril de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

TIAGO DE OLIVEIRA TAVARES – nascido em Presidente Olegário, Minas Gerais, no dia 11 de novembro de 1990, filho de Nelson Luiz Tavares e Vanilda Andrade de Oliveira Tavares. Cursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual de Ponte Firme, município de Presidente Olegário. O Ensino Médio foi cursado na Escola Estadual Juvêncio Martins Ferreira também conhecida como Escola Agrícola de Unaí/MG, tendo finalizado no ano de 2008. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2009 no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo, pelo Centro Universitário do Planalto de Araxá – UNIARAXA em Dezembro de 2013. Iniciou sua carreira na Cooperativa Agropecuária de Araxá, Minas Gerais, em Julho de 2010 como responsável técnico do Campo Experimental de Café, onde conduziu por quatro anos diversos experimentos na formação, condução e colheita da cultura do café. Em agosto de 2014, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no Programa de Ciência do Solo, pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, sendo bolsista CAPES, no Departamento de Engenharia Rural, desenvolvendo suas pesquisas e fazendo parte do LAMMA - Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola. Em Fevereiro de 2016 obteve o título de Mestre em Agronomia. Em Março de 2016 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia, nesta mesma Universidade. Atua nas áreas de cafeicultura, máquinas e mecanização agrícola, controle de qualidade nas operações agrícolas mecanizadas, dimensionamento de frota agrícola. Membro da SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola e da ACA – Associação dos Cafeicultores de Araguari, na qual participa da organização de eventos realizados na área. Em abril de 2019, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

“O número 22.

Antes era apenas um número, aos poucos foi criando formas e significados (...) Aniversário do meu pai, de minha mãe, de minha namorada, era o número da camisa do ídolo do futebol na infância, algumas vezes foi o meu número na lista de presença do professor, em determinada ocasião foi o número do apartamento em que morei, ao ser presenteado pelo meu orientador com uma camiseta percebi também que eu fui seu orientado número 22. No ano de 2017 mais uma vez este número marcou minha vida, no dia 22 de agosto, aniversário de 50 anos de minha mãe, poucas horas após eu lhe dar os parabéns recebo uma ligação dela dizendo que havíamos perdido meu avô materno Augostinho (...). com toda certeza é um número que representa muito em minha vida.”

Tiago de Oliveira Tavares

Dedico esta obra aos meus pais, Vanilda e Nelson, que são exemplos de garra e seriedade por toda minha vida. Dedico aos meus avós Augostinho (*in memoriam*) e Maria e Maura e Zico por todo amor e respeito transmitido a mim desde sempre. É com muita alegria que dedico este trabalho, principalmente a eles.

DEDICO

Ofereço a todos os profissionais ligados à cafeicultura. Todo o estudo foi em busca de trazer informações para embasar e facilitar a atividade em campo.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente e acima de tudo, a Deus, pela força e pela fé, que faz brotar dentro de cada um de nós, em cada momento das nossas vidas.

À Universidade Estadual Paulista – UNESP, Câmpus de Jaboticabal e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e seus professores pela oportunidade de aperfeiçoamento.

Agradecimento às Instituições que forneceram a bolsa de estudos durante a realização do doutorado. Por 17 meses, o trabalho foi realizado com o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Durante os 19 meses restantes, o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Unesp de Jaboticabal e a todos os seus funcionários, principalmente ao Davi Trevizolli, por toda boa vontade de ajudar em tudo de forma tão ágil. Agradeço também ao Tiãozinho, Maranhão, Uanderson e ao Donizete, pelas inúmeras e divertidas conversas durante esse tempo.

Ao Professor Rouverson Pereira da Silva, Dr. orientador, com sua forma ímpar de exercer a orientação, contribuiu de forma gigantesca para o profissional que me tornei. Agradeço pela amizade e por você ser essa pessoa tão racional e emocional, obrigado por ser o “orientador águia”, que escolhe os picos mais altos para segurança de seus filhotes e, no momento correto, joga-os para que aprendam a voar sozinhos, parabéns pelo dom que tem para formar pessoas.

Ao Professor Leonardo Campos de Assis, Dr. coorientador, pelo aceite, pela amizade e pelas conversas ocorridas no decorrer do trabalho; acima de tudo, pela confiança que sempre me passou.

À Elizabeth, pelas inúmeras discussões, sugestões e contribuições neste trabalho, principalmente com sugestões na parte estatística. Agradeço também à Professora Aline Claro, do Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) da Uniube,

pelas sugestões e contribuições na parte de mapeamento e caracterização física das propriedades estudadas.

Aos professores Carlos Eduardo Angeli Furlani, Dr.; João Paulo Barreto Cunha, Dr., Alberto Carvalho Filho, Dr., e Renato Adriane Alves Ruas, Dr., por terem aceito compor a banca examinadora e pelas contribuições ao trabalho.

Às Instituições que deram apoio à pesquisa: Projeto Educampo-Café, SEBRAE-MG, Coopercitrus filial de Araxá e C3 Consultoria e Pesquisa. Em especial à pessoa de Rodrigo Ticle Ferreira, que foi um grande parceiro no desenvolvimento deste projeto.

Às Fazendas Dona Sinhá, Vale e Mata, Olhos D'água, São Pedro (J), São Pedro (JHG), Santa Maria, São Matheus, Gravatá, CG, Cruzeiro, Santa Hermínia, Seu Lulu e Luar, Gaúcha e Panorama, assim como a seus respectivos colaboradores. Agradecimento especial aos proprietários destas fazendas, pela abertura na realização das análises desta pesquisa.

À minha família, por ter me acompanhado por todo o caminho, por compreender a escassez de minha presença, mas sempre incentivando e apoiando todos os meus passos; tudo que fiz e consegui foi inspirado em vocês; em especial aos meus pais Nelson e Vanilda, por todos os conselhos, por todos os “nãos”, por todas as “ordens”; tudo que algum dia eu possa ter achado ruim hoje eu agradeço, compreendo que às vezes é necessário dar um passo para trás para dar dois para frente. Obrigado por nunca medirem esforços em me ajudar e me ver feliz e no caminho certo. Vocês são meus maiores títulos!

Aos colegas e amigos da UNESP/Jaboticabal, principalmente aos integrantes do LAMMA (Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola), pelo companheirismo durante meu caminho trilhado aqui, obrigado por todos os momentos de aprendizado e de descontração.

Aos amigos com quem dividi moradia durante esses quatro anos e meio em Jaboticabal: Felipe, Watus, Borba, Fabiano, Pablo, Marcelo, Edenilson, Sandro e Antônio.

Aos amigos dos vários lugares por onde passei até chegar aqui, por todo o incentivo que me deram, de todas as formas, de perto ou de longe.

Aos amigos que se tornaram família: Pedro, Edna e Cristian por todo o apoio que me deram durante minha estada em Araxá para o desenvolvimento deste projeto.

Em especial, agradeço à Cristiane, que teve a calma e a paciência de esperar os meus tempos e ajudar-me nos momentos difíceis, que abdicou para que eu pudesse finalizar mais esta etapa me sentindo-me apoiado e amado, meu muito obrigado para uma pessoa mais que especial.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para tornar este momento possível, fica aqui a minha gratidão.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE TABELAS XII
LISTA DE FIGURAS XIII
RESUMO XVII
ABSTRACT XVIII
1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21
2.1 Cafeicultura brasileira 21
2.2 Cafeicultura de cerrado 24
2.3 Mecanização na cafeicultura 25
2.4 Sistemas mecanizados agrícolas 27
3 MATERIAL E MÉTODOS 31
3.1 Descrição da pesquisa 31
3.2 Coleta de dados 34
3.3 Análises estatísticas 36
3.3.1 Estatística descritiva 36
3.3.2 Análise de regressão e correlação 37
3.3.3 Análise multivariada 37
3.4 Desenvolvimento do modelo de planejamento 38
3.5 Calibração do modelo 40
3.6 Avaliação do modelo 41
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
4.1 Caracterização das propriedades 43
4.1.1 Análise descritiva 43
4.1.2 Análise de correlação e regressão 48
4.1.3 Análise multivariada 61
4.2 Desenvolvimento do modelo de planejamento 67
4.2.1 Operações de tratos culturais 70

4.2.2 Operações de colheita.....80
4.2.3 Modelo de planejamento 94
4.3 Calibração do modelo de planejamento 99
4.4 Avaliação do modelo de planejamento.....101
5 CONCLUSÕES.....110
6 REFERÊNCIAS 111
7 ANEXOS.....119
7.1 Anexo 1: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Dona Sinhá (P1) e Fazenda Vale/Mata (P2), Araxá/MG.....119
7.2 Anexo 2: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Olhos D'água (P3), São Pedro JHG (P5) e Gravatá (P8), Ibiá/MG.....120
7.3 Anexo 3: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas São Pedro J (P4), Fazenda Santa Maria (P6) e Fazenda São Matheus/Malhada (P7), Ibiá/MG. 121
7.4 Anexo 4: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Santa Hermínia/Cachoeira (P11) e Seu Lulu/Luar (P12), Perdizes/MG.....122
7.5 Anexo 5: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Cruzeiro (P10) e Fazenda CG (P9), Perdizes/MG.....123
7.6 Anexo 6: Modelo digital de elevação (MDE) da Fazenda Gaúcha (P13), Presidente Olegário/MG.....124
7.7 Anexo 7: Modelo digital de elevação (MDE) da Fazenda Panorama (P14), Tapira/MG.....125
7.8 Anexo 8: Máquinas utilizadas na cafeicultura brasileira.....126

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1. Dimensões das lavouras e declividade médias das propriedades utilizadas na pesquisa. 33

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis área de café (ha), número de tratores, pulverizadores hidropneumáticos, pulverizador hidráulico (herbicida), trituradores, roçadoras, adubadoras, arruadores/sopradores, colhedoras, recolhedoras, carretas e declividade. ...50

Tabela 3. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise não hierárquica de agrupamentos k-means. 63

Tabela 4. Autovalores gerados da matriz de covariância para características das propriedades. 65

Tabela 5. Correlação entre cada componente principal e as variáveis estudadas. 66

Tabela 6. Predominância de máquinas nas propriedades cafeeiras. 69

Tabela 7. Demanda de horas máquina por ha para cada atividade durante o ano. 92

Tabela 8. Dias úteis mensais para realização das operações mecanizadas nas fazendas cafeeiras. 92

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Fluxograma do processo de análise e aquisição de máquinas e implementos. Adaptado de Mialhe 1974 *apud* Milan (2013). 30

Figura 2. Região de realização da pesquisa no estado de Minas Gerais, com destaque para os munícipios que tiveram propriedades avaliadas. Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – Uniube. 31

Figura 3. Percentual de áreas com café em produção nas propriedades avaliadas. 34

Figura 4. Estatística descritiva e análise de “Box-plot” para o Índice de Utilização de Equipamentos (IUE) nas propriedades avaliadas. Trator (A), Pulverizador hidropneumático (B), Triturador (C), Adubadora (D) e Carreta (E). 44

Figura 5. Estatística descritiva e análise de “Box-plot” para o Índice de Utilização de Equipamentos (IUE) nas propriedades avaliadas. Pulverizador hidráulico - herbicida (A) Roçadora (B) Arruador (C) Colhedora (D) e Recolhedora (E). .46

Figura 6. Regressão linear para o número de tratores das propriedades avaliadas. 52

Figura 7. Regressão linear para o Índice de Mecanização (ha trator^{-1}) das propriedades avaliadas. 53

Figura 8. Regressão linear para o número de pulverizadores hidropneumáticos nas propriedades avaliadas. 54

Figura 9. Regressão linear para o número de pulverizadores hidráulicos (herbicida) nas propriedades avaliadas.....55

Figura 10. Regressão linear para o número de trituradores nas propriedades avaliadas.....55

Figura 11. Regressão linear para o número de roçadoras nas propriedades avaliadas.....56

Figura 12. Regressão linear para o número de adubadoras nas propriedades avaliadas.....57

Figura 13. Regressão linear para o número de colhedoras nas propriedades avaliadas.....58

Figura 14. Regressão linear para o número de arruadores-sopradores nas propriedades avaliadas. 59
Figura 15. Regressão linear para o número de recolhedoras nas propriedades avaliadas. 59
Figura 16. Regressão para o número de carretas nas propriedades avaliadas. 60
Figura 17. Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos pelas áreas de café das propriedades e os respectivos números de máquinas. P1: 28,20; P2: 121,30; P3: 46,00; P4: 258,90; P5: 57,50; P6: 273,60; P7: 328,10; P8: 47,60; P9: 66,40; P10: 196,50; P11: 385,00; P12: 107,20; P13: 400,00; P14: 94,70ha. 61
Figura 18. Análise de agrupamento não hierárquica (k-means) em função do grupo de propriedades. 64
Figura 19. Biplot para características das propriedades CP 1 x CP 2. 67
Figura 20. Fluxograma da operação mecanizada de correção do solo (calagem). 71
Figura 21. Fluxograma da operação mecanizada de aplicação de matéria orgânica. 72
Figura 22. Fluxograma da operação mecanizada de pulverização de caldas via foliar. 73
Figura 23. Fluxograma da operação mecanizada de adubação via solo. 75
Figura 24. Fluxograma da aplicação mecanizada de fungicida/inseticida via "drench". 77
Figura 25. Fluxograma da operação de controle mecânico de plantas daninhas com roçadoras. 78
Figura 26. Fluxograma da operação de controle químico de plantas daninhas. 79
Figura 27. Fluxograma da operação mecanizada de arruação. 81
Figura 28. Fluxograma da operação mecanizada de colheita do café da planta. 82
Figura 29. Fluxograma da operação mecanizada de varrição. 84
Figura 30. Fluxograma da operação de recolhimento mecanizado do café no chão. ...85
Figura 31. Média histórica climática da região de Triangulo Mineiro/Alto Paranaíba (TMAP) e Noroeste de Minas (NM), do período

entre 1990 e 2018 – Dados não publicados (Prof. Lucas Aparecido de Oliveira).....86
Figura 32. Gráfico de Gantt para o planejamento anual das atividades mecanizadas nas propriedades cafeeiras. 87
Figura 33. Planejamento mensal das atividades mecanizadas na cultura do café na região do Triângulo Mineiro / Alto do Paranaíba / Noroeste de Minas. 93
Figura 34. Interface do programa computacional “TST Coffee”. 94
Figura 35. Cadastro de dados do programa computacional “TST Coffee”. 95
Figura 36. Cadastro de dados do programa computacional “TST Coffee”. 96
Figura 37. Demonstração de parte do planejamento do ano agrícola do módulo II do programa computacional “TST Coffee”. 97
Figura 38. Demonstração de parte do planejamento do ano agrícola do módulo II do programa computacional “TST Coffee”. 98
Figura 39. Demonstração dos resultados (“outputs”) da propriedade no módulo III do programa computacional “TST Coffee”.....99
Figura 40. Base de cálculos para distribuição das operações mecanizadas para obtenção dos resultados gerados no módulo III do programa computacional “TST Coffee”.....101
Figura 41. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de tratores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). 102
Figura 42. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de pulverizadores hidropneumáticos nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). 103
Figura 43. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de pulverizadores hidráulicos (herbicida) nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). 104
Figura 44. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de trituradores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). ...105
Figura 45. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de roçadoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). 105

Figura 46. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de adubadoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). ...106
Figura 47. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de arruadores-sopradores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).....107
Figura 48. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de colhedoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). ...108
Figura 49. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de recolhedoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). ...108
Figura 50. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de recolhedoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha). ...108

MODELO COMPUTACIONAL PARA ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO DE FROTAS PARA A CAFEICULTURA DO CERRADO MINEIRO

RESUMO

Nos últimos anos, a cultura cafeeira expandiu-se para áreas planas, possibilitando a mecanização. O uso de máquinas vem ganhando força devido aos custos de produção e à escassez de mão de obra. Em campo, verifica-se elevado dinamismo no método de manejo da cultura, o que dificulta a padronização do número ideal de máquinas e implementos. Diante deste novo cenário, o estudo teve como objetivo caracterizar e modelar as necessidades de equipamentos em função das estratégias e dimensões de cada propriedade. As áreas de estudo selecionadas, no total de 14 propriedades agrícolas, encontram-se no Cerrado de Minas Gerais, englobando as regiões do Noroeste, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. Foram consideradas as quantidades de tratores, pulverizadores hidropneumáticos, adubadoras, pulverizador hidráulico (herbicida), trituradores, roçadoras, colhedoras, carretas, arruadores-sopradores e recolhedoras em cada uma das propriedades, analisado os dados gerenciais da frota. Os resultados encontrados foram utilizados para criar um programa computacional orientado que indica a quantidade ideal de máquinas em função das atividades planejadas e das dimensões das lavouras em condições de cerrado. Apesar de as propriedades cafeeiras apresentarem enorme variação de processos mecanizados, foi possível criar um modelo de dimensionamento para a obtenção da quantidade necessária de máquinas para cada tamanho de propriedade.

PALAVRAS-CHAVE: Cafeicultura mecanizada, mecanização agrícola, gestão de frotas agrícola.

COMPUTATIONAL MODEL FOR ANALYSIS OF FLEET DIMENSIONING FOR COFFEE PRODUCTION IN SAVANA REGIONS IN MINAS GERAIS, BRAZIL

ABSTRACT

In recent years, the coffee production has increased for flat areas and the use of machinery has proved to be a viable alternative. Due to costs of production and shortage of human labor, the use of agricultural machinery has become a great fit. The difficulty is to standardize the ideal number of machinery and implements because of the dynamics in the method of crop management. Considering the current scenario, the objective was to characterize and model the needs of equipment based on strategies and dimensions of each farm. Fields experiments were conducted in the Savana of Minas Gerais, regions of Northwest, Triangulo Mineiro and Alto Paranaiba, about 14 agricultural properties were selected to run the study. The quantities of tractors, hydropneumatic sprayers, fertilizers, hydraulic sprayer (herbicides), crushers, brush-cutters, harvesters, wind-rowers and pickers were considered and analyzed in the fleet management data in each property. An oriented computational program was created based on the results of the experiments. The program indicates the ideal quantity of machines according the agricultural operations and dimensions of the crops located in the Savana of Minas Gerais. Although the coffee farms present variation of mechanized operations, it was possible to create a scalable model to obtain the necessary quantity of machinery for each farm.

KEYWORDS: Mechanized coffee cultivation, agricultural mechanization, agricultural fleet management.

1 INTRODUÇÃO

A planta de café, oriunda do continente africano, adaptou-se plenamente às condições edafoclimáticas brasileiras, e atualmente a produção cafeeira no Brasil é a maior entre os países, representando aproximadamente 36% do café produzido no mundo, sendo, portanto, uma cultura muito importante sob os pontos de vista social e econômico.

De acordo com os levantamentos da Conab (2018), a área plantada de café arábica tem-se mantido estável nos últimos dez anos, numa média de 1.780 mil hectares. No Brasil, existem vários sistemas de produção de café, e de maneira geral, cada propriedade tem suas peculiaridades, o que torna o café tão especial.

A atividade cafeeira contempla uma grande variação entre os sistemas produtivos. Desta forma, é comum ter a percepção de que não existem padrões de manejo e de que cada propriedade trabalha de um determinado jeito. Por esta grande diversidade no manejo da cultura, há uma grande dificuldade em gerar tecnologias ou manejos que atendam a todas as cafeiculturas brasileiras.

O êxodo rural, a mão de obra não qualificada e as tributações no uso de pessoas nas lavouras tornaram a atividade muito onerada. O desenvolvimento da cafeicultura, com o passar dos anos, não seria o mesmo sem o advento das máquinas. Neste sentido, o uso de tratores, pulverizadores hidropneumáticos, colhedoras, entre outros, permitiram que o café continuasse competitivo e sustentável.

O principal benefício da mecanização é a agilidade na realização dos serviços, e esta rapidez é de suma importância para evitar que pragas, doenças ou plantas daninhas, por exemplo, reduzam o potencial produtivo ou que o atraso na colheita resulte em queda dos frutos no chão, deteriorando a qualidade e o valor recebido pelo café.

Nos dias atuais, os diversos sistemas de produção, independentemente do tamanho da propriedade, utilizam pelo menos um trator na fazenda. O maior entrave para o uso de máquinas é a declividade do terreno e, de maneira geral, todas as etapas do processo produtivo podem ser realizadas com máquinas quando a declividade do terreno é inferior a 12%. Porém, atualmente, já

existem colhedoras de café equipadas com sistema hidráulico de nivelamento que permitem a realização da colheita em área com declividade de 30 %. As principais regiões que não possuem condições topográficas para a mecanização estão localizadas no sul de Minas Gerais e no Espírito Santo. Por outro lado, as regiões de cerrado, com seus declives suaves permitem realizar todas as etapas de forma mecanizada.

O Estado de Minas Gerais produz 53% do café brasileiro, e as regiões de cerrado são destaque pelo elevado nível tecnológico e pela mecanização (Conab, 2018; Fernandes et al., 2012). De maneira geral, o conjunto de boas práticas (mecanização, controle de pragas e doenças, irrigação, adubações, entre outros) geram maiores produtividades nas lavouras de cerrado, e tudo isso faz com que se tenha o título de cafeicultura empresarial. Entretanto, não há referências para os produtores de como deve ser realizado o dimensionamento do parque de máquinas em função da evolução do tamanho das áreas.

Neste sentido, pressupondo que, apesar das peculiaridades de cada fazenda, seja possível realizar o equacionamento da necessidade de máquinas à medida que se aumenta a área de cafezais, no presente trabalho, objetivou-se desenvolver um modelo computacional capaz de permitir o dimensionamento da frota para a mecanização de lavouras cafeeiras em produção, sob condições de cerrado.

Como objetivo adicional, teve-se a caracterização e a análise da mecanização de propriedades cafeeiras da região do Noroeste Mineiro, Triângulo Mineiro e Alto do Paranaíba.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cafeicultura brasileira

As histórias acerca do descobrimento das plantas de café descrevem que a origem se dá no continente africano, onde pastores observaram ovelhas agitadas e saltitantes após se alimentarem de partes das plantas de café nos bosques da Etiópia. Após este relato, foram realizados vários estudos e testes para entender os efeitos estimulantes do café. Aos poucos, seu consumo foi aumentando, e as plantas começaram a ter valor, sendo, inclusive, mantidas entre muros e protegidas por guardas para evitar que fosse roubada e disseminada. Esta medida visava monopolizar o produto para que apenas alguns lucrassem com sua venda (Matiello et al., 2010).

Aos poucos, a planta de café foi disseminada pela África, Ásia, Europa e, por fim, pela América. Em 1727, o cenário mundial da cafeicultura iniciaria novo ciclo, quando um brasileiro, sargento-mor Francisco de Melo Palheta, conseguiu “conquistar a confiança” da esposa do governador da Guiana Francesa, que o presenteou secretamente com algumas sementes e mudas. A primeira plantação de café no Brasil foi realizada no Pará e, à medida que se produziam os grãos, foram formadas novas plantações, disseminando-se pelo Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Pará e Minas Gerais (Matiello et al., 2010).

Por muito tempo o café foi produzido para subsistência, sendo considerado um produto secundário. Entretanto, a cultura se adaptou muito bem ao clima brasileiro e ele começou a ser produzido em larga escala (Matiello et al., 2010). Santinato e Fernandes (2012) citam que o café se tornou determinante na formação do capitalismo brasileiro. Muitos barões do café enriqueceram-se com as vendas do café produzido no Brasil, principalmente para outros países. Além do importante papel econômico, o café ainda gera, em todas as suas etapas (produção, industrialização e comércios interno e externo), grandes receitas e milhões de empregos.

Os vários sistemas de produção cafeeira podem ser subdivididos de acordo com: espaçamento (superadensado, adensado, semiadensado, renque-

mecanizado e tradicional); manejo dos tratos (manual, tração animal e mecanizado); condução das lavouras (aberto, periodicamente aberto ou com podas ou sempre fechado); condição climática (pleno sol, arborizado ou sombreado, irrigado); trato nutricional (sem adubação, com adubação química, adubação orgânica e adubações química e orgânica); sistema de controle fitossanitário (sem controle, orgânico e controle químico) (Matiello et al., 2010).

Essa aptidão do café às condições brasileiras, os incentivos políticos e o atrativo valor comercial levaram o País ao posto de maior produtor mundial de café, detendo uma importante fatia de 36% de todo o café produzido no mundo (Embrapa, 2018). Atualmente as principais regiões produtoras de café no País são: sul de Minas, Matas de Minas, Cerrado de Minas, Espírito Santo, Bahia, Mogiana Paulista (nordeste de São Paulo), Paraná e Rondônia (Conab, 2018). Somente o Estado de Minas Gerais é responsável por 53% da produção nacional.

De acordo com os levantamentos da Conab (2018), a área total plantada de café (arábica e conilon) está estimada em 2.168,6 mil hectares. A área total também se divide em 287,7 mil hectares (13%) de área em formação e 1.880,9 mil hectares (87%) de área em produção. No ano de 2018 atingiu-se recorde de produção, chegando a 58 milhões de sacas beneficiadas, sendo 44,3 milhões de café arábica e 13,7 milhões de café conilon.

De maneira geral o clima bem definido do Brasil, distribuído em quatros estações, torna o desenvolvimento fenológico da cultura diferente da maior parte do mundo. De maneira positiva, as floradas concentram-se entre setembro e novembro (início do período chuvoso), e a colheita, de junho a setembro (período sem chuvas) (Assad et al., 2004). Compreender as fases fenológicas e a interação das plantas com o clima são imprescindíveis para realizar um bom planejamento das atividades durante o ano agrícola.

De acordo com Camargo e Camargo (2001), o café leva dois anos para completar um ciclo completo, sendo que este é subdividido em seis fases fenológicas distintas.

- Na primeira fase, ocorre a formação das gemas vegetativas (crescimento de galhos e folhas) (Camargo, 1985).

- Em abril, as horas diárias de luz reduzem, consequentemente, a temperatura, o que modifica o metabolismo da planta, tendo início a segunda fase, quando ocorre a diferenciação celular, transformando as gemas vegetativas em gemas reprodutivas; isso ocorre por causa da mudança das características do clima. No fim desta fase, em julho/agosto, as plantas entram em repouso, quando emitem um ou dois pares de folhas pequenas, devido ao baixo potencial hídrico do solo e temperaturas mais baixas. Nesse período, as gemas amadurecem e aguardam condições para florir.
- A terceira fase acontece quando há o início das chuvas ou das irrigações; quando há o aumento do potencial hídrico do solo, ocorre a indução das gemas florais, e estas gemas expandem e florescem (Camargo e Franco, 1981). Após a abertura das flores, as mesmas secam e caem, restando nos galhos o chumbinho. De setembro a dezembro, em condições normais, ocorrem chuvas, e a interação da planta com a solução do solo permite que os frutos cresçam até o tamanho final.
- A quarta fase compreende a granação dos frutos pelo aumento do teor de matéria seca, que ocorre de janeiro a março.
- A quinta fase é caracterizada pela diminuição na quantidade de água disponível no solo, compreendendo normalmente os meses de abril, maio e junho, fazendo com que os frutos cessem o enchimento e comecem a madurar.
- Na sexta fase, a planta entra em repouso, coincidindo com a fase da colheita. As duas primeiras fases correspondem à fase vegetativa do desenvolvimento da planta, e a terceira, quarta e quinta fases representam a fase reprodutiva (Camargo e Camargo, 2001).

Todo o manejo do café é completamente dependente do clima e da fase da cultura. Todas as operações mecanizadas são posicionadas de maneira preventiva ou corretiva nestas fases, visando evitar problemas sanitários,

nutricionais, etc., como, por exemplo, as adubações são realizadas no período de chuvas; pulverizações e aplicação de herbicidas não podem ser realizadas com as plantas molhadas; as aplicações de corretivos e de matéria orgânica são posicionadas antes dos meses chuvosos; a colheita e recolhimento no período sem chuvas (MATIELLO et al., 2013).

2.2 Cafeicultura de Cerrado

O bioma Cerrado predomina no Planalto Central brasileiro com dimensões de 206 milhões de hectares (23% do território nacional), sendo distribuído nos Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Bahia, Piauí, Maranhão, São Paulo e Distrito Federal (IBGE, 2010).

No Cerrado, predominam relevos planos e suave-ondulados. Silva et al. (2003) descrevem que 89% dos solos do Cerrado possibilitam o uso da mecanização, permitindo o cultivo em grandes áreas. A combinação entre o relevo adequado, o clima, os solos profundos e bem drenados, aliados às diversas tecnologias levam a produtividade média de café do Cerrado ser maior do que nas demais regiões produtoras (Fernandes et al., 2012); entretanto, há 50 anos, o cenário era completamente diferente (Salim, 1986).

O café chegou ao Cerrado em 1969, por meio de planos de incentivo do governo para reorganizar a cafeicultura e eliminar áreas suscetíveis a geadas e a lavouras de baixa produtividade. As principais ações que promoveram a cafeicultura nos Cerrados foram: Plano de Renovação e Revigoramento dos Cafezais (PRRC), Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP), o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER) (Ortega e Jesus, 2011; Matiello et al., 2010). Os maiores planos de desenvolvimento foram coordenados ou assistidos pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC). Por 20 anos, toda a cadeia do café, como estoque, preços e incentivos foi ligada ao IBC que, em 1990, foi extinto (Saes et al., 1997) e iniciaram-se novas metodologias de produção e de manejo da cultura.

Nos dias de hoje, a cafeicultura de Cerrado possui grande expressão no cenário brasileiro, principalmente nos Estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás. (Conab, 2018). A região do Cerrado é composta, de maneira geral, de produtores mais adeptos à tecnologia e às mudanças. Geralmente, os projetos futuristas de manejo, administração, gerenciamento de produto, máquinas e mecanização, entre outros, são levados e aceitos, primeiro, pela cafeicultura do Cerrado, onde o movimento de capital tem maior giro (Fernandes et al., 2012).

2.3 Mecanização na cafeicultura

Até à década de 1970, as atividades da cafeicultura eram realizadas de forma manual, e, de acordo com Matiello et al. (2013), utilizavam-se anualmente de 100 a 130 homens/dia em um hectare de café. Nos últimos 40 anos, a cafeicultura teve grande evolução: produtores aderiram a novas tecnologias que elevaram seus níveis de eficiência produtiva e econômica. Neste período, ocorreram importantes crises, como o surgimento da ferrugem, geadas e o êxodo rural.

As geadas fizeram a cafeicultura migrar do Paraná para São Paulo e Minas Gerais, marcando, também, a abertura dos Cerrados, região de grande importância nos dias de hoje. A ferrugem ameaçou devastar a cafeicultura brasileira; entretanto, o uso de máquinas, aliado ao desenvolvimento de moléculas fungicidas, permitiu um controle rápido e efetivo, iniciando uma evolução na forma de controlar enfermidades (Matiello et al., 2010).

O êxodo rural dificultou a vida dos cafeicultores que tinham maiores áreas, pois a falta de mão de obra gerou atrasos e prejuízos, e a pouca mão de obra que restou tornou-se cara, principalmente na colheita. Do início dos anos 2000 em diante, o uso de máquinas, principalmente em áreas mais planas, foi tornando-se cada vez mais comum, sendo hoje uma realidade na moderna cafeicultura (Conceição, 2011; Fernandes et al., 2012).

As máquinas estão presentes praticamente em todas as operações agrícolas na cafeicultura desde o preparo do solo, o transplantio, a correção via calagem, as adubações e o controle de plantas daninhas, até à arruação, colheita, varrição e recolhimento (Ortega e Jesus, 2011). Ano após ano, é visível que,

cada vez mais, a modernização da mecanização agrícola possibilita maiores níveis de eficiência e agilidade.

A cafeicultura possui um perfil agrário de propriedades menores quando comparado às propriedades produtoras de grãos e de cana-de-açúcar e, por este motivo, inexiste um padrão no manejo entre as propriedades cafeeiras, dificultando a criação de modelos de produção baseados no planejamento da mecanização para a cafeicultura. Além destes fatores inerentes às características administrativas, Silveira et al. (2007) citam outros fatores que influenciam diretamente no desempenho das máquinas, como: o método de operação ou padrão de operação no campo operacional; o formato e a declividade das áreas; o tamanho da lavoura; a capacidade de campo das máquinas (desempenho); as condições da cultura e as limitações do sistema.

Cunha (2015) e Leite et al. (2014) reforçam que, dentre vários fatores que influenciam, a declividade interfere diretamente na capacidade operacional das máquinas. No estudo realizado por Leite et al. (2014), os autores encontraram que, à medida que se reduz a declividade do terreno, a capacidade operacional tende a aumentar, chegando a valores maiores em até 28%, quando comparados a áreas com declividade mais acentuada em atividades florestais. Em pesquisa semelhante, Tavares et al. (2016) obtiveram influência direta na capacidade de campo operacional, nas atividades de colheita do café de varrição em declividade acima de 15%, reduzindo 42% da capacidade de campo operacional.

Entretanto, de acordo com Silva et al. (2010), a mecanização vem desenvolvendo-se cada vez mais em todas as etapas do processo produtivo devido à migração da cafeicultura para regiões de topografia favorável (áreas mais planas) e à substituição das antigas lavouras por outras com características e espaçamentos mais apropriados à utilização de máquinas. Para os autores, a mecanização dos processos é a chave para manter o Brasil na liderança mundial da produção de café. As fabricantes de máquinas já estão investindo em desenvolvimento de tecnologias para atender à demanda da cafeicultura de montanha; entretanto, é no cerrado que se observam maiores avanços da mecanização.

2.4 Sistemas mecanizados agrícolas

A evolução da mecanização agrícola passa por equipamentos tracionados por animais e pelo homem e, posteriormente, pela invenção do motor a diesel e pela produção dos primeiros tratores. Muitos autores citam que sem a mecanização haveria um triste destino para a população mundial (Carpanezzi et al., 2017). A mecanização é indispensável para a agricultura empresarial. O advento da mecanização, juntamente com outras tecnologias, permitiu elevar a eficiência das propriedades, devido à maior agilidade na realização dos serviços de forma mais econômica (Cunha, 2015).

Os equipamentos utilizados no meio agrícola devem ser categorizados em equipamentos de atividades primárias e secundárias (ou de apoio). De acordo com Bochtis e Sørensen (2009), o termo “operações primárias” ou “conjuntos de unidades primárias” refere-se a uma unidade de maquinaria que executa a tarefa principal do processo (uma colhedora ou um conjunto trator-pulverizador hidropneumático, por exemplo), enquanto o termo “unidade de suporte” ou “operação de apoio” refere-se a uma unidade que suporta uma ou mais unidades primárias (por exemplo, um conjunto trator-carreta na operação de colheita).

De acordo com Schlosser et al. (2004), as máquinas munidas de motor, como tratores pulverizadores autopropelidos e colhedoras, por exemplo, podem gerar um indicativo denominando “índice de mecanização” expresso em potência relacionado pela área (ha kW^{-1} ou kW ha^{-1}). A utilização deste índice permite criar o valor de referência para outras novas propriedades que irão iniciar determinado sistema de produção agrícola.

Na agricultura em geral, o custo da mecanização é alto, sendo normalmente menor apenas do que o valor de aquisição da terra. Por isso, a aquisição e a seleção das máquinas têm de ser feitas seguindo critérios da Engenharia Agrícola e de planejamento, buscando sempre utilizar os recursos de forma racional (Rohani et al., 2011; Baio et al., 2013).

Os produtores que são considerados referências no quesito eficiência buscam sempre atualizar-se, adotando tecnologias e máquinas que elevem a capacidade operacional e reduzam os custos operacionais. Wunsch (1995) cita

que as máquinas formam um sistema organizado em níveis hierárquicos, que trabalham de forma interligada, nos processos produtivos das culturas.

Várias máquinas são disponibilizadas no mercado anualmente, e as variações de características agradam à grande diversidade de clientes. Entretanto, esta diversidade dificulta a tomada de decisão no momento de aquisições/renovações, quando os clientes devem fazer uma profunda análise para dimensionar a frota à própria realidade de campo. De acordo com Witney (1988), fazer o dimensionamento de uma frota agrícola não é uma tarefa fácil, pois o que pode ser adequado para determinado momento, pode não atender mais em um curto espaço de tempo, podendo gerar perdas ou elevar custos. Cada empresa rural tem suas peculiaridades, e seu modelo operacional tem grande influência sobre o desempenho do sistema mecanizado; da mesma forma, cada gestor interfere de maneira particular nos processos produtivos (Kay e Edwards, 1999). Os mesmos autores citam que a agricultura é difícil de ser equacionada devido aos diversos fatores biológicos e ambientais que interferem na eficiência do planejamento.

De acordo com Mialhe (1974), um sistema motomecanizado agrícola (SMA) pode ser definido como o conjunto de tratores, máquinas e implementos, cuja atividade, tecnicamente organizada, visa à realização dos serviços rurais. Ter conhecimentos específicos sobre tratores ou sobre determinadas máquinas não é suficiente, sendo necessário assegurar que cada uma esteja trabalhando de forma correta e conhecer também as características comerciais e administrativas das mesmas, bem como de seu implemento, optando por adquirir máquinas que tenham maiores eficiências e menores custos operacionais.

O gerenciamento de máquinas é a área da administração que visa a otimizar os processos mecanizados. A seleção de máquinas deve ser realizada de forma técnica e não pelo simples gosto do cliente (Hunt, 1977). Witney (1988) cita que a gestão dos sistemas mecanizados agrícolas é o estudo que visa à seleção, operação e reposição de máquinas nas empresas rurais.

Edwards e Boehje (1980) estudaram o dimensionamento em grãos e detectaram que o fator que mais influencia na demanda de máquinas é o tamanho da área cultivada. Entretanto, o uso de máquinas para grãos difere

muito estrategicamente das culturas perenes. Neste último caso, não há a necessidade de se planejar quantas safras terá dentro de um ano muito menos qual será a cultura intercalar. Por outro lado, tem-se uma monocultura que exige muitas operações posicionadas em momentos estratégicos durante o ciclo da cultura, que não aceita erros e atrasos que podem incorrer em riscos de prejuízos.

Em relação às novidades para, talvez, um futuro próximo, será comum o uso de máquinas autônomas, que serão programadas para realização de determinados trabalhos sem a necessidade da mão de obra de operadores (Bochtis et al., 2014). Além da realização das operações automatizadas, alguns pesquisadores como Day (2011) já estão estudando como complemento novos recursos de planejamento, tais como o planejamento de rotas e o agendamento sequencial de tarefas. Entretanto, a dificuldade em implementar um sistema como esse na agricultura é a grande variação das condições que interferem na forma de se realizar o trabalho (condições climáticas, características da lavoura e do ambiente).

De acordo com Milan (2013), o sistema originalmente proposto por Mialhe (1974) passa pela seleção do número e do modelo de máquinas que devem ser feitas utilizando-se de 14 etapas: “O dimensionamento de um sistema mecanizado tem início pela necessidade em se adquirir máquinas (1), para atender a uma nova área agrícola ou substituir uma frota existente, total ou parcialmente. As operações a serem executadas (2) e as respectivas épocas de realização são definidas (3) na análise operacional, e essas informações são utilizadas na etapa de planejamento para seleção. No planejamento, determinam-se o tempo disponível (4) e o ritmo operacional (5), quantidade de trabalho a ser realizada na unidade de tempo. Com base no ritmo operacional e na capacidade de trabalho da máquina (7), calcula-se o número de conjuntos necessários (6) para atender às condições definidas na análise operacional. A determinação da capacidade de trabalho é realizada com base na quantidade de trabalho (8) que a máquina pode realizar na unidade de tempo (9), adequando-se a potência disponível, por exemplo, do motor do trator com a potência requerida (11) pelo implemento e a eficiência da operação (10). A associação entre a capacidade operacional e os custos diretos e indiretos (12)

determina o custo operacional (13). Se o resultado mostrar-se adequado (atendendo à demanda), encerra-se o processo (14), caso contrário, as alternativas para viabilizar o sistema devem ser reavaliadas". O resumo esquemático deste processo de seleção/aquisição pode ser mais bem compreendido com o auxílio de um fluxograma (Figura 1).

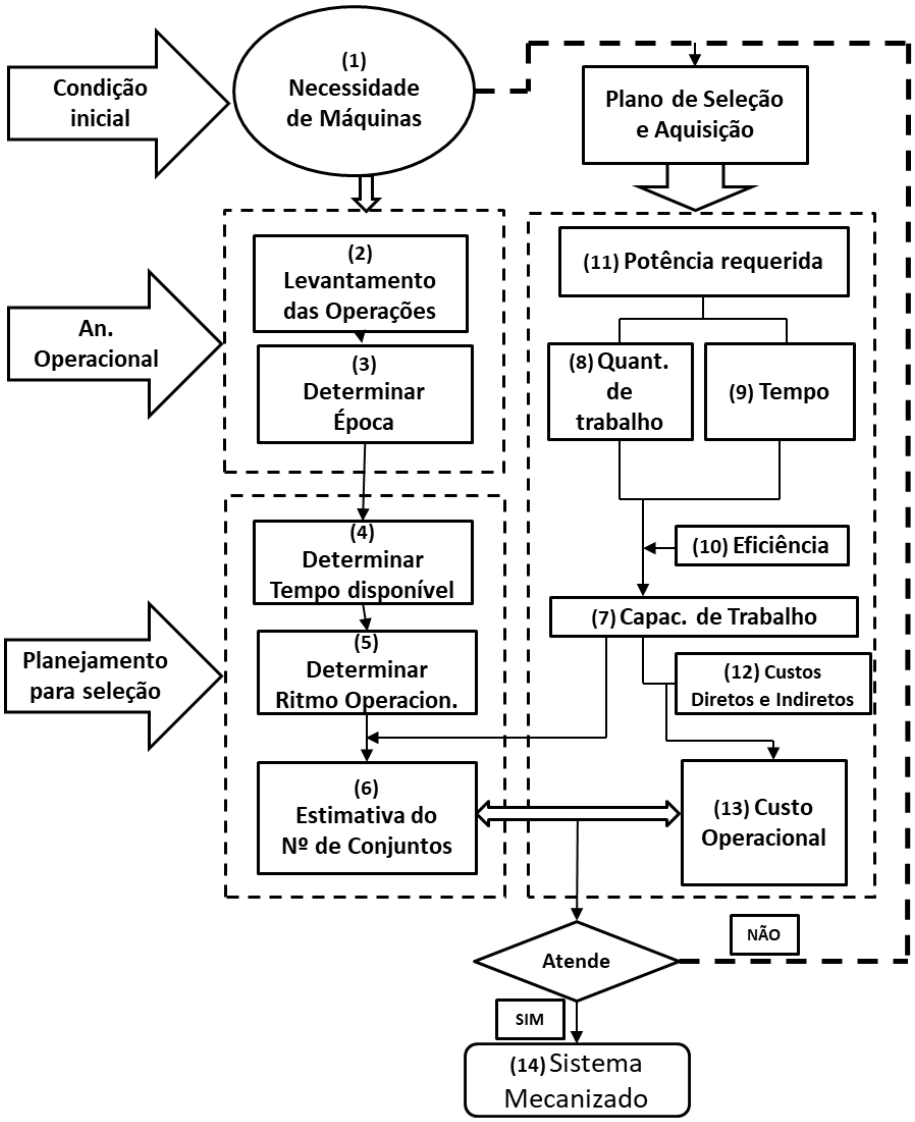


Figura 1. Fluxograma do processo de análise e aquisição de máquinas e implementos. Adaptado de Mialhe (1974) *apud* Milan (2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição da pesquisa

O presente estudo foi desenvolvido em 14 propriedades agrícolas do Cerrado de Minas Gerais (Figura 2), englobando as regiões do Noroeste e do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba (Presidente Olegário, Araxá, Perdizes, Ibiá e Tapira).

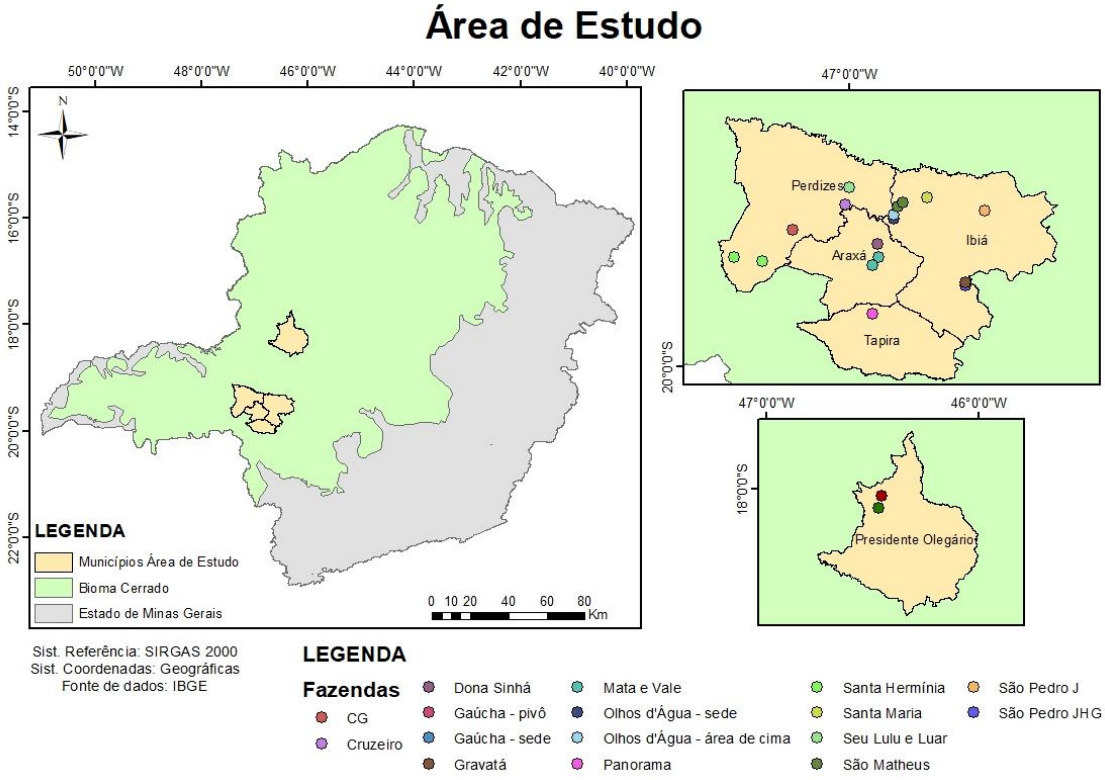


Figura 2. Região de realização da pesquisa no Estado de Minas Gerais, com destaque para os munícipios que tiveram propriedades avaliadas. Fonte: Laboratório de Geoprocessamento – Uniube.

As propriedades foram selecionadas com base no “brainstorming” (reunião de trabalho) realizado entre as equipes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola da UNESP de Jaboticabal, Projeto Educampo/SEBRAE e C3 Consultoria e Pesquisa. Neste “brainstorming” foram levantadas as características necessárias para avaliar as operações agrícolas mecanizadas e, a partir daí, foram selecionadas propriedades que possuíam todas as

informações requeridas de forma sistematizada e por possuírem o acompanhamento técnico de sua gestão. Este acompanhamento auxilia os produtores quanto à seleção e aquisição de equipamentos, sempre visando ao lado econômico do negócio café. Além disso, o controle e o banco de dados deste acompanhamento técnico possibilitam diagnosticar com maior detalhamento as atividades mecanizadas destas propriedades.

Com o intuito de compreender o funcionamento das atividades mecanizadas em propriedades cafeeiras na região supracitada, foram selecionadas 14 propriedades atendidas pelo Projeto Educampo/SEBRAE. O Projeto Educampo é uma iniciativa do SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas), criada em 1997, em Minas Gerais, idealizado como um modelo de assistência gerencial e tecnológica intensiva, para grupos de produtores de uma mesma atividade econômica. O Projeto tem como princípio a gestão de negócios, normalmente uma das maiores deficiências encontradas junto aos empresários rurais, ampliando a capacidade do produtor em gerir sua atividade (Educampo, 2018).

As dimensões das lavouras cafeeiras nas propriedades selecionadas variavam de 28,2 a 400,0 ha de área destinada ao café (Tabela 1). Para a caracterização do meio físico das propriedades, foram criados os polígonos em torno das áreas destinadas às lavouras a partir do Google Earth®. Para o levantamento das declividades, utilizaram-se imagens SRTM (“Shuttle Radar Topography Mission”) com resolução espacial de 90 m. A imagem SRTM é obtida por meio do sensoriamento remoto e representa o Modelo Digital de Elevação (MDE), um modelo que apresenta a informação topográfica da superfície, na qual cada pixel da imagem tem um valor de elevação. A declividade é, então, calculada a partir de operações com esse modelo, pela diferença entre cotas e suas respectivas distâncias. Desse modo, é possível determinar o valor de declividade para cada pixel da imagem, em porcentagem ou graus, a partir da informação de elevação (cota). Por fim, essa imagem foi reclassificada (rotulada) de modo a agrupar valores de declividade em categorias predefinidas, de acordo com o critério técnico estabelecido pela Embrapa (1979), que estabelece as seguintes classes de relevo:

- Plano: [0 a 3%];
- Suave ondulado:]3 a 8%];
- Ondulado:]8 a 20%];
- Forte ondulado:]20 a 45%];
- Montanhoso:]45 a 75%];
- Escarpado: > 75%.

A partir dessa classificação, calculou-se a declividade média de cada propriedade (Tabela 1 e Anexos 1 a 7), de modo a permitir a avaliação da possível influência/ interação da declividade com o número de máquinas.

Tabela 1. Dimensões das lavouras e declividades médias das propriedades utilizadas na pesquisa.

Propriedades (Nome)		Área (ha)	Declividade (%)	Coordenadas geodésicas	Município
P1	Dona Sinhá	28,2	8,6	19°34'16"S 46°54'00"O	Araxá-MG
P2	Vale e Mata	121,3	8,6	19°37'02"S 46°53'51"O	
P3	Olhos D'agua	46,0	5,2	19°28’55"S 46°50’41"O	Ibiá-MG
P4	São Pedro	258,9	5,5	19°27'00"O 46°31'24"S	
P5	São Pedro	57,5	6,1	19°42'57"O 46°35'27"S	
P6	Santa Maria	273,6	6,3	19°24'18"S 46°43'36"O	
P7	São Matheus	328,1	5,9	19°25'27"S 46°48'43"O	
P8	Gravatá	47,6	6,3	19°42'19"S 46°35'26"O	
P9	CG	66,4	8,2	19°31'16"S 47°1'1"O	Perdizes-MG
P10	Cruzeiro	196,5	5,4	19°25'45"S 47°18'37"O	
P11	Santa Hermínia	385,0	4,2	19°37'46"S 47°18'37"O	
P12	Seu Lulu e Luar	107,2	5,0	19°22'4"S 47°0'7"O	
P13	Gaúcha	400,0	4,4	18°05’25"S 46°28’13"O	Presidente Olegário-MG
P14	Panorama	94,7	7,1	19°48'50"S 46°55'14"O	Tapira-MG

As propriedades apresentavam diferentes percentuais de ocupação com lavouras cafeeiras, sendo que sete delas possuíam 100% das lavouras em produção, enquanto nas demais havia parte da lavoura em formação ou em renovação (Figura 3).

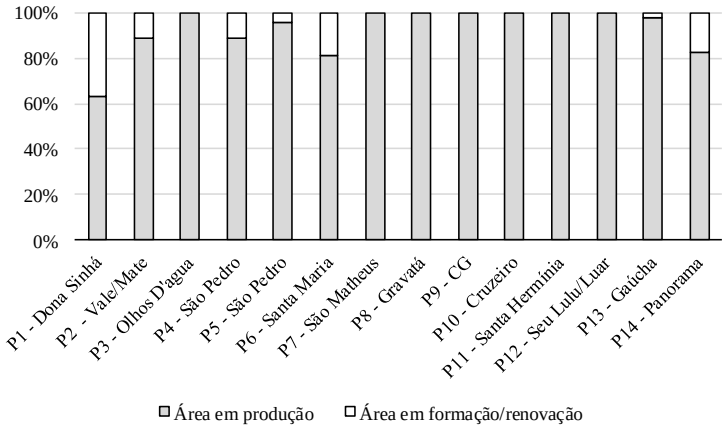


Figura 3. Percentual de áreas com café em produção nas propriedades avaliadas.

O percentual de área em formação ou renovação das Fazendas Dona Sinhá (P1), Vale/Mata (P2), São Pedro (P4), São Pedro (P5), Santa Maria (P6), Gaúcha (P13) e Panorama (P14) foi de 37, 12, 11, 4, 19, 3 e 18%, respectivamente. Ressalta-se que a Fazenda Dona Sinhá (P1) se refere a uma pequena propriedade na qual havia 17,8 ha de café e que se expandiu para 28,2 ha, refletindo na alta taxa de área não produtiva (lavoura em formação) nesta propriedade.

3.2 Coleta de dados

Para a aquisição dos dados, foram realizadas visitas às propriedades, além da análise do banco de dados do Educampo, com o objetivo de levantar as informações sobre os conjuntos mecanizados de cada uma das propriedades. Para a realização destas análises, foram levantados o número e o modelo dos equipamentos existentes em cada uma das propriedades, considerando aqueles mais importantes para o manejo de uma lavoura cafeeira em produção, tais como: tratores, pulverizadores hidropneumáticos, pulverizadores

hidráulicos (herbicida), trituradores, roçadoras, adubadoras, arruadores-sopradores, colhedoras, recolhedoras e carretas basculantes.

Inicialmente, foram consideradas as quantidades de cada uma das máquinas em cada propriedade. Posteriormente, os dados gerenciais foram analisados, tais como idade das máquinas, potência (quando se aplica), modelo, capacidade de carga para as máquinas (quando se aplica). Os resultados encontrados foram utilizados para criar um modelo matemático que explique a relação de quantidade de máquinas em função dos tamanhos das propriedades e a relação entre elas. Considerando a possibilidade que a quantidade de máquinas, em geral, possa estar sub ou superdimensionadas, criou-se um modelo teórico, estimado com base nas capacidades produtivas das máquinas obtidas em cada propriedade. Para os cálculos de demanda de máquinas de cada propriedade, foram consideradas as encontradas com maior frequência.

Para avaliar a intensidade do uso da potência, a partir dos tratores e das áreas agrícolas amostradas, utilizou-se o índice de mecanização (ha kW^{-1}), em cada propriedade, adaptando-se o índice proposto por Scholosser et al. (2004) (Equação 1).

Devido ao fato de as lavouras cafeeiras apresentarem diversos tipos de equipamentos agrícolas, além dos tratores, determinou-se também o índice de utilização de equipamentos, considerando-se a relação entre o tamanho das lavouras de café e o número absoluto de equipamentos (máquinas e implementos) (ha $máquina^{-1}$) (Equação 2).

$$\mathrm{IMA} = \frac{\mathrm{AC}}{\mathrm{P}} \qquad (1)$$

Em que:

IMA = Índice de mecanização agrícola (ha kW^{-1});
AC = Área cultivada com café (ha);
P = Potência dos tratores presentes na propriedade (kW).

$$\mathrm{IUE} = \frac{\mathrm{AC}}{\mathrm{QE}} \qquad (2)$$

Em que:

IUE = Índice de utilização de equipamentos (ha equipamento^{-1});
QE = Quantidade de cada tipo de equipamento existente na propriedade.

3.3 Análises estatísticas

Para a realização das análises estatísticas, utilizou-se a estatística descritiva para a verificação comportamental dos dados. Posteriormente, os dados foram submetidos à ANOVA para verificação de significância ao teste de F a 5% de probabilidade; quando significativo, procedeu-se à análise de regressão. Analisou-se também as correlações entre as variáveis, visando a verificar quais máquinas mais se associam entre si e com o tamanho das lavouras. Por fim, os dados de caracterização das propriedades foram submetidos à análise multivariada, visando a entender a similaridade e a formação de grupos entre as propriedades.

3.3.1 Estatística descritiva

Para a realização da análise descritiva, foram utilizadas medidas de tendência central (média aritmética e mediana) e medidas de dispersão (amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação). Os valores de coeficiente de variação foram classificados, seguindo a determinação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), que os classificam como muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%), e baixo (<10%). Utilizou-se ainda o diagrama de “Box-plot” para verificar a distribuição dos dados e constatar possíveis “outliers”. Quando constatados, os “outliers” foram eliminados para as análises posteriores, impedindo que estes interferissem nos resultados dessas análises.

3.3.2 Análise de regressão e correlação

Realizou-se a análise de correlação entre as variáveis para compreender a interação entre o tamanho das áreas de café e o número de máquinas nas propriedades. A correlação seguiu as faixas indicadas por Baba et al. (2014), sendo: r = |0,00| até |0,19| (correlação muito fraca); r = |0,20| até |0,39| (correlação fraca); r = |0,40| até |0,69| (correlação moderada); r = |0,70| até |0,89| (correlação forte); e r = |0,90| até |1,00| (correlação muito forte). Posteriormente, realizou-se a análise de variância (ANOVA) e, quando significativa ao teste de F a 5%, utilizaram-se regressões com o intuito de demonstrar o comportamento de cada máquina/implemento e suas interações com o tamanho das lavouras, optando-se sempre pela regressão significativa de maior grau.

3.3.3 Análise multivariada

A análise multivariada foi realizada visando a identificar a formação de grupos de propriedades com comportamentos similares, estabelecendo-se possíveis estratos que servirão de referência no momento do planejamento de aquisição de máquinas. 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. Os dados originais foram submetidos à análise de agrupamento hierárquica pelo software estatístico R (R Development Core Team, 2014), utilizando-se como coeficiente de semelhança, a dissimilaridade euclidiana. Para avaliar o melhor número de “clusters”, utilizaram-se os critérios disponíveis em Milligan e Cooper (1985) e implementados no pacote de software “NbCluster” (R Development Core Team, 2014).

A análise de agrupamentos não hierárquica (“k-means”) foi processada, sendo que k corresponde ao número de grupos indicados na análise de agrupamento hierárquica (Sneath e Sokal, 1973). A análise de componentes principais permite condensar a maior quantidade de informação original contida em n variáveis (n = 11, neste estudo) em p latentes ortogonais denominadas componentes principais (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).

Desta forma, o conjunto inicial de 11 variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização 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.

3.4 Desenvolvimento do modelo de planejamento

O planejamento do ano agrícola passa pela previsão das atividades mecanizadas que serão executadas durante a safra. Esse planejamento foi obtido no “brainstorming” entre as equipes da UNESP, produtores e o técnico do projeto Educampo. O levantamento levou em conta a padronização das atividades das propriedades em estudo, independentemente das peculiaridades de cada uma, ou seja, foram consideradas as mesmas atividades para todas as propriedades. Para tanto, foram consideradas somente as atividades inerentes às lavouras em fase de produção, excluindo-se as atividades inerentes à renovação e à formação de cafezais.

Na apresentação do planejamento, utilizou-se o gráfico de Gantt, com as atividades distribuídas nas 52 semanas do ano. A disposição das atividades considerou a média histórica do clima para a região e o posicionamento comum dos controles de pragas e doenças. Para o planejamento, também foi levantado o perfil das máquinas ou implementos mais frequentes na primeira etapa deste trabalho, com o intuito de criar um planejamento com base na situação mais próxima possível da realidade em campo.

Para calcular a quantidade de conjuntos mecanizados necessários, utilizou-se como base para os cálculos, a capacidade de campo operacional das propriedades avaliadas, obtida no banco de dados do Projeto Educampo.

Considerando-se que o planejamento é a base do dimensionamento operacional de sistemas mecanizados agrícolas, que visa a levantar a

quantidade de equipamentos necessária para atender à demanda (Milan, 2013), torna-se necessário, primeiramente, levantar as atividades mecanizadas da cafeicultura e as épocas em que são realizadas. Posteriormente, é preciso compreender o processo e, para isso, as atividades (calagem, pulverizações, adubações, aplicação de matéria orgânica, roçada, aplicação de herbicida, aplicação de produtos via “drench”, arruação, trituração, colheita, varrição e recolhimento) foram expostas em forma de fluxogramas.

De posse do planejamento operacional (número de atividades de cada mês), determinou-se o tempo disponível (TD) para realizar cada operação (Equação 3).

$$\mathrm{TD} = (\mathrm{NT} - \mathrm{NDF} - \mathrm{NDU}).\mathrm{JT}.\mathrm{EG} \quad (3)$$

Em que:
TD: Tempo disponível para realizar cada operação (h);
NT: Nº de dias total no período previsto para a realização da operação;
NDF: Nº de domingos e feriados previstos para ocorrer no período;
NDUI: Nº de dias úteis impróprios ao trabalho das máquinas;
JT: Jornada de trabalho adotada (h);
EG: Eficiência gerencial ou administrativa, em decimal.

Após a obtenção do tempo disponível (TD) para realizar a operação, definiu-se a agilidade na realização do serviço, por meio do cálculo do ritmo operacional (RO), que expressa a quantidade de trabalho a ser realizado no tempo disponível, para cada operação (Equação 4):

$$\mathrm{RO} = \frac{\mathrm{Ar}}{\mathrm{TD}} \quad (4)$$

Em que:
RO: Ritmo operacional (ha h^{-1});
Ar: Área a ser trabalhada (em ha);
TD: Tempo disponível, em horas (h).

Para calcular o número de máquinas e de implementos necessários, utilizou-se a metodologia descrita por Milan (2013), baseando-se no número de conjuntos necessário pela relação do ritmo operacional e a capacidade de trabalho dos equipamentos em questão. Vale ressaltar que, para o presente trabalho, foram adotadas as capacidades de campo operacional reais das propriedades, já inseridas como referência no software de gestão do Educampo/SEBRAE. Portanto, o número de conjuntos foi obtido pela Equação 5.

$$\mathrm{NC} = \frac{\mathrm{RO}}{\mathrm{CCO}} \tag{5}$$

Em que:

NC: Número de conjuntos;

RO: Ritmo operacional (ha h^{-1});

CCO: Capacidade de campo operacional (ha h^{-1}).

Para a definição do modelo, o tempo disponível foi calculado em forma de percentual sobre a demanda de horas máquina de cada atividade, dentro de cada mês. A partir deste percentual, foi possível obter o número de horas disponíveis para cada operação mecanizada e, posteriormente, foi calculada a necessidade mensal de conjuntos.

A necessidade de equipamentos advém da demanda de horas mensais para todas as operações durante o ano agrícola. Pela quantificação das horas de cada operação, dentro de cada mês, calculou-se a representação percentual dos valores de hora; posteriormente, foi calculada, com base no tempo disponível (TD) de cada mês, a necessidade de conjuntos mecanizados de cada mês, para cada operação.

3.5 Calibração do modelo

As equações propostas por Milan (2013) representam, basicamente, um modelo que visa ao planejamento de uma operação específica, dentro de um

determinado processo, como, por exemplo, a colheita mecanizada e todo seu dinamismo. Já o presente trabalho visa a aplicar esta metodologia para todas as operações mecanizadas na cultura do café, de forma mais completa, respeitando-se os meses nos quais é realizada cada operação.

Com o objetivo de sistematizar estas informações, criou-se um programa computacional desenvolvido no software Excel®, no qual fosse possível ajustar diferentes cenários de lavouras cafeeiras. O programa foi denominado de “TST Coffee” em referência aos profissionais que o desenvolveram durante esta pesquisa (Tavares, Silva e Ticle). O programa foi organizado em três módulos: (I) Cadastro (“Inputs”); (II) Programação anual (“Inputs”) e (III) Resultados (“Outputs”).

3.6 Avaliação do modelo

A partir do programa computacional desenvolvido, foi testado o desempenho do modelo para cada um dos cenários, dentro dos grupos de propriedades previamente definidos pelo dendograma, obtido com a aplicação da estatística multivariada. Para cada grupo, foi realizada a comparação entre o número de equipamentos observado (número real de equipamentos existente nas propriedades) e o predito (calculado com o uso do software “TST Coffee”). Para aferir o desempenho do modelo, utilizou-se o erro médio quadrático da raiz (RMSE) (Equação 6).

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\left(\mathrm{N}^{-1}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}(\mathrm{O_i}-\mathrm{P_i})^2\right)} \qquad (6)$$

Em que:

RMSE: Erro Quadrático Médio;

N^{-1}: Número de máquinas de cada propriedade;

$\sum_{i=1}^{n}(Oi - Pi)^2$: Somatória dos quadrados da diferença entre o número de máquinas observado e predito de cada propriedade.

A partir do RMSE torna-se possível avaliar a dissimilaridade entre os valores observados e os preditos, permitindo-se também, verificar possíveis sub ou superdimensionamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das propriedades

4.1.1 Análise descritiva

Analisando-se as 14 propriedades (Figuras 4 e 5) nota-se que, de maneira geral, existe elevada variação no dimensionamento das máquinas abordadas: tratores, pulverizadores hidropneumáticos, adubadoras, máquinas para o controle de plantas daninhas, colheita, varrição e recolhimento.

Observa-se, pela análise descritiva, que o índice de utilização de equipamento (IUE) médio das propriedades é de 21,00 ha trator^{-1} (Figura 4.A), variando de 11,90 a 39,30 ha trator^{-1}, demonstrando elevada amplitude.

Por meio da análise de “Box-plot”, nota-se que 50% dos valores se situaram próximos da mediana, variando entre 14,30 (Q1) e 23,40 (Q3) ha trator^{-1}. É interessante notar que, das 6 propriedades que possuem maior área de café, três situam-se acima do quartil superior (Q3 = 23,4 ha trator^{-1}), sendo que uma delas se caracteriza como um ponto discrepante (“outlier”) por apresentar relação de 39,30 ha trator^{-1}.

Este “outlier” é observado na Fazenda Cruzeiro (P10), e uma possível explicação é o fato de que esta propriedade não realiza o recolhimento mecanizado do café de varrição, deixando de realizar, portanto, quatro operações anuais [arruação (soprar e triturar), varrição e recolhimento], demandando, assim, menor quantidade de tratores.

As três maiores propriedades (P4, P6 e P11) que estão dentro do intervalo interquartílico, caracterizam-se por apresentar número de tratores, normalmente mais antigos, decorrente de uma decisão pela aquisição de tratores usados ou da não renovação constante da frota. Quando se observam as propriedades que se situaram abaixo do quartil inferior (Q1 = 14,3 ha tratror^{-1}), nota-se que nestas (P1, P3 e P8) existe maior relação de tratores por área, provavelmente devido ao fato de que, em determinadas épocas do ano, existe a necessidade de realizar diversas operações concomitantemente, levando à necessidade de maior número de tratores. Um exemplo desta

situação é o período da colheita; quando, além da operação de colheita (realizada com máquina tracionada por um trator), ocorre a necessidade de outros dois tratores, sendo um para tracionar a carreta graneleira e outro para atividades de pós-colheita.

Nota-se que o coeficiente de variação foi muito alto (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002) para todas as variáveis, o que pode ser atribuído à elevada amplitude, decorrente da heterogeneidade do tamanho das lavouras cafeeiras e do perfil dos proprietários, uma vez que a decisão quanto à aquisição de máquinas e implementos agrícolas é tomada pelo proprietário, sem obedecer a critérios técnicos previamente estabelecidos.

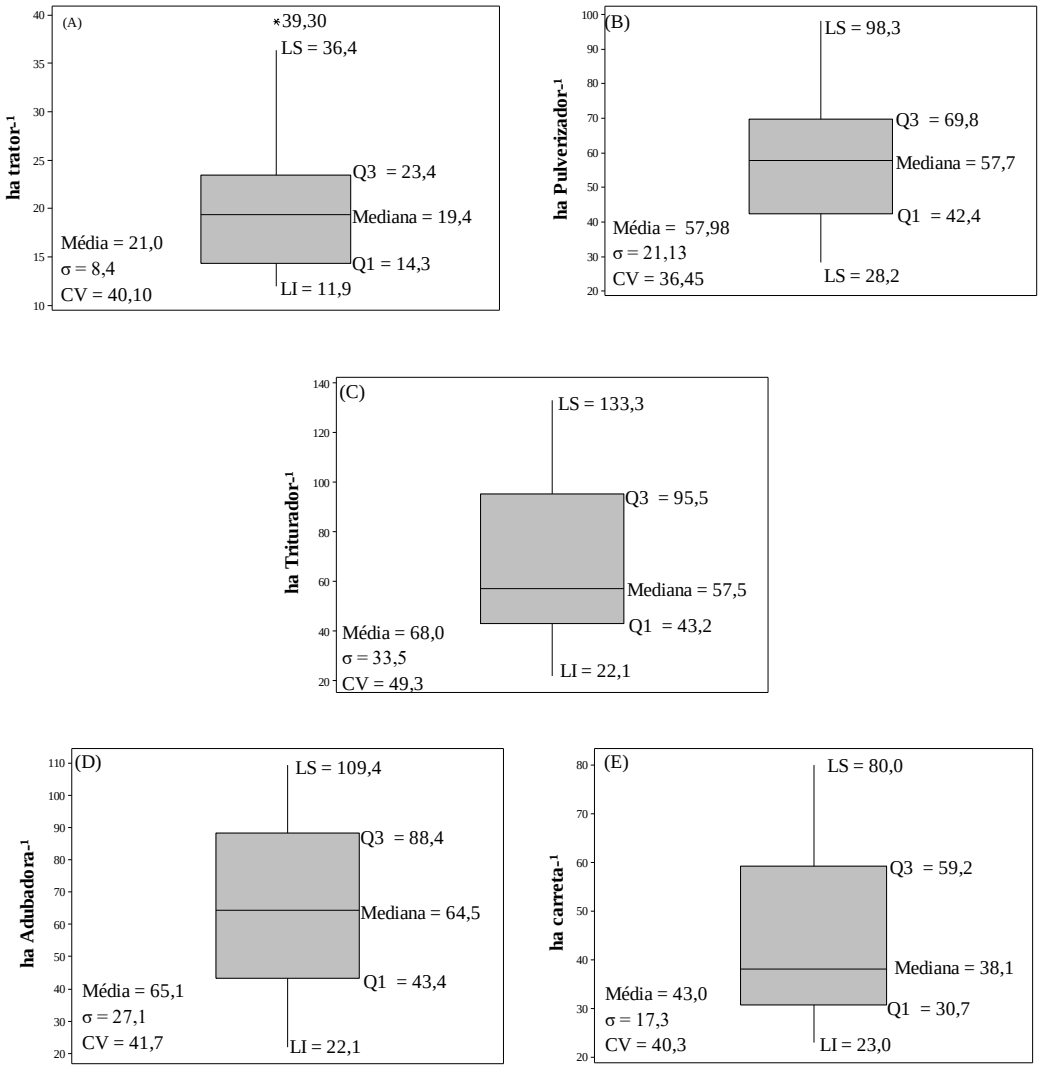


Figura 4. Estatística descritiva e análise de “Box-plot” para o Índice de Utilização de Equipamentos (IUE) nas propriedades avaliadas. Trator (A), Pulverizador hidropneumático (B), Triturador (C), Adubadora (D) e Carreta (E).

Em relação aos pulverizadores, trituradores, adubadoras e carretas (Figuras 4.B a 4.E), observa-se que as médias variaram de 43,00 (carreta, Figura 4.E) a 68,00 ha equipamento^{-1} (triturador, Figura 4.C), apresentando alta variabilidade, como pode ser constatado pelos elevados valores de amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação encontrados. Com relação aos pulverizadores hidropneumáticos (Figura 4.B), foram encontrados valores de 28,20 a 98,30 ha pulverizador hidropneumático^{-1}. De acordo com o Professor Dr. Edson Pozza[1] o indicado é ter um conjunto mecanizado (trator – pulverizador) para cada 60,00 ha e, portanto, a média do grupo (57,98 ha pulverizador^{-1}) encontra-se próxima do adequado. Entretanto, há uma amplitude muito considerável, existindo propriedades com muita área e poucos pulverizadores.

Para adubadoras (Figura 4.D), observa-se que a média foi de uma adubadora para cada 65,10 ha de café, novamente constatando-se alta variabilidade nas medidas de dispersão. Nota-se no Box-plot que em 50% dos casos a área por unidade de máquina ficou na faixa de 43,40 e 88,40 ha, e mesmo não existindo pontos discrepantes ressalta-se a elevada amplitude (de 22,10 a 109,40 ha adubadora^{-1}).

As carretas basculantes (Figura 4.E) podem ser utilizadas para transporte em geral, porém, em maior parte, são destinadas às atividades de colheita. O grupo estudado apresenta média de uma carreta para cada 43,00 ha de café. Na posição dos quartis 1 e 3, foram posicionadas as propriedades com médias de 30,70 e 59,20 ha carreta^{-1} (representam 50% dos dados mais próximos à mediana); já os limites inferiores e superiores, respectivamente, ficaram com as relações de 23,00 e 80,00 ha carreta^{-1}.

Analisando-se as máquinas destinadas ao controle de plantas daninhas (triturador, pulverizador hidráulico e roçadora), notam-se algumas peculiaridades, pois, cada produtor possui suas preferências na forma de manejar as plantas daninhas (Figura 4.C e Figuras 5.A e 5.D). Verifica-se que o IUE para trituradores apresentou média de 68,00 ha triturador^{-1}, porém nota-

[1] Citação pessoal do Prof. Dr. Edson Pozza, da Universidade Federal de Lavras, durante palestra proferida na __ SECITAP da FCAV de 2017.

se elevada amplitude, variando de 22,10 a 133,30. Já a média de área para pulverizadores hidráulicos (herbicida) (Figura 5.A) e roçadora (Figura 5.B) foi de 89,80 e 99,90 ha máquina^{-1}, sendo que a variação da quantidade de roçadoras é influenciada diretamente por um “outlier”, no qual a P13 (Faz. Gaúcha) apresenta uma única máquina para 400,00 ha.

Este ponto discrepante é explicado pela opção de manejo da propriedade, que prioriza o controle via trituradores e herbicida. Os valores de coeficiente de variação foram muito altos, também decorrentes desta grande diferença entre as opções das propriedades.

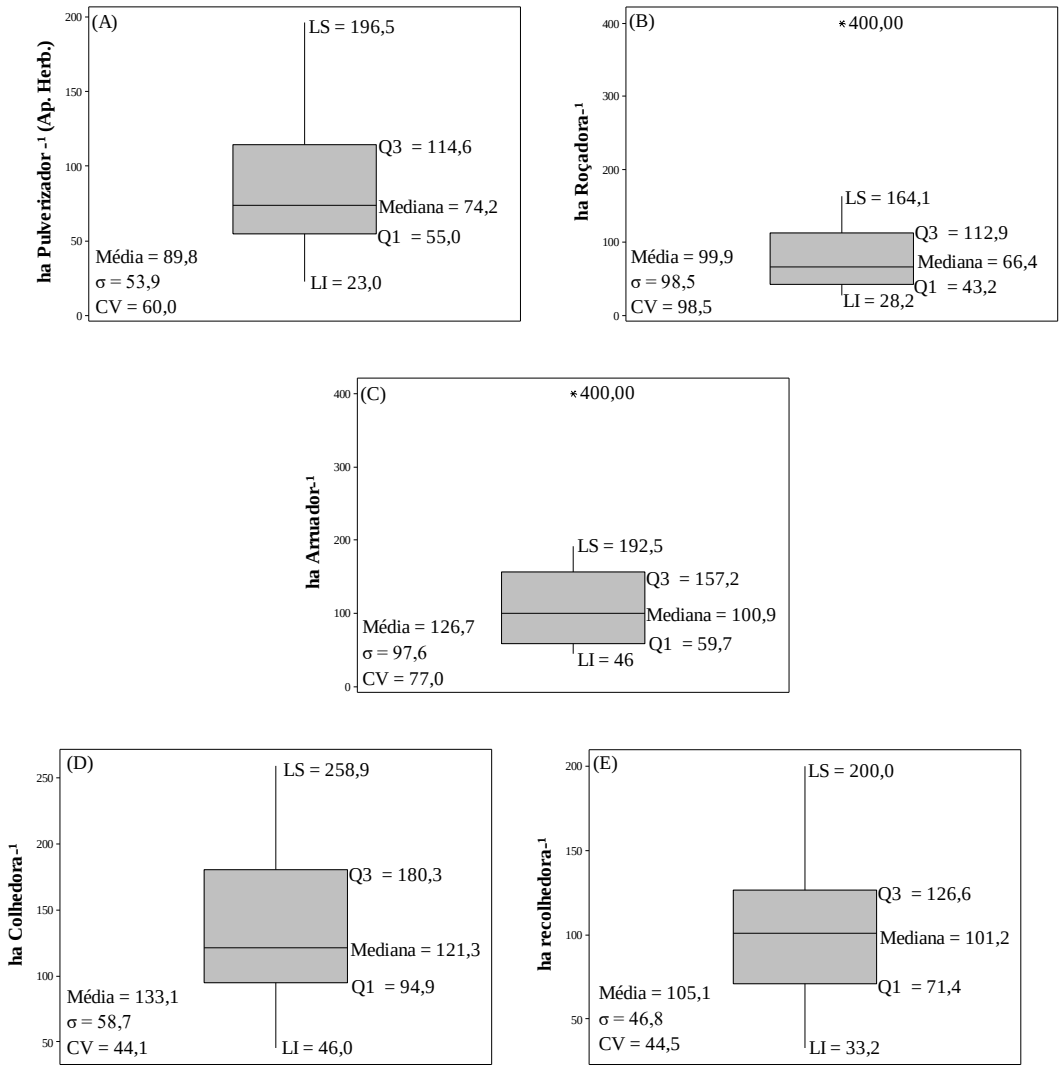


Figura 5. Estatística descritiva e análise de “Box-plot” para o Índice de Utilização de Equipamentos (IUE) nas propriedades avaliadas. Pulverizador hidráulico - herbicida (A), Roçadora (B), Arruador (C), Colhedora (D) e Recolhedora (E).

Quanto aos arruadores-sopradores, colhedoras e recolhedoras (Figuras 5.C a 5.E), observa-se que as médias variaram de 105,10 (recolhedoras) a 133,10 (colhedora) ha máquina^{-1}. Verifica-se que estas máquinas também apresentaram alta variabilidade, como pode ser constatado pelos elevados valores de amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação (Pimentel-Gomes e Garcia, 2002).

A demanda de arruadores-sopradores depende principalmente do modelo e do tamanho do equipamento. Existem arruadores-sopradores unilaterais e outros bilaterais, que variam também em relação à potência da turbina. Outro fator importante é o número de recolhedoras, uma vez que a função do arruador-soprador é organizar o material (café e impurezas) no centro das linhas para que seja realizado o recolhimento. Nesta avaliação, verifica-se que um equipamento bilateral consegue fazer o serviço de até 400,00 ha de café ("outlier"). Entretanto, nas 14 propriedades deste estudo, verifica-se que a média é de 126,70 ha arruador-soprador, sendo que o primeiro quartil foi de 59,70, e o terceiro quartil, de 157,20 ha máquina^{-1}, representando a distribuição central de 50% dos dados, demonstrando a alta variabilidade das amostras.

Em relação às colhedoras, nota-se variação de 46,00 a 258,90 ha para cada máquina, entretanto, observa-se que os dados centrais que representam o conjunto variam de 94,90 (Q1) a 180,30 (Q3) ha colhedora^{-1}. Já para recolhedoras esta distância interquartílica fica entre 71,40 e 126,60 ha máquina^{-1}, porém uma fazenda apresentou relação de 33,20 ha recolhedora^{-1} (limite inferior) e outra de 200,00 ha recolhedora^{-1} (limite superior).

De maneira geral, todas as máquinas demonstraram valores de desvio-padrão e coeficiente de variação muito altos, de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), chegando a ter "outliers" para tratores, roçadoras e arruadores-sopradores. Kay e Edwards (1999) explicam que dimensionar as máquinas para a agricultura não é uma tarefa fácil, pois existe grande diversidade de condições (tamanho, relevo, clima, recursos financeiros, entre outros) que influenciam nos modelos, tamanhos e números de máquinas disponíveis em fazendas.

Em uma análise geral, pode-se constatar que as propriedades P1 e P3 foram as que se situaram mais frequentemente abaixo do primeiro quartil, para

70% e 60% dos equipamentos analisados, respectivamente. Coincidentemente, essas duas propriedades apresentaram maior relação de área pelo número de tratores. Quando se observa o quartil superior, as propriedades P7, P10 e P13 situaram-se acima deste quartil para 60%, 60% e 80% dos equipamentos, respectivamente. Mais uma vez, essas três propriedades são aquelas nas quais o índice de utilização dos tratores (hectares trator^{-1}) é elevado. Esse comportamento está muito ligado às estratégias no desenvolvimento das operações e ao perfil das propriedades e seus proprietários. Entretanto, nota-se que existe um comportamento altamente relacionado às características das lavouras, principalmente no que diz respeito ao tamanho das mesmas.

Esses resultados apontam para a possibilidade de correlação entre os equipamentos avaliados, que será discutido a seguir.

4.1.2 Análise de correlação e regressão

Na matriz de correlação (Tabela 2), verifica-se que a maior parte das variáveis apresenta correlação entre si. Ressalta-se que todos os coeficientes de correlação são positivos, ou seja, à medida que se aumenta a área, aumenta o número de todos os equipamentos. Nota-se também que não existem correlações negativas entre as máquinas, como era de se supor, para controle de plantas daninhas, uma vez que as mesmas exercem funções semelhantes e que o produtor pode optar por uma ou por outra.

Analisando-se as correlações, constata-se, como era de se esperar, que a área é um dos fatores que mais explica o número de equipamentos, tanto que todos os equipamentos apresentaram correlações significativas e positivas. Dentre estas, a máquina mais importante nas fazendas é o trator, apresentando correlação muito forte, com coeficiente de correlação de 0,93. Foram observadas fortes correlações entre a área e o número de pulverizadores hidropneumáticos, pulverizadores hidráulicos (herbicida), adubadoras, colhedoras e carretas (coeficientes de correlação de 0,89; 0,77; 0,87; 0,88 e 0,85, respectivamente). Já para trituradores, roçadoras, arruadores-sopradores e recolhedoras nota-se que a correlação com o tamanho das áreas foi apenas moderada. Em relação às máquinas para

controle mecânico de planta daninhas, essa moderada correlação pode ser justificada devido a estas máquinas serem concorrentes entre si nas atividades que exercem. Para os arruadores-sopradores e as recolhedoras, a explicação é que existem propriedades que preferem contratar serviços terceirizados, em vez de aumentar o número destas máquinas.

Como o trator é uma máquina que serve de tração para as diversas máquinas e implementos, esperava-se forte correlação com as mesmas. Este fato foi observado para todas as máquinas, exceto para pulverizadores hidráulicos (herbicida), que apresentaram correlação moderada. Possivelmente, o pulverizador hidráulico não apresentou forte correlação pelo fato de que, em algumas propriedades existe preferência pelo controle mecânico ao invés do químico.

Em relação às máquinas destinadas ao controle de plantas daninhas, verifica-se que não há correlação entre as mesmas, reforçando, novamente, a hipótese de que o método de controle é muito particular de cada produtor. É normal encontrar divergências na bibliografia quanto aos benefícios dos diferentes métodos de controle de plantas daninhas, porém, de maneira geral, observa-se que existe maior longevidade dos métodos químicos e maior reposição de cobertura do solo e da manutenção do teor de água no solo com controle mecânico, sobretudo com roçadoras (Machado et al., 2012; Fontes et al., 2003). Este fato pode ser a base para a explicação pela preferência dos produtores envolvidos nesta pesquisa por um ou outro método de controle.

Já para as máquinas de colheita (arruador-soprador, colhedora, recolhedora e carretas), nota-se que há forte correlação entre arruador-soprador e recolhedora, como já era esperado.

Esperava-se que não haveria forte correlação entre colhedora e carreta basculante pelo motivo de que algumas máquinas possuem caçamba graneleira. Entretanto, a correlação, ainda assim, foi forte e positiva, demonstrando que, mesmo com a presença de caçambas graneleiras, as carretas continuam sendo componente importante da colheita.

Tabela 2. Matriz de correlação de Pearson entre as variáveis área de café (ha), número de tratores, pulverizadores hidropneumáticos, pulverizador hidráulico (herbicida), trituradores, roçadoras, adubadoras, arruadores/sopradores, colhedoras, recolhedoras, carretas e declividade.

	Área (ha)	Trator	Pulverizador	Ap. Herb.	Triturador	Roçadora	Adubadora	Arruador	Colhedora	Recolhedora	Carreta
Tratores	0,93[a]** <0,0001[b]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pulv. hidropneumát.	0,89** < 0,0001	0,86** < 0,0001	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pulv. hidráulico	0,77** 0,0023	0,68* 0,0104	0,55* 0,0428	-	-	-	-	-	-	-	
Trituradores	0,66** 0,0097	0,82** 0,0006	0,64* 0,0135	**0,46[NS] 0,1019**	-	-	-	-	-	-	
Roçadoras	0,69** 0,0830	0,82** 0,0144	**0,52[NS] 0,0709**	**0,30[NS] 0,8742**	**0,39[NS] 0,1864**	-	-	-	-	-	
Adubadoras	0,87** < 0,0001	0,81** 0,0008	0,78** 0,0010	0,64* 0,0145	0,79** 0,0007	**0,49[NS] 0,0869**	-	-	-	-	
Arruadores	0,64* 0,0727	0,87** 0,0002	0,59* 0,0357	0,69** 0,0095	0,73** 0,0046	**0,09[NS] 0,7801**	0,60* 0,0296	-	-	-	
Colhedoras	0,88** < 0,0001	0,86** < 0,0001	0,88** < 0,0001	**0,51[NS] 0,0658**	0,73** 0,0029	0,63**0,0223	0,85** 0,0001	**0,49[NS] 0,1267**	-	-	
Recolhedoras	0,62* 0,0194	0,81** 0,0009	**0,50[NS] 0,0684**	0,63* 0,0149	0,70** 0,0056	**0,19[NS] 0,5253**	0,55* 0,0408	0,84** 0,0004	0,56* 0,0369	-	
Carretas	0,85** 0,0001	0,88** < 0,0001	0,84** 0,0002	0,71** 0,0044	0,73** 0,0029	**0,50[NS] 0,0833**	0,88** < 0,0001	0,73* 0,0045	0,79** 0,0007	0,58* 0,0285	
Declive (%)	-0,59* 0,0252	**-0,50[NS] 0,0694**	**-0,48[NS] 0,0815**	**-0,44[NS] 0,1202**	**-0,11[NS] 0,6991**	**-0,29[NS] 0,3215**	**-0,43[NS] 0,1234**	**-0,20[NS] 0,4949**	-0,57* 0,0332	**-0,37[NS] 0,1994**	**-0,40[NS] 0,1522**

[a] coeficiente de correlação de Pearson; [b] valor-p; * significativa a 0,05 de probabilidade; ** significativa a 0,01 de probabilidade; [ns] correlação não significativa.

Ainda na Tabela 2, verifica-se que a maioria das variáveis não apresentou correlação com a declividade. Vale ressaltar que a variação das declividades médias das propriedades (Tabela 1) não foram elevadas, variando entre 4,21 e 8,60%. De acordo com a classificação da Embrapa (1979), estas declividades caracterizam os terrenos como suaves ondulados e ondulados e, conforme Höfig e Araujo-Junior (2015), declividades abaixo de 10% são muito aptas à mecanização em todas as etapas do processo produtivo do café.

Pode-se notar que existe correlação negativa entre área e declividade, e colhedora e declividade. Possivelmente, a explicação seja que, neste estudo, as menores propriedades estavam alocadas em regiões com topografia mais acidentada. Já em relação às colhedoras, possivelmente, a correlação está atrelada à possibilidade de as menores fazendas trabalharem com colhedoras alugadas em vez de máquinas próprias.

A análise de regressão linear mostrou tendência significativa de aumento para o número de tratores quando relacionados ao tamanho das lavouras das propriedades (Figura 6). Pode-se notar que, apesar da existência de um comportamento oscilatório, é possível ajustar uma regressão linear (R^2 = 0,86), indicando que há um crescimento linear do número de tratores por propriedade quando relacionado ao tamanho das lavouras. Observa-se que as propriedades P12, P2 e P13 apresentam número de tratores abaixo da linha de tendência, destoando do comportamento da maioria das propriedades, indicando que nestas propriedades os tratores trabalham de forma mais intensiva nas atividades executadas durante o ano. Por outro lado, as propriedades P11 e P4 trabalham com menor relação de área por trator, indicando que, possivelmente, estas propriedades estejam com maior ociosidade dos tratores.

Em pesquisa semelhante, Gimenez e Milan (2007) constataram que, na soja, o número de tratores se eleva, acompanhando o crescimento das lavouras e que, nas propriedades maiores, a mecanização tende a ser mais eficiente. Outro fato interessante é que o número médio de tratores no cultivo de soja é muito menor que na cafeicultura. Isso se dá por a capacidade de campo operacional na cultura da soja ser muito maior em relação ao café, uma vez que os equipamentos de produção de grãos,

em geral, têm largura de trabalho muito maior que as máquinas presentes nas atividades da cafeicultura, em que a largura de trabalho, normalmente, é dada pelo espaçamento entre as linhas das plantas.

Tendo em vista este comportamento crescente do número de tratores quando se relaciona com o crescimento do tamanho das áreas, surge outro fator passível de análise: será que as fazendas maiores possuem maior relação de potência por unidade de área? A resposta pode ser obtida observando-se a Figura 7, na qual se verifica que o índice de mecanização não apresentou regressão linear significativa pelo teste F, a 5% de probabilidade. Desta forma, tem-se que o índice de mecanização deve ser então representado pela média, indicando que existe, em média, nas propriedades analisadas, 0,45 ha kW^{-1}. Schlosser et al. (2004) obtiveram resultados diferentes com produção de arroz. Na pesquisa, os autores citam que o tamanho da área de cultivo acarretou diferenças expressivas, reduzindo de forma significativa a relação de potência por unidade de área.

Uma vez que a média pode representar a distribuição do índice de mecanização nas propriedades analisadas, pode-se inferir, em função da área, qual será a potência necessária para realizar a mecanização da lavoura cafeeira.

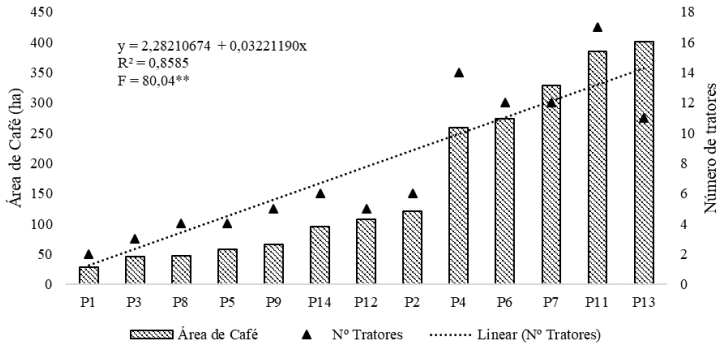


Figura 6. Regressão linear para o número de tratores das propriedades avaliadas.

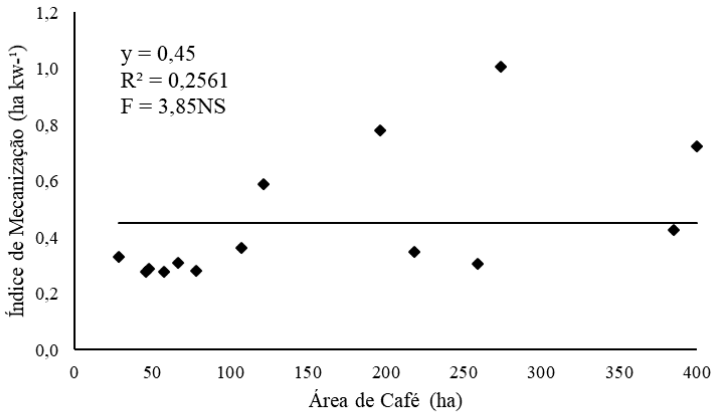


Figura 7. Regressão linear para o Índice de Mecanização (ha trator^{-1}) das propriedades avaliadas.

As discrepâncias são menos intensas quando se analisa o número de pulverizadores hidropneumáticos (Figura 8), demonstrando também ajuste linear em relação à evolução do número de pulverizadores. Verifica-se que alguns pontos se destoam mais em relação à reta ajustada, como é o caso das propriedades P2, P10 e P4, que deveriam ter um pulverizador hidropneumático a mais para seguirem o comportamento do grupo. Por outro lado, as propriedades P14, P6 e P11 apresentam maior relação de máquinas. Algumas destas propriedades necessitam de mais pulverizações por estarem em áreas de risco (propícias à incidência de pragas e doenças), como, por exemplo, a P14 (Panorama), podendo haver sobreposição de atividades no mesmo período.

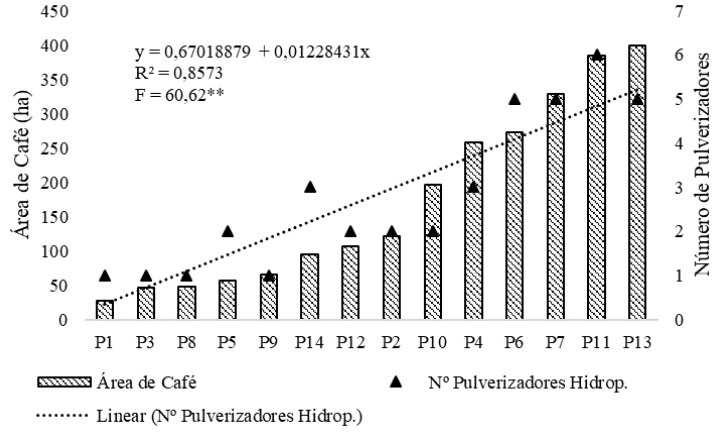


Figura 8. Regressão linear para o número de pulverizadores hidropneumáticos nas propriedades avaliadas.

Para controle de plantas daninhas, as fazendas possuem características peculiares, sendo que algumas preferem utilizar roçadoras e outras usam trituradores, enquanto em outras o controle químico é realizado, utilizando-se de pulverizadores hidráulicos (Figuras 9, 10 e 11). Por este motivo, nota-se que o coeficiente de determinação, tanto para os pulverizadores hidráulicos (R^2=0,60), quanto para roçadoras (R^2=0,47) e trituradores (R^2=0,44), foi moderado, indicando que a regressão apresenta baixa representatividade para explicar o crescimento do número destas máquinas no grupo de propriedades estudadas. De maneira geral, o pulverizador hidráulico é tido como essencial, estando presente em todas as propriedades. Em relação aos trituradores e roçadoras, há fazendas que optam por um ou por outro, como, por exemplo, a propriedade P10, que não possui triturador, mas, por outro lado, possui quatro roçadoras. Já a fazenda P8 não faz o uso de roçadoras, efetuando o controle mecânico por meio de um triturador apenas. Percebe-se ainda que a dispersão dos dados é maior que as dispersões observadas para tratores e pulverizadores hidropneumáticos, pois o número das máquinas destinadas ao controle de plantas daninhas é menor, apresentando média de um pulverizador hidráulico (herbicida), um triturador e uma roçadora para cada 89,84; 67,98 e 99,93 ha de café, respectivamente.

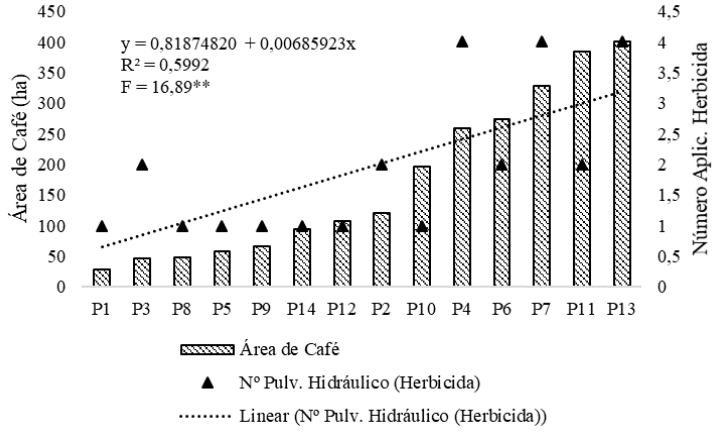


Figura 9. Regressão linear para o número de pulverizadores hidráulicos (herbicida) nas propriedades avaliadas.

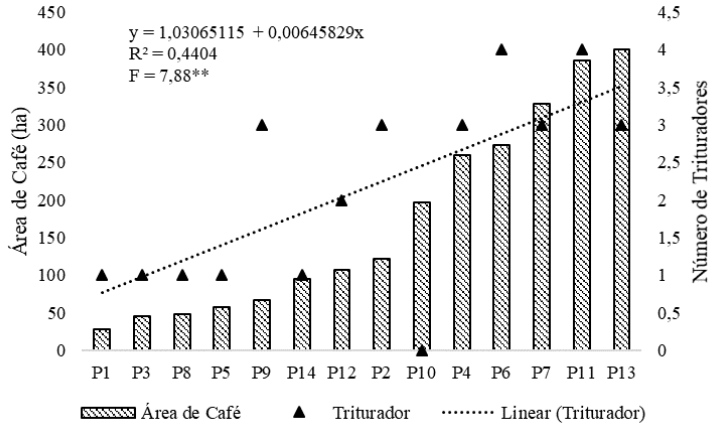


Figura 10. Regressão linear para o número de trituradores nas propriedades avaliadas.

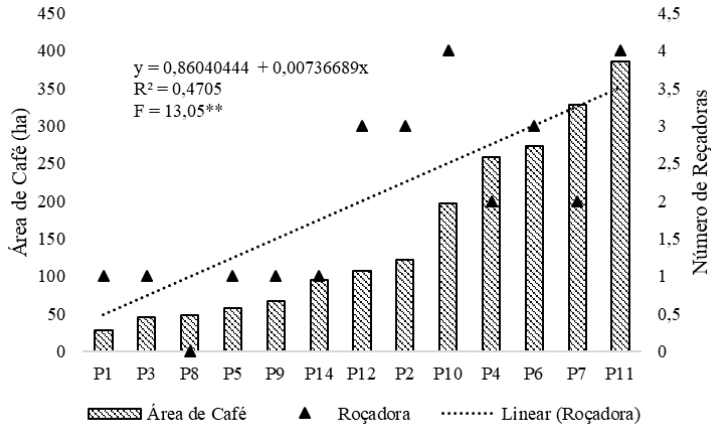


Figura 11. Regressão linear para o número de roçadoras nas propriedades avaliadas.

A análise de regressão mostrou tendência significativa de aumento para o número de adubadoras quando relacionadas ao tamanho das propriedades (Figura 12). Apesar do bom coeficiente de determinação da regressão linear (R^2 = 0,76), indicando que para cerca de 86% dos dados há crescimento linear do número de adubadores com o aumento da área, é possível observar que há dispersão do número de adubadores em torno das linhas de regressão ajustadas, indicando falta de padrão nas estratégias deste grupo de fazendas. Um exemplo disso é que as propriedades de 28,60 (P1); 46,00 (P3), 47,60 (P8) e 94,70 ha (P14) possuem exatamente o mesmo número de adubadoras, indicando que, ou a maior possui equipamento de menos, ou que as menores propriedades possuem equipamentos “em excesso”. Um dos fatores que podem influenciar neste resultado é o tipo de adubo (convencional ou de liberação controlada). Quando se trabalha com adubos convencionais, normalmente realizam-se cinco adubações anuais (uma com fósforo e quatro com adubos nitrogenados e potássicos). Já com adubos de liberação controlada, o número de operações reduz para duas ou três, dependendo da formulação do adubo adquirido. A opção de se trabalhar com adubos de liberação controlada é a que demanda menor número de máquinas.

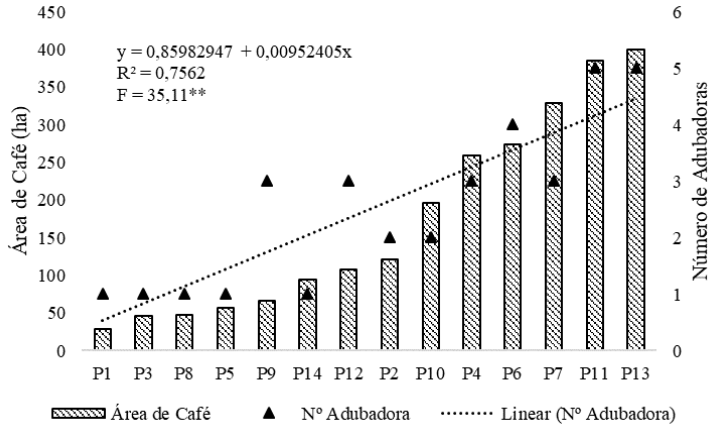


Figura 12. Regressão linear para o número de adubadoras nas propriedades avaliadas.

As colhedoras apresentam crescimento linear com o aumento da área das propriedades, com a análise de regressão mostrando tendência significativa e com coeficiente de determinação forte (R^2 = 0,77) (Figura 13). Até cerca de 20 anos atrás, a colheita nas lavouras de café era feita principalmente de forma manual. Posteriormente, algumas empresas passaram a prestar serviço de colheita com máquinas; porém, muitas vezes, não conseguiam atender todos os produtores no momento em que estes precisavam. Este motivo fez com que muitos produtores adquirissem suas próprias colhedoras, mesmo ficando com elas subutilizadas em função da pouca área disponível para a colheita. Isto pode ser confirmado na Figura 13, na qual se observa que todas as propriedades, a partir de 46 ha, têm estrutura própria de colheita (colhedoras e carreta). Uma opção que estas propriedades adotam é a prestação de serviços externos à propriedade, reduzindo os custos da hora trabalhada.

A P1 é a única que não possui colhedora, contratando serviços terceirizados de colheita. A propriedade P3, com apenas 46,00 ha, possui uma máquina e presta serviço para produtores da região, o que permite diluir os custos com o uso da máquina. As propriedades P5 e P8 (105,00 ha de café, juntas) pertencem a dois irmãos que dividem o uso de uma única máquina. As fazendas de até 200,00 ha possuem uma colhedora; nas propriedades de 200,00 a 400,00 ha existem de uma a três colhedoras. A “priori” uma colhedora na fazenda de 258,93 ha necessita trabalhar 24 horas por dia para

conseguir fazer a colheita no tempo hábil programado pela fazenda, teoricamente trabalhando 24 horas pois uma colhedora está fazendo serviço de duas que trabalhariam 12 h dia^{-1}. Pelo comportamento do número de colhedoras deste grupo de propriedades em estudo, o número ideal para esta propriedade seria de duas, mesmo excedendo o turno de trabalho.

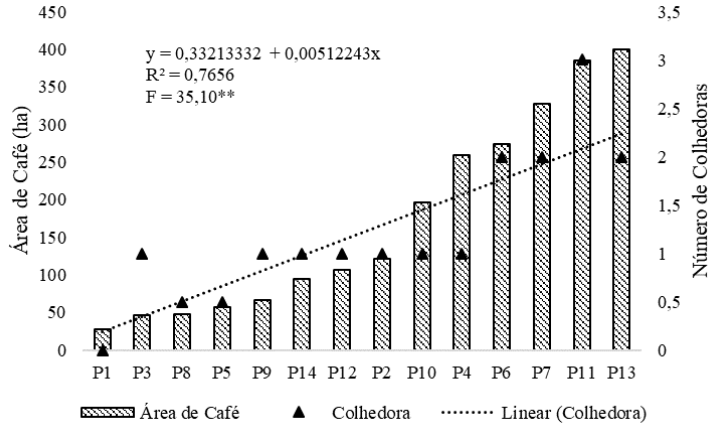


Figura 13. Regressão linear para o número de colhedoras nas propriedades avaliadas.

Para este grupo de fazendas, o número de arruadores-sopradores cresce de maneira linear quando se relacionam estas máquinas com o tamanho da lavoura; porém, verifica-se que a reta ajustada apresenta coeficiente de determinação moderado (R^2=0,41), decorrente da elevada variabilidade (Figura 14). Este fato acontece, possivelmente, por dois fatores: 1) porque a Fazenda Cruzeiro não possui arruador-soprador, uma vez que opta por não recolher os frutos caídos ao solo; 2) pela diversidade de modelos dos arruadores-sopradores, permitindo que, com apenas uma dessas máquinas, seja possível realizar o serviço de varrição ou arruação em lavouras de 23 até 121 ha, durante uma safra. Já para as recolhedoras, verifica-se também elevada dispersão dos valores em toda linha de tendência, demonstrando também coeficiente de determinação moderado (R^2 = 0,45) entre o tamanho da lavoura e a quantidade de máquinas variando de 33,20 a 200,00 ha recolhedora^{-1}. Novamente cita-se que existe uma propriedade que não recolhe o café (Fazenda Cruzeiro) e outra (P1,

Fazenda Dona Sinhá) que não possui a máquina e que contrata serviços terceirizados (Figura 15).

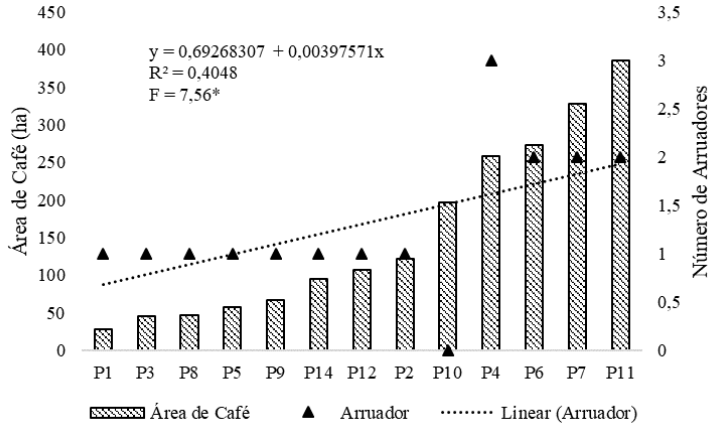


Figura 14. Regressão linear para o número de arruadores-sopradores nas propriedades avaliadas.

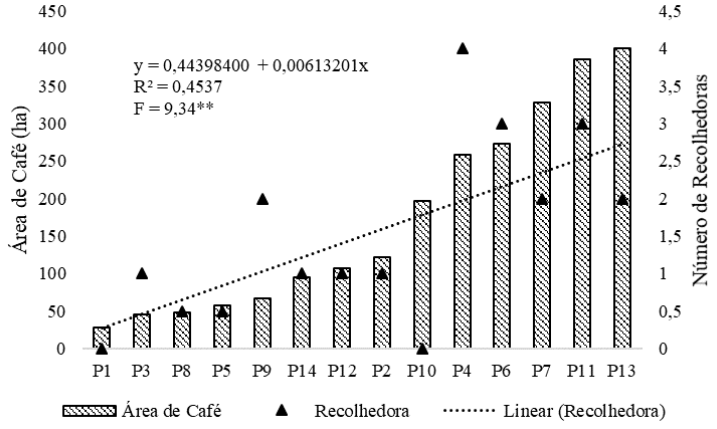


Figura 15. Regressão linear para o número de recolhedoras nas propriedades avaliadas.

As carretas basculantes, por sua vez, são usadas com maior intensidade durante a colheita do café. Já na entressafra, elas são usadas casualmente em transporte de materiais. Como pode ser visto na Figura 16, o número de carretas basculantes nas fazendas não apresenta o crescimento relacionado com o aumento da área, uma vez que somente foi possível ajustar uma regressão polinomial de 3º grau, deixando a entender que a aquisição deste equipamento não é realizada com um equacionamento baseado no tamanho da lavoura.

Bochtis e Sørensen (2009) citam que o conjunto mecanizado composto por trator-carreta é classificado como unidade de suporte, tendo sua função sempre atrelada a atividades de apoio, como é o caso das atividades de colheita do café. Este fato pode embasar a compreensão do resultado obtido na Figura 16, em que a variação no número de carretas é muito associada ao método de trabalho de cada propriedade. Entretanto, apesar de a linha de tendência não auxiliar na compreensão da relação entre o número de implementos e o tamanho das lavouras, verifica-se que as propriedades com lavoura de até 66,00 ha tinham de uma a duas carretas; nas de 94,00 a 196,00 ha, havia três carretas, e nas de 258,00 a 400,00 ha, de cinco a oito carretas.

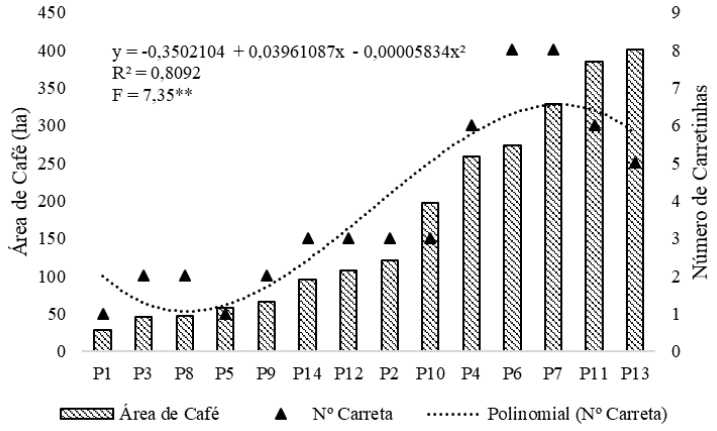


Figura 16. Regressão para o número de carretas nas propriedades avaliadas.

4.1.3 Análise multivariada

O dendrograma obtido pela análise de agrupamentos (Figura 17) permitiu a divisão das variáveis em grupos, por meio da distância euclidiana entre pontos. Analisando o número de máquinas juntamente com o tamanho das propriedades, nota-se que existem dois grandes grupos obtidos a partir do critério do pacote "NbCluster" do software R (R Development Core Team, 2014): (I) propriedades com lavouras entre 28,00 e 121,30 ha e (II) propriedades com lavouras entre 196,00 e 400,00 ha.

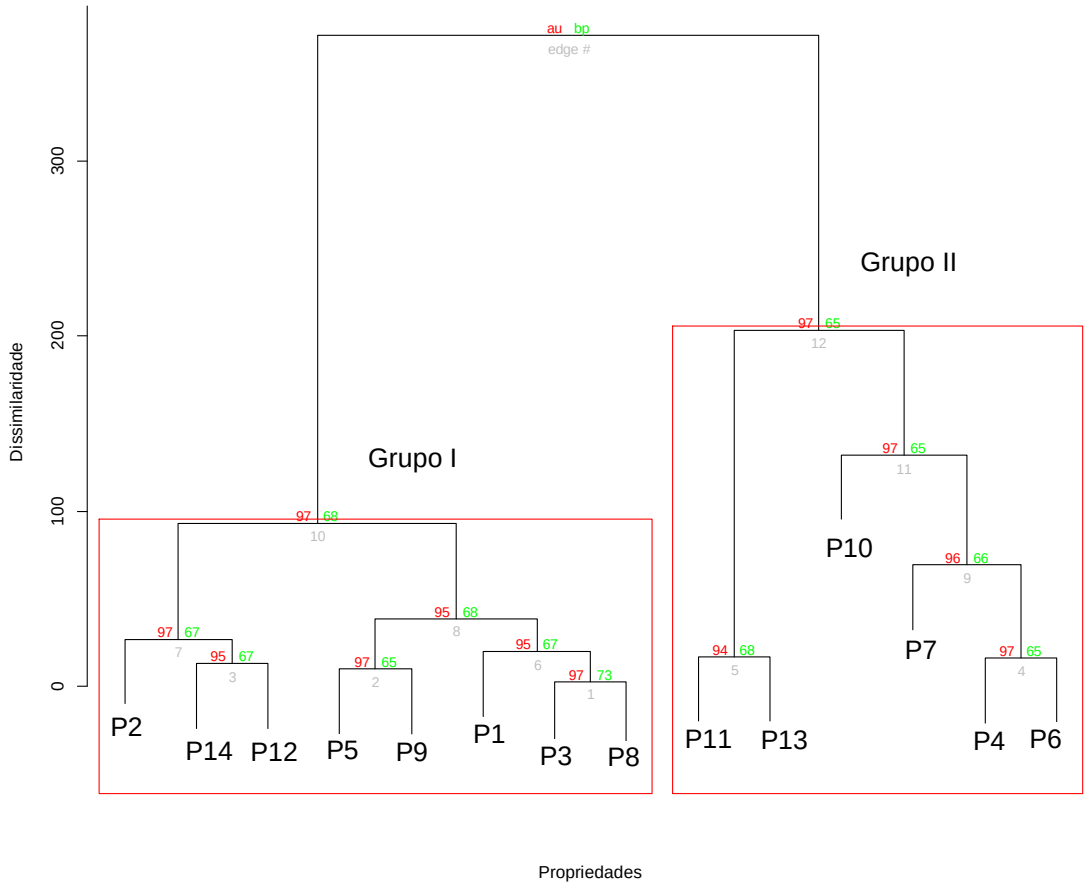


Figura 17. Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos pelas áreas de café das propriedades e os respectivos números de máquinas. P1: 28,20; P2: 121,30; P3: 46,00; P4: 258,90; P5: 57,50; P6: 273,60; P7: 328,10; P8: 47,60; P9: 66,40; P10: 196,50; P11: 385,00; P12: 107,20; P13: 400,00; P14: 94,70 ha.

Esses grupos formados retratam as semelhanças nos critérios de aquisição de máquinas e implementos adotados pelos produtores, pois, nas observações de campo, foi notado que as propriedades maiores (grupo II), normalmente, buscam as máquinas mais eficientes, com maior capacidade de campo operacional, enquanto o grupo das menores propriedades (grupo I) apresenta maior variação nos modelos e tamanho dos equipamentos utilizados, provavelmente devido ao custo de aquisição.

Como informação adicional, pode-se observar, dentro destes dois grandes grupos, a existência de outros subgrupos (indicados pelas subdivisões 10 e 12). Este comportamento é interessante, pois novamente contempla as diferenças de formação de grupos apoiados nas dimensões das lavouras de café, reforçando que o fator área é o mais importante para explicar a necessidade de conjuntos.

Considerando o número de agrupamentos igual a dois, realizou-se a análise de agrupamento pelo método não hierárquico, k-means, para a confirmação da ordenação. Conforme a Tabela 3, as variáveis apresentaram diferenças ($p<0,05$), com exceção da variável nº de roçadoras, indicando que esta variável não foi representativa para a diferenciação dos grupos. Este fato pode ser explicado pelo motivo de que o método de controle de plantas daninhas, mecânico, com roçadoras, não é uma regra para todas as propriedades. Pelo número de trituradores existentes, subentende-se que existe uma preferência ou tendência de substituição das roçadoras por trituradores. De modo geral, o controle ou manejo de plantas daninhas ocorre de maneira aleatória na entressafra e, às vezes, é posicionado em momentos em que não há outra operação mecanizada, mesmo sendo tão importante evitar a “mato competição”.

Tabela 3. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise não hierárquica de agrupamentos k-means.

Variável	Soma de quad. entre grupos	Graus de liberdade	Soma de quad. dentro dos grupos	Graus de liberdade	Valores de F	Prob. (p)
Área	10,86	1	2,14	12	60,89	0,000005
Trator	11,42	1	1,57	12	87,33	0,000001
Pulv.1.	8,80	1	4,20	12	25,14	0,000302
Pulv.2.	8,64	1	4,37	12	23,74	0,000383
Triturador	7,36	1	5,64	12	15,66	0,001905
Roçadora	1,07	1	11,93	12	1,08	**0,319108º**
Adubad.	9,61	1	3,39	12	34,02	0,000081
Colhedora	7,52	1	5,48	12	16,48	0,001582
Arruador	7,95	1	5,06	12	18,86	0,000957
Recolhed.	6,58	1	6,42	12	12,30	0,004330
Carreta	10,77	1	2,23	12	57,95	0,000006

° Não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de k-means. Pulv.1: Pulverizador hidropneumático; Pulv. 2: Pulverizador hidráulico.

Analisando as médias padronizadas das características das propriedades em cada grupo, segundo análise de agrupamentos k-means (Figura18), nota-se que o grupo I é bem diferente do grupo II (as linhas não se cruzam), que ambos são estáveis (não variam muito) entre os equipamentos e que apenas a variável roçadora foi discrepante em relação ao comportamento natural dos grupos.

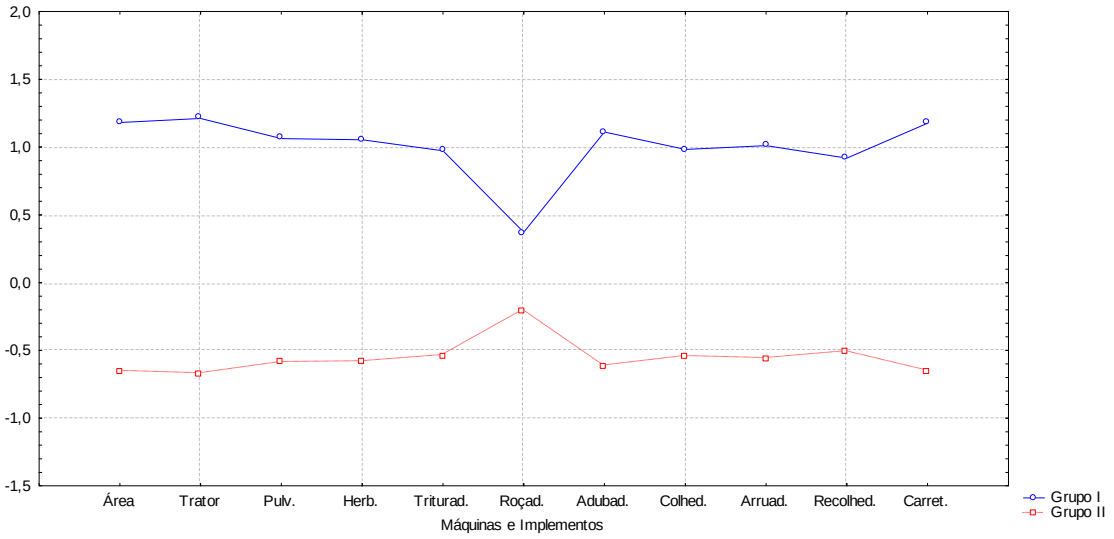


Figura 18. Análise de agrupamento não hierárquica (k-means) em função do grupo de propriedades.

Dois componentes principais foram extraídos com autovalor maior que um, de acordo com a classificação de Kaiser (1958). Os componentes principais (CP) permitem compreender relações entre as quantidades de máquinas e as dimensões das lavouras. Dois autovalores foram utilizados explicando 82,15% da variabilidade contida nos dados originais (69,47% em CP1 e 12,68% em CP2) (Tabela 4). A interpretação dos resultados por componentes principais é baseada na pressuposição de que o CP 1 é representado no eixo das abscissas, enquanto o CP 2 é representado no eixo das ordenadas. Além disso, os sinais dos coeficientes (positivos ou negativos) expressam a relação entre variáveis, direta e inversa, respectivamente (Bussad e Morretin, 1987).

Tabela 4. Autovalores gerados da matriz de covariância para características das propriedades.

Componente principal	Autovalor	Variância total (%)	Autovalor acumulado	Acumulado (%)
1	7,64	69,47	7,64	69,47
2	1,40	12,68	9,04	82,15
3	0,69	6,29	9,73	88,43
4	0,45	4,09	10,18	92,52
5	0,33	2,97	10,50	95,49
6	0,26	2,40	10,77	97,89
7	0,11	1,02	10,90	98,90
8	0,07	0,64	10,95	99,54
9	0,03	0,27	10,99	99,81
10	0,02	0,15	11,00	99,96
11	0,01	0,04	11,00	100,00

Na Tabela 5, é possível observar as correlações das variáveis e dos componentes principais. Verifica-se que todas as variáveis apresentaram correlação com o CP1, considerando-se correlação maior que 0,50, com exceção das roçadoras pelos motivos anteriormente explicados. Observa-se, também, que todas as variáveis possuem correlação negativa com o CP1, ou seja, quando existe aumento no CP1 observa-se redução nas variáveis proporcionalmente, ou vice-versa. Ressalta-se ainda que as maiores contribuições para o CP1 vêm das variáveis área, trator, pulverizador hidropneumático, triturador, adubadora, arruador e carreta (com correlação > 0,80).

No CP2, denominada a variável roçadora (0,66) e colhedora (0,54), ou seja, estas variáveis crescem de forma similar dentro de CP2. Verifica-se que existem algumas variáveis que foram negativas, porém todas elas com o coeficiente menor que 0,50.

Tabela 5. Correlação entre cada componente principal e as variáveis estudadas.

Variável	CP 1	CP2
Área	-0,93	-0,18
Trator	-0,98	0,04
Pulverizador hidropneumático	-0,87	-0,39
Pulverizador Hidráulico (Herbicida)	-0,76	0,40
Triturador	-0,84	0,11
Roçadora	-0,45	-0,66
Adubadora	-0,91	-0,13
Colhedora	-0,72	0,54
Arruador	-0,89	-0,32
Recolhedora	-0,76	0,49
Carreta	-0,93	-0,05

CP1: componente principal 1; CP2: componente principal 2.

A representação gráfica e a correlação das variáveis nos componentes principais (Figura 19 e Tabela 5) permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos grupos I e II[(I) Propriedades com lavouras entre 28,00 e 121,30 ha e (II) Propriedades com lavouras de 196,50 a 400,00 ha]. Observa-se que a formação dos grupos ocorre pela contribuição conjunta de todas as variáveis, com exceção das roçadoras, sempre com crescimento no sentindo das maiores propriedades (grupo II). Os coeficientes de correlação mais contributivos entre variáveis foram: área, trator, pulverizador, triturador, adubadora, arruador e carreta (com correlação > 0,80). Em CP 2, a variável roçadora (-0,66) apresentou-se com maior significância, discriminando os acessos novamente na parte esquerda do gráfico biplot; entretanto, com comportamento distinto dos demais.

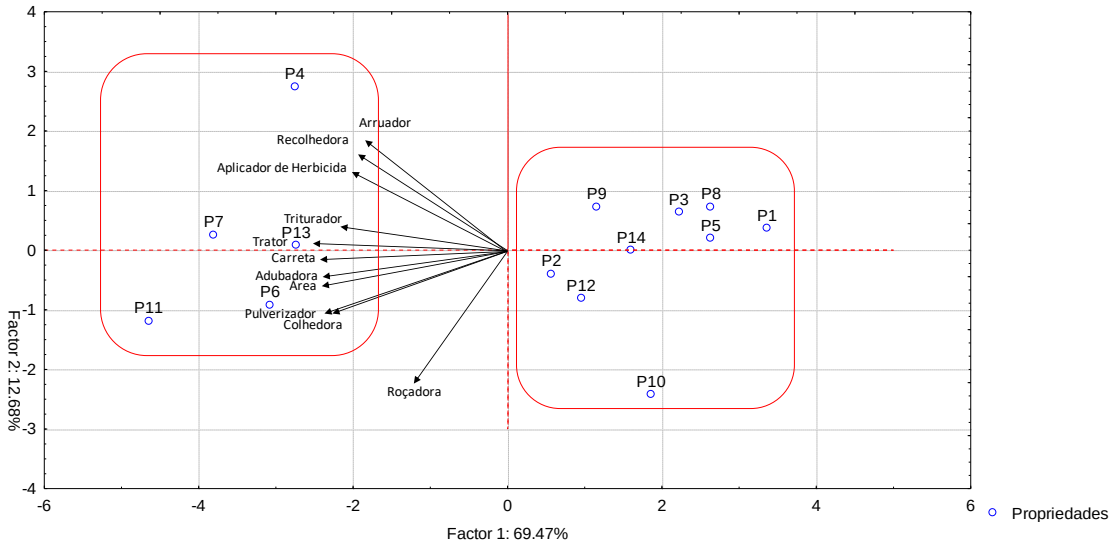


Figura 19. Biplot para características das propriedades CP 1 x CP 2.

4.2 Desenvolvimento do modelo de planejamento

As observações de campo permitiram entender a dinâmica das atividades em cada propriedade. Observou-se uma variação nas estratégias operacionais das propriedades, nas quais cada produtor/administrador possui sua forma de trabalho, o que dificulta equacionar a mecanização na cultura do café. Como foi observado na Figura 17, as propriedades estudadas dividem-se em 2 grupos, e o fator que mais explica o comportamento é o tamanho da lavoura (Tabela 2). No entanto, fatores como raio médio de deslocamento, característica físicas dos talhões (tamanho das linhas, declividade, entre outros), característica das lavouras (altura das plantas, produtividade, se é lavoura em formação ou em produção, espaçamento, entre outros), característica das máquinas (potência, capacidade de carga, idade, entre outros) e mão de obra (experiência, comprometimento e satisfação) são fatores difíceis de serem quantificados e que influenciam muito na capacidade operacional das máquinas.

Mesmo considerando-se todos esses fatores, é possível estimar as operações mecanizadas nas propriedades por meio do planejamento baseado nas informações mais frequentes. Para isso, nas propriedades estudadas, foram contabilizados um total

de 104 tratores, 30 pulverizadores hidropneumáticos, 26 pulverizadores hidráulicos (herbicida), 30 trituradores, 27 roçadoras, 34 adubadoras, 19 arruadores, 17 colhedoras, 21 recolhedoras e 53 carretas basculantes, conduzindo 2.300,89 ha de lavoura cafeeira.

Na Tabela 6, podem ser observados os equipamentos que predominam nas propriedades utilizadas para esta pesquisa. Desta forma, foram consideradas, para os cálculos de planejamento, as capacidades de campo operacionais médias reais das propriedades em estudo (1,48; 1,71; 1,03; 1,82; 1,37; 1,60; 0,80; 0,80; 1,60; 0,40; 0,68; 0,32 ha h^{-1} para as atividades de pulverização, adubação, aplicação de compostos orgânicos, controle de pragas e doenças com aplicações via “drench”, calagem, roçadoras, trituradores, aplicação de herbicidas, arruação, colheita, varrição e recolhimento, respectivamente).

Tabela 6. Predominância de máquinas nas propriedades cafeeiras.

Equipamentos	Característica mais frequente	Marca mais frequente
Tratores	79,3% dos tratores têm potência entre 47,84 e 62,56 kW	76,8% dos tratores são das marcas Valtra/Valmet, Massey Ferguson e New Holland/Ford.
Pulverizadores hidropneumático	95,4% são equipamentos com capacidade de 2.000 L	92,1% são da marca Jacto
Pulverizadores hidráulicos (herbicida)	92,3% são equipamentos com capacidade de 400 L	80,7% são da marca Jacto
Trituradores	Todos os equipamentos variam em torno de 1,6 m de largura de trabalho	58,8% dos trituradores são da marca Pinhalense.
Roçadoras	A maior parte (52%) possui largura de 1,3 m de trabalho	59,3% são da marca Kamaq
Adubadora	59,1% são equipamentos com capacidade de 1,8 m³	84,4% são da marca Kamaq
Arruadores-sopradores	85,7% dos arruadores são bilaterais	81,3% são da marca Miac
Colhedoras	76,5% das colhedoras são tracionadas e 64,70% não possuem reservatório de café nas máquinas.	82,4% são da marca Jacto
Recolhedoras	88,2% são equipamentos com capacidade de 3,0 m³	71,4% são da marca Miac
Carretas basculantes	89,1% são equipamentos com capacidade de 4,5 m³	69,2% são da marca Cemag

Para compreender o processo das atividades mecanizadas nas lavouras em produção, foram criados os fluxogramas das atividades cafeeiras. Para tanto, as atividades foram divididas em operações de tratos culturais e operações de colheita, que são descritas a seguir.

4.2.1 Operações de tratos culturais

Durante as observações, foi possível entender os processos mecanizados da cultura do café. Compõem estes processos as atividades de calagem, aplicação de matéria orgânica, pulverização de caldas via foliar, adubação via solo, aplicação mecanizada de fungicida/inseticida via “drench”, controle mecânico de plantas daninhas com roçadoras, com trituradores e controle químico de plantas daninhas.

Incialmente verificou-se a atividade de calagem (Figura 20), normalmente realizada após a colheita e antes do período chuvoso (agosto/setembro). Esta atividade é condicionada à necessidade de correção do solo; porém, em solos de Cerrado, facilmente verificam-se teores altos de ferro e alumínio (Malavolta e Kliemann, 1985), e como estes elementos em excesso prejudicam a cultura do café, a calagem visa a corrigi-los. Outro fator é a adubação utilizada nas lavouras, principalmente nitrogênio e potássio, que possuem alta capacidade de salinização, reduzindo o pH do solo (Matiello et al., 2010). Estes fatores fazem com que a necessidade de calagem anual seja quase uma regra na região do Cerrado (Malavolta e Kliemann, 1985).

O processo de correção do solo (Figura 20) inicia-se com o preparo das máquinas na sede da propriedade (1). Esse preparo refere-se à verificação (2); se as máquinas (adubadoras, tratores e pá mecânica) estão em perfeito funcionamento (3); ou se há a necessidade de manutenções (4). Outro ponto considerado neste preparo é a regulagem dos equipamentos (2) e, neste momento, também a parte administrativa da propriedade deve garantir que os insumos cheguem em tempo hábil (2).

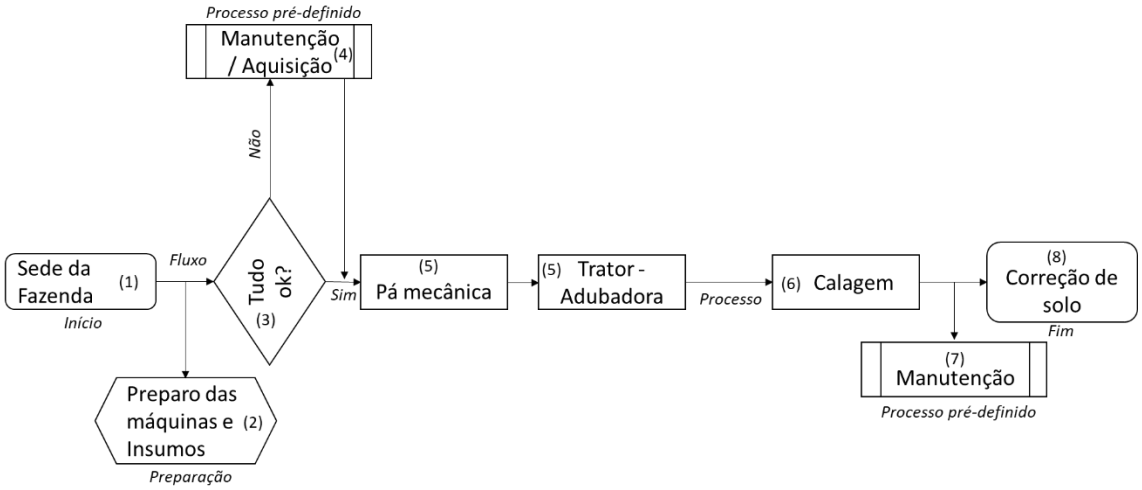


Figura 20. Fluxograma da operação mecanizada de correção do solo (calagem).

Normalmente, o calcário e/ou o gesso são entregues nas propriedades a granel e é interessante que o insumo seja depositado em pontos estratégicos na propriedade, sobretudo nas maiores propriedades, visando a reduzir os deslocamentos dos conjuntos mecanizados destinados aos abastecimentos (tempos improdutivos).

Após tudo preparado, as máquinas (5) são destinadas à operação de calagem, e a aplicação dos insumos pode ser realizada em área total ou na projeção da copa das plantas de café (6), dependendo das análises de solo. Após a aplicação dos insumos, tem-se o fim do processo de correção de solo (8), e as máquinas devem ser limpas e guardadas (manutenção preventiva) (7).

No processo de aplicação de matéria orgânica (Figura 21), geralmente realizado após a colheita, antes do período chuvoso (agosto/setembro), inicia-se, na sede (1), com o preparo das máquinas (regulagens e adequações) (2). Vale ressaltar que o processo é muito parecido com a calagem (Figura 20), inclusive quanto à necessidade de distribuição do insumo em pontos de abastecimento estratégico dentro da lavoura. Após a preparação dos insumos e das máquinas (5), realiza-se a operação mecanizada de aplicação da matéria orgânica (6), que é realizada na projeção da copa das plantas devido à maior quantidade de raízes disponíveis para absorverem os nutrientes mineralizados de forma gradual pela matéria orgânica (Fernandes et al., 2013). Após a

aplicação dos insumos, tem-se o fim do processo de Matéria Orgânica (M.O.) distribuída no solo (8) e da nutrição da lavoura, ressaltando-se que após o término da aplicação as máquinas devem ser limpas e guardadas em local apropriado (manutenção preventiva) (7).

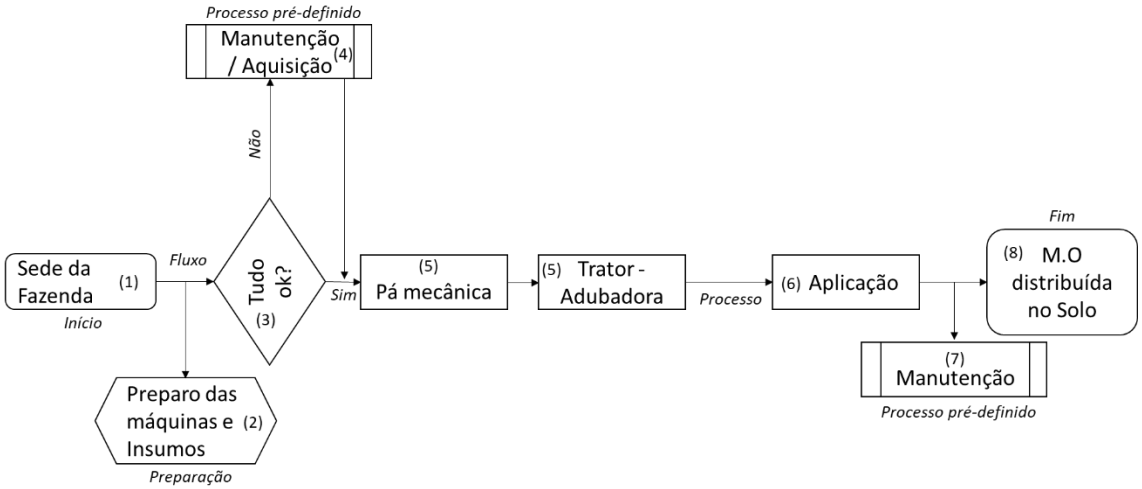


Figura 21. Fluxograma da operação mecanizada de aplicação de matéria orgânica.

O processo de pulverização na cafeicultura é realizado por conjuntos mecanizados compostos por pulverizadores hidropneumáticos tracionados por tratores. As aplicações podem ter o objetivo de controlar pragas e doenças (Decaro Junior et al., 2015; Santinato et al., 2017) e/ou de fornecer nutrientes via folha (Matiello et al., 2010).

Ainda na sede da propriedade (1), têm-se os preparos dos equipamentos (2), quando se verificam as condições do conjunto mecanizado (3), e a partir desta verificação decide-se se há a necessidade de alguma manutenção (4) ou se os equipamentos (5) podem ser movimentados para a realização do processo de pulverização. Neste processo, a estrutura de abastecimento (6) é muito importante, sendo necessário que se tenha um local cimentado, com caixas de tratamento para os líquidos contaminados que escoam no momento do preparo da calda. A água utilizada nas pulverizações tem de ser de boa qualidade para evitar reações com as moléculas e redução do poder de ação dos produtos. O preparo do conjunto mecanizado passa pela

avaliação do estado dos pulverizadores, da qualidade das pontas, da calibração e do preparo dos produtos (Figura 22). A calibração é um fator muito discutido nos últimos anos, e diversos autores como Decaro Junior et al., (2015)e Santinato et al., (2017), vêm estudando as melhores maneiras de se realizar as aplicações, como ajuste do volume de calda em função da área foliar da lavoura, do uso de adjuvantes, da escolha das pontas de pulverização, entre outros. Entretanto, os produtores ainda trabalham, em sua maioria, com os volumes de caldas fixados em 400 ou 500 L de calda por hectare.

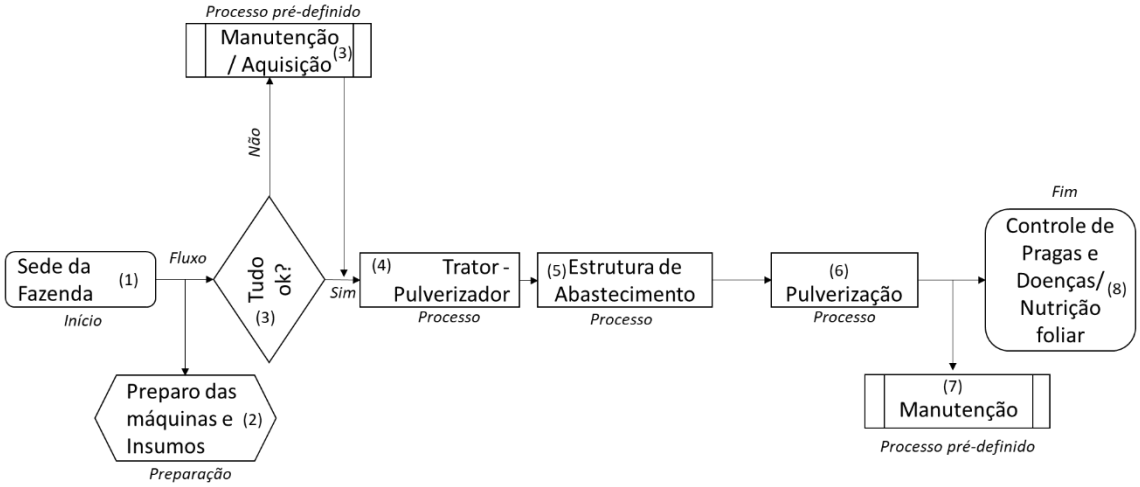


Figura 22. Fluxograma da operação mecanizada de pulverização de caldas via foliar.

Após a aquisição dos produtos e o preparo das máquinas (2), verifica-se a necessidade ou não de manutenção corretiva e/ou da aquisição de produtos (3), e estando tudo disponível, desloca-se o conjunto trator-pulverizador (4) até à estrutura de abastecimento (5), e inicia-se então a pulverização (6), desde que em condições climáticas favoráveis. As aplicações são condicionadas ao clima, principalmente à chuva, pois esta variável interfere de forma expressiva no planejamento das pulverizações, dada a necessidade de as plantas estarem secas para não haver o escorrimento (perdas) da calda aplicada. Temperaturas muito altas também prejudicam a qualidade da aplicação devido às perdas pela evaporação das gotas antes da

deposição no alvo. O vento também pode prejudicar, uma vez que ele pode alterar a rota das partículas expelidas pelas pontas durante a aplicação. De acordo com a Associação Nacional de defesa vegetal - ANDEF (2010), as condições ideais para a pulverização são: Umidade relativa do ar: mínima de 55%; Velocidade do vento: 3 a 10 km h^{-1}; Temperatura abaixo de 30º C. Todos estes motivos citados reduzem de forma considerável a capacidade operacional.

Ainda na Figura 22, após o término das pulverizações, os equipamentos devem ser lavados e guardados em local adequado (7). O processo é concluído quando toda a lavoura é pulverizada (8). Vale ressaltar que é importante ter equipamentos suficientes para realizar as aplicações em tempo hábil, uma vez que aplicações atrasadas podem gerar sérios prejuízos em função do não controle de pragas e doenças.

As adubações da cultura do café são distribuídas nos meses chuvosos, normalmente de outubro a março, visando ao maior aproveitamento dos fertilizantes aplicados (Matiello et al. 2010). É comum que os produtores comprem os insumos com antecedência, em feiras, para comprar por um preço melhor, programando para os receber próximo às aplicações. Porém, como a quantidade de insumos comercializados nestas feiras é grande e a ocorrência de atrasos nas entregas é facilmente observada na prática, atrapalha muito no planejamento do produtor. Por isso, é muito importante que, no momento da negociação, a data de entrega seja exposta no contrato para evitar atrasos.

O processo da operação mecanizada da adubação conta com o preparo das máquinas (manutenção e regulagens) (2) ainda na sede da propriedade (1) e com a verificação (3) da necessidade de manutenção corretiva ou da aquisição de produtos (4) (Figura 23). Dependendo do tipo de embalagem dos adubos, tem-se a necessidade de um equipamento de apoio, como, por exemplo, um guincho (5), para facilitar o abastecimento do conjunto trator-adubadora (5) que irá realizar a adubação (6). Uma vez finalizada esta operação, os equipamentos devem ser lavados e mantidos em condições adequadas ao armazenamento (7). O processo é finalizado com a nutrição da lavoura (8). É cada vez mais comum utilizar “Big Bags”, pois esta estratégia auxilia no ganho operacional devido à redução dos tempos perdidos com os abastecimentos.

Outra estratégia simples e comum entre os produtores é a utilização de lonas sobre as adubadoras, que faz com que a operação não pare quando estiver chovendo.

Vale ressaltar que é importante estar atento à bica de distribuição do adubo quando as plantas estiverem molhadas, pois o contato direto do adubo com as folhas pode “queimar”, principalmente adubos nitrogenados convencionais. Ou seja, é possível realizar a aplicação com chuva ou com as plantas molhadas, desde que o adubo tenha condições de ser depositado sob a “saia” da cultura, sem que o mesmo entre em contato com as folhas. O uso de adubos minerais amoniacais (convencionais) com o solo seco também é vetado, pois as perdas via volatilização podem reduzir de forma expressiva a eficiência das adubações (Rogeri, 2010). Na prática, em períodos mais secos, é recomendado que se realize a adubação com nitratos e sulfatos; já no período que se tenha chuvas e umidade no solo, utiliza-se a ureia, que é mais barata (Santinato e Fernandes, 2012).

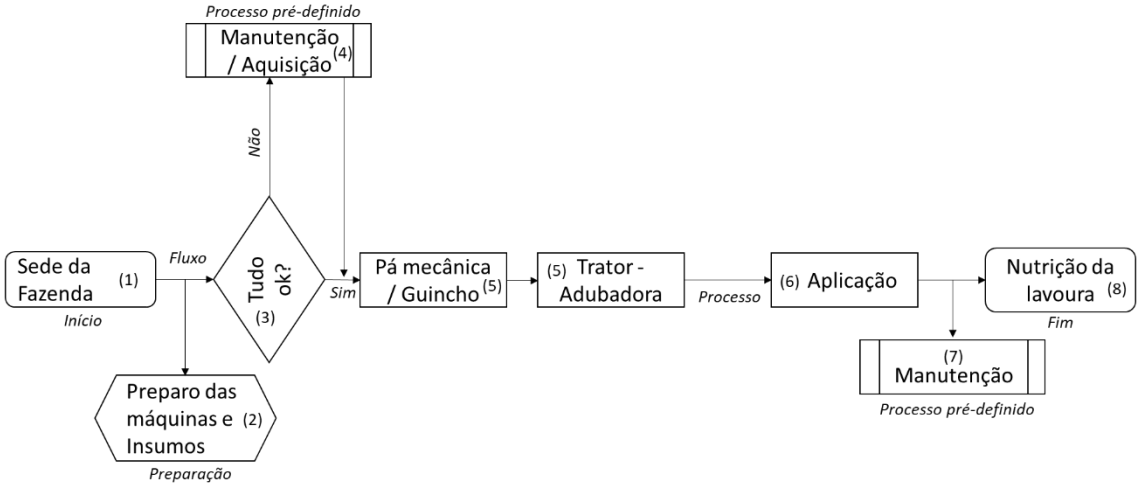


Figura 23. Fluxograma da operação mecanizada de adubação via solo.

Aos poucos, o mercado vai absorvendo novas tecnologias que facilitam as adubações, como é o caso da utilização de ureia protegida e de fertilizantes de liberação controlada (Marcuzzo et al., 2005; Garcia et al., 2011). A utilização destes adubos permite aplicar em qualquer momento, independentemente do clima. Porém, o

que limita todos os produtores a utilizarem esta ferramenta é o custo de aquisição, pois muitos produtores ainda não julgam ser viável economicamente.

As adubadoras devem receber um cuidado especial, uma vez que a ausência de limpeza das mesmas após as operações gera importantes danificações em função do efeito corrosivo dos fertilizantes. Algumas propriedades aplicam em toda a máquina, após serem lavadas, alguma solução oleosa para evitar a corrosão das partes metálicas (manutenção preventiva), pois esta estratégia aumenta a vida útil das máquinas e reduz as manutenções corretivas.

No manejo da cafeicultura moderna e produtiva, apenas aplicações foliares não suprem completamente a necessidade no controle de ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e bicho mineiro (*Leucoptera coffeella*), necessitando de complementos com aplicações via solo (“drench”), com produtos de ação sistêmica. Esse processo pode ser observado na Figura 24, e o mesmo inicia-se na sede da propriedade (1) com a preparação das máquinas (2). Neste momento, deve-se acoplar ao pulverizador uma pequena barra auxiliar equipada com uma ponta de alta vazão. Posteriormente o gestor verifica se há a necessidade de ajuste (3) ou de manutenção (4) e, se não houver, o conjunto mecanizado (5) é conduzido até à estrutura de abastecimento (6) e, em seguida, para a realização da aplicação na lavoura (7).

O produtor deve garantir que o produto esteja na propriedade pelo menos um dia antes e que a estrutura de abastecimento esteja preparada para sua devida função durante a operação, para evitar atrasos. Quando as máquinas estiverem reguladas e os produtos disponíveis, inicia-se a aplicação. Existem alguns produtos disponíveis no mercado para esse manejo, porém os mais comuns são os produtos Verdadeiro® e Actara®. De acordo com o fabricante, esses produtos não são posicionados em função do clima ou do teor de água no solo, ou seja, podem ser aplicados em qualquer condição, sem que haja perdas. No momento que tiver água no solo e a planta estiver transpirando, os mesmos serão absorvidos via fluxo de massa e começarão a agir.

Após a aplicação, tem-se o processo concluído, e a última etapa é denominada de controle de pragas e doenças (9), em inferência ao objetivo da operação

mecanizada. Ao fim, as máquinas devem ser lavadas e guardadas em locais apropriados (8).

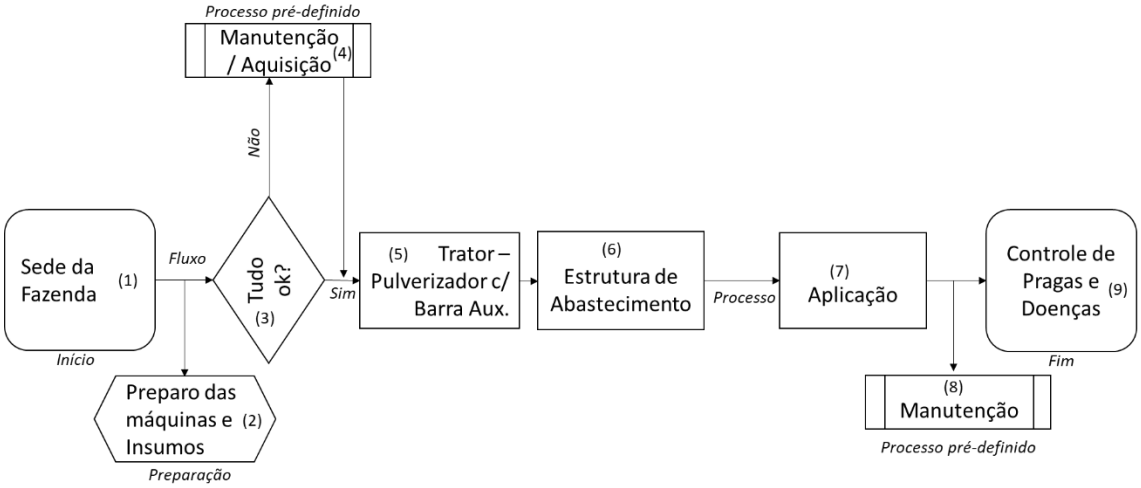


Figura 24. Fluxograma da aplicação mecanizada de fungicida/inseticida via “drench”.

O controle de plantas daninhas na cultura do café, em lavouras já estabelecidas, pode ser realizado de forma mecânica (roçadora ou triturador) ou química (herbicida) (Ronchi et al., 2014). No geral, o método escolhido de cada propriedade é muito particular de cada produtor. Durante o ano agrícola, ora se faz o controle com roçadora, ora com triturador, e ora com herbicida. Os momentos também variam muito em função das plantas presentes nas entre linhas do cafeeiro. Para entender o processo do controle mecânico de plantas daninhas na cultura do café, foi criado o fluxograma exposto na Figuras 25.

Os processos de controle com roçadora e com triturador são muito semelhantes e simplificados, visto que não há nenhum produto aplicado. A eficiência na realização destas operações é condicionada apenas ao desenvolvimento da atividade, e os problemas que podem ocorrer são, por exemplo, quebra das máquinas devido à exposição ao serviço “pesado”, que desgasta naturalmente as mesmas, e a demora na reposição e/ou manutenção quando ocorrem problemas como estes. Manutenções preventivas, como a lubrificação, auxiliam a reduzir as paradas (tempos perdidos) e os custos com manutenção. Portanto, o preparo na fazenda (1) inicia-se com essas

manutenções preventivas e com a verificação das condições dos órgãos ativos (facas) (2). Em seguida, toma-se a decisão (3) de deslocar o conjunto mecanizado para o campo ou realiza-se a manutenção corretiva (4). Posteriormente, tem-se a operação propriamente dita (6), e uma vez finalizada a roçada ou a trituração (6) procede-se à manutenção preventiva visando ao armazenamento das máquinas (7). Ao final do processo, têm-se as plantas daninhas controladas (8).

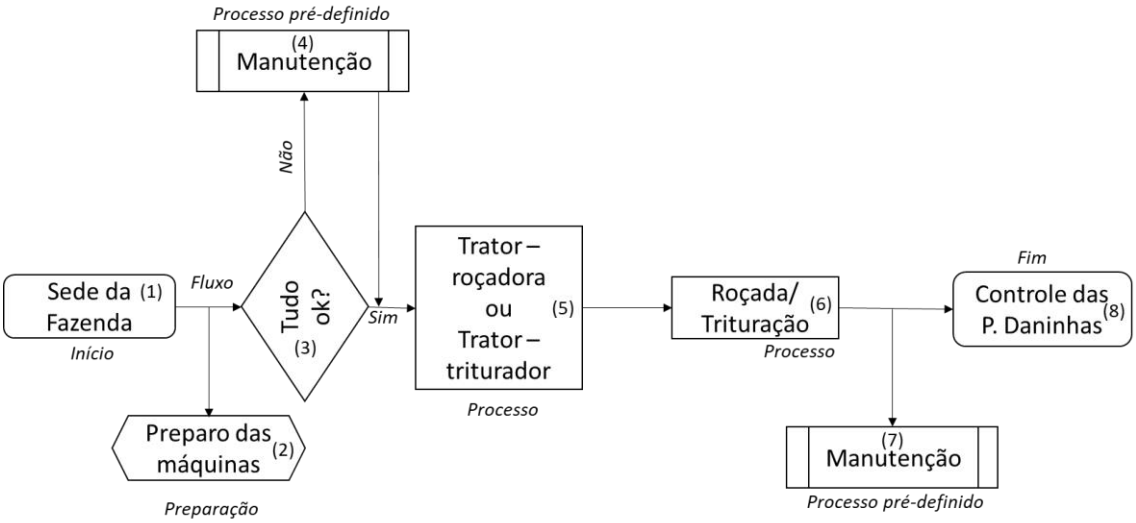


Figura 25. Fluxograma da operação de controle mecânico de plantas daninhas com roçadoras.

As operações de roçada e de trituração são semelhantes entre si, sendo a principal diferença a forma como as plantas daninhas ficam nas entrelinhas após a operação; a roçadora deixa o solo mais coberto, pois apenas corta as plantas; já o triturador estilhaça as plantas daninhas, fracionando-as em pequenos pedaços. A escolha dos produtores é, principalmente, em função da velocidade de brotação das plantas daninhas, e neste caso o triturador apresenta maior tempo de controle do que as roçadoras.

O controle químico de plantas daninhas é realizado com pulverizadores hidráulicos, normalmente de 400 L, montados nos três pontos do trator. Esses pulverizadores possuem duas barras auxiliares acopladas em suas laterais, e estas

barrinhas atuam sob a “saia”, controlando as plantas daninhas de maneira protegida, evitando toxicidade das plantas de café. É possível controlar as plantas apenas da projeção da copa ou área total; normalmente, o controle total é realizado apenas em abril, na pré-colheita.

Observa-se, na Figura 26, que o processo de controle químico de plantas daninhas tem como primeiro passo a disponibilização das máquinas e dos produtos na sede (1). O preparo das máquinas (2), seguido da tomada de decisão (3) quanto à necessidade de manutenção ou da aquisição de produtos (4). A exemplo das pulverizações, é necessário ter-se um local apropriado e preparado para os abastecimentos do conjunto mecanizado (5), com os recursos disponíveis. Em seguida, tem-se o deslocamento do conjunto trator-pulverizador hidráulico até à lavoura para a realização da aplicação (6). Na sequência, procede-se à lavagem e manutenção preventiva dos equipamentos (7), e o processo é finalizado com o controle químico de plantas daninhas (9).

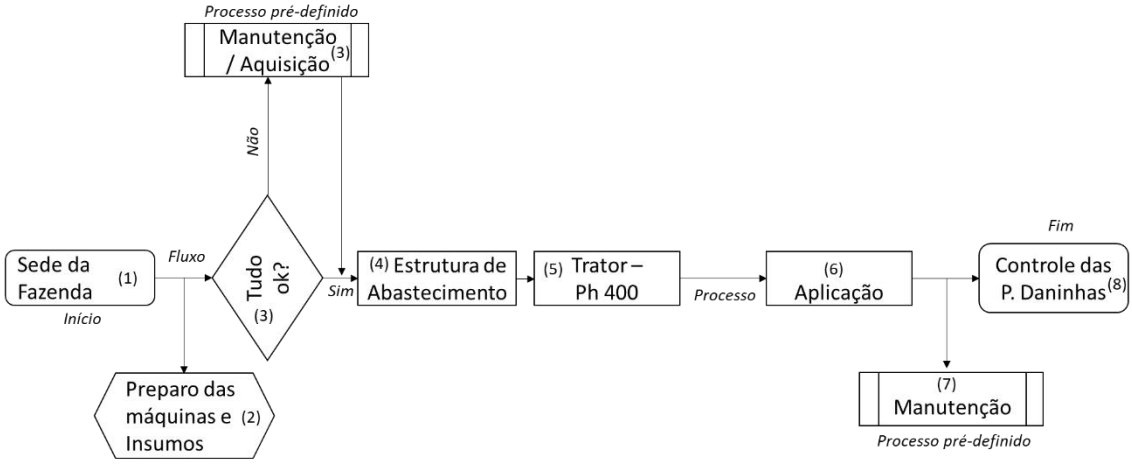


Figura 26. Fluxograma da operação de controle químico de plantas daninhas.

Um fato importante é a qualidade da água, uma vez que há herbicidas que apresentam eficiência prejudicada com água rica em impurezas ou em minerais (Ramos e Durigan, 1998).

Esta operação também não deve ser realizada com orvalho nem sob chuvas de quaisquer intensidades (Rodrigues et al., 2011; Martini et al., 2003). Portanto, para

execução do controle químico, após estar tudo preparado, iniciam-se as aplicações no tempo disponível (descontando os tempos impróprios). A aplicação normalmente é realizada com 100 L de calda ha^{-1}, ou seja, considerando um tanque com capacidade de 400 L, seria possível controlar as plantas daninhas de 4 ha.

4.2.2 Operações de colheita

As operações que são ligadas diretamente ao processo de colheita são: arruação, colheita do café da planta, varrição e recolhimento mecanizado do café no chão. Estas operações complementam-se até o objetivo final, que é levar todo o café, da forma mais eficiente possível, para as estruturas de pós-colheita.

O período de pré-colheita contempla alguns preparos para deixar as lavouras em condições de serem colhidas da melhor forma. Um destes preparos é a arruação, que tem a função de retirar do solo todo o material sob as plantas, com o objetivo de deixar esta região limpa e com menor “umidade” (teor de água) para reduzir as perdas de qualidade dos frutos que possam vir a cair durante o amadurecimento e durante a própria colheita. A máquina utilizada para realizar esta atividade é o arruador-soprador, equipamento que possui uma turbina que lança o fluxo de ar sob as plantas retirando todo o material ali presente (folhas, frutos e galhos) e posiciona-o no centro das entrelinhas, para que seja triturado posteriormente (Tavares, 2016).

Na sede da propriedade (1), o processo inicia com as manutenções preventivas das máquinas e regulagens (2), como por exemplo, a lubrificação e a substituição de peças em mau estado e que possam vir a interromper a operação em curto espaço de tempo (Figura 27). O operador deve verificar (3), então, se há necessidade de correções (4) ou se tudo está adequado para o início da operação. O conjunto mecanizado trator-arruador é encaminhado para a lavoura (5) e é iniciada a operação de varrição (6), e ao fim do processo, observa-se também que a todo momento o operador deve estar atento para eventuais ajustes (7) ou manutenções (8). Ao fim da operação, é realizada a limpeza e a manutenção preventiva (9). Verifica-se também que a última etapa do processo é o material preparado (10) para a próxima etapa, com o

triturador (Figura 25). A trituração do material visa a reduzir o nível de impurezas quando for realizada a colheita do café de varrição.

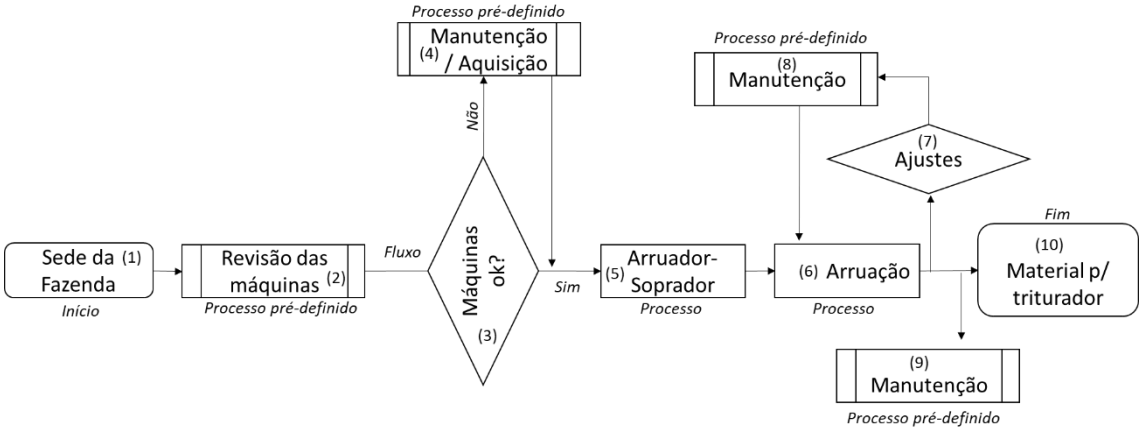


Figura 27. Fluxograma da operação mecanizada de arruação.

A colheita mecanizada do café presente nas plantas é iniciada quando os frutos atingem a maturidade, porém é comum que ocorram duas operações para colher todo o café presente nas plantas (Santinato et al., 2015). As duas operações são necessárias em função da desuniformidade de maturação dos frutos, oriundos das floradas obtidas nos estímulos dos meses de setembro e outubro (Camargo e Camargo, 2001). As etapas de colheita e de pós-colheita representam a parte mais importante do processo produtivo do café sob o ponto de vista econômico (Ronchi et al., 2014) e apresenta um ritmo operacional baixo, tendo de ser, portanto, muito benfeita para evitar as perdas.

O processo de colheita do café da planta pode ser considerado o mais complexo de todo o ciclo produtivo da cultura. A colheita contempla um alto custo, baixa capacidade operacional, alta dependência com a produtividade, alta dependência com o clima e, acima de tudo, um dos principais limitantes do planejamento da operação de colheita é o sistema de pós-colheita, que muitas vezes não suporta as quantidades de café colhido nas lavouras, e o processo tem de ser interrompido para aguardar liberação de espaços nos terreiros de seca. Esta espera causa atrasos na colheita, elevando a quantidade de café caído no chão e aumentando o desgaste da planta em função da extração energética dos frutos.

Analisando o fluxograma da colheita do café da planta (Figura 28), verifica-se que se trata de um fluxograma muito mais complexo do que os demais já apresentados, que se inicia na sede (1), com o preparo das máquinas. A colhedora de café é uma grande máquina composta pelos sistemas de derriça, recolhimento, limpeza e descarga. Os inúmeros componentes desgastam-se durante a colheita e, portanto, deve-se fazer uma boa revisão (2), com antecedência, antes de cada safra. O benefício desta revisão no processo é a redução dos tempos perdidos com manutenções durante a colheita.

Depois de concluída a revisão, tem-se a definição do momento de início da colheita, geralmente definido em função da maturação dos frutos (3). Posteriormente, os conjuntos mecanizados, compostos por tratores-colhedoras (unidade primária) (5) e tratores-carretas (unidade de apoio) (5), são destinados à realização da colheita (6). A demanda de unidades de apoio dependerá do fluxo do café colhido e, normalmente o número é aumentado toda vez que a colhedora tem de parar para esperar as unidades de apoio em atividade realizarem a descarga.

Devido ao uso intenso dos equipamentos de colheita, pode ser necessária a realização de ajustes (7) ou de manutenções (8) durante o processo. Uma vez feitos os ajustes/manutenções, retorna-se à atividade de colheita (6). Ainda pensando no quesito de máquinas, após a colheita, tem-se a manutenção preventiva com a lavagem e a lubrificação das máquinas (9).

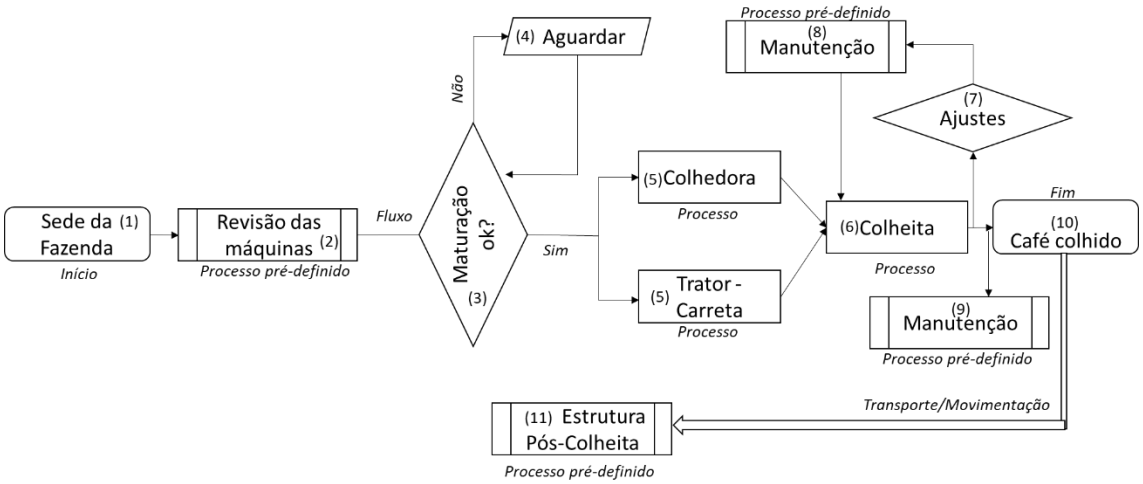


Figura 28. Fluxograma da operação mecanizada de colheita do café da planta.

O produto do processo é o café colhido (10), e conforme descrito, o mesmo deve ser levado até à estrutura de pós-colheita (11). De acordo com Mesquita et al. (2016), o café colhido pode ficar na carreta ou amontoado no máximo por 4 horas, depois de retirado da planta, sem ser esparramado no terreiro; a partir deste tempo, é verificada perda de qualidade devido às fermentações. Os cafés colhidos são manejados até sua seca no terreiro e nos diversos modelos de secadores disponíveis.

Ainda na lavoura, posteriormente à colheita, têm-se duas operações mecanizadas que visam a recuperar os frutos que caíram no solo em função de diversos fatores. Estas operações são denominadas de varrição e recolhimento (Tavares et al., 2018).

A varrição é realizada com o mesmo equipamento utilizado na arruação, na pré-colheita, tendo de ter os mesmos cuidados já citados. A diferença é que, nesta etapa, os discos varredores do arruador-soprador são ativados para a formação das leiras (impurezas e café).

Analisando o fluxograma (Figura 29), nota-se que realização da operação de varrição, após o preparo/revisão das máquinas (2) na sede (1), a atividade tem início quando se finaliza o processo de colheita do café na planta (3); caso a colheita ainda não se tenha encerrado, os conjuntos mecanizados devem aguardar o momento oportuno (4). Uma vez terminada a colheita, desloca-se o conjunto arruador-soprador até às lavouras (5) e inicia-se a operação de varrição propriamente dita (6). Vale ressaltar que essas máquinas são submetidas a trabalho intenso e que, normalmente, há a necessidade da realização de ajustes (7) e/ou de manutenções (8) durante o processo, e, após realizadas estas ações, as máquinas retomam o processo de varrição (6). Ao final do processo, tem-se a formação das leiras (10) para a próxima operação (recolhimento), e os arruadores-sopradores devem passar pelo processo de manutenção preventiva de fim de safra (limpeza e lubrificação).

Nesta operação, o arruador-soprador é operado nas entrelinhas da cultura do café com a turbina acionada retirando o material caído, durante a colheita do café da planta, debaixo das plantas, e o posicionando em forma de leira no centro da entrelinha,

pelos discos varredores, de forma concomitante. Esta leira é o produto do processo de varrição, e, este produto é “entregue” para o processo de recolhimento.

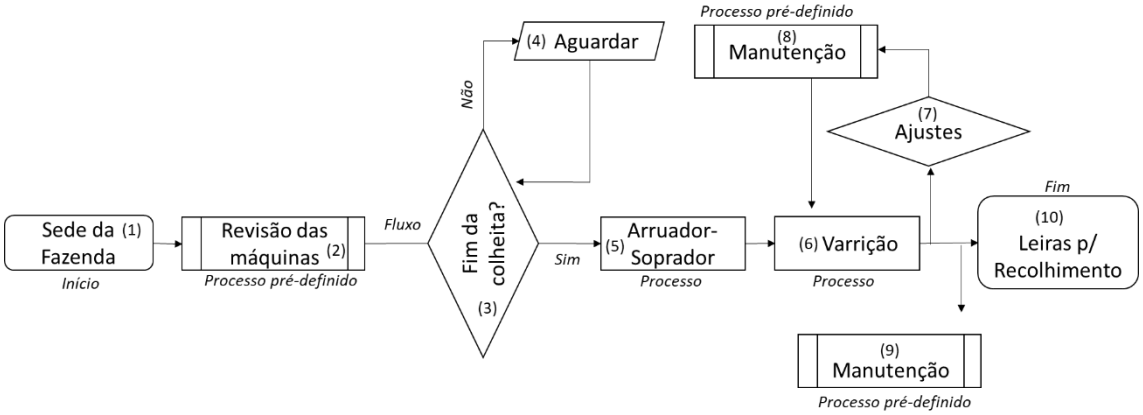


Figura 29. Fluxograma da operação mecanizada de varrição.

O recolhimento mecanizado é a última etapa de campo do processo produtivo de uma lavoura de café. A operação de recolhimento (Figura 30) é realizada por meio de um conjunto mecanizado composto por um trator e uma recolhedora. A exemplo da colhedora, na sede (1), esta máquina necessita de uma revisão (2) para a verificação da necessidade de manutenção antes de se iniciarem os serviços. Vale ressaltar que o início deste processo (recolhimento) só pode ser iniciado após a operação de varrição [(3) e (4)]. O processo de recolhimento possui unidades primárias (5) (trator-recolhedora) e unidades de apoio (5) (trator-carreta ou caçambas) e, portanto, é necessário garantir que todos os conjuntos estejam preparados em tempo hábil. De posse da disponibilidade total dos conjuntos, realiza-se o recolhimento (6). A recolhedora é constituída por uma esteira que recolhe o material enleirado e processa-o internamente separando o café das impurezas, sendo todo o café armazenado no compartimento graneleiro da própria recolhedora. Quando este compartimento de enche, a unidade primária desloca-se até à unidade de apoio para efetuar a descarga (Tavares et al., 2015).

Após o café ser recolhido e depositado na unidade de apoio (10), ele é transportado até à estrutura de pós-colheita (11) para que se finalize o processo de

secagem e o café possa ser armazenado antes do retorno das chuvas. Estas máquinas também devem ser monitoradas constantemente durante o processo para verificar a necessidade de ajustes (7) e de manutenções (8). Ao fim do processo de recolhimento, deve-se fazer a manutenção preventiva, com a limpeza e a lubrificação dos equipamentos, antes de serem armazenados até à próxima safra.

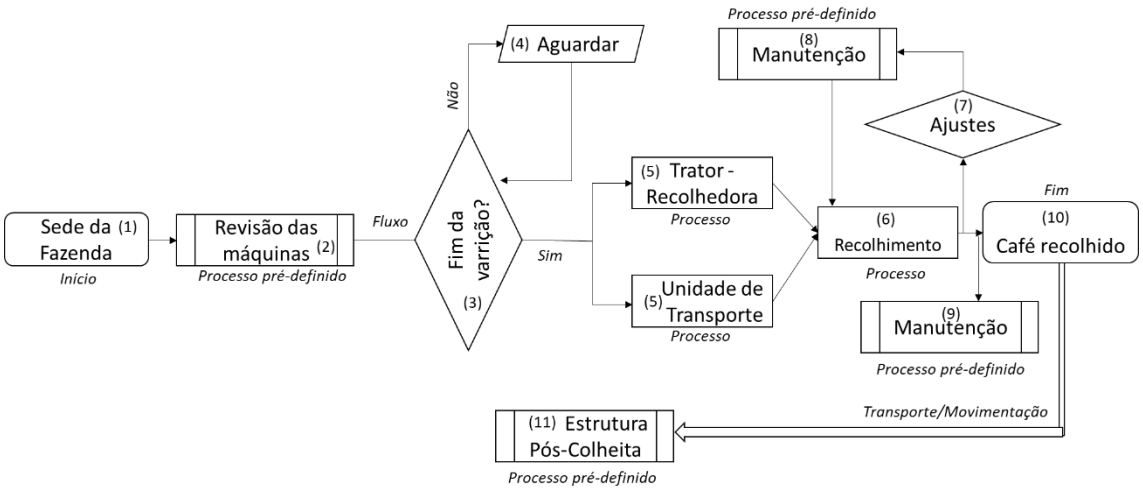


Figura 30. Fluxograma da operação de recolhimento mecanizado do café no chão.

Existem máquinas destinadas aos serviços de terreiro e, normalmente, as propriedades deixam à disposição um conjunto mecanizado composto por um trator e uma carreta e um trator equipado com uma pá mecânica. Estes equipamentos ficam responsáveis por realizar as movimentações dos cafés na estrutura de pós-colheita.

Com base na média histórica de precipitação e de temperatura da região (Figura 31) bem como nas atividades das lavouras cafeeiras das propriedades avaliadas, foi possível criar um planejamento anual da mecanização por meio do gráfico de Gantt (Figura 32). Observa-se, no gráfico de Gantt, que foram programadas 31 operações mecanizadas além das atividades de pós-colheita realizadas no terreiro e em torno da sede.

Verificou-se que as atividades de um ano agrícola na cafeicultura se estendem de agosto de um ano até setembro do outro ano, ou seja, para concluir as atividades de uma safra necessita-se de 13 meses, pelo menos. Este fato traz dificuldades no

gerenciamento das operações mecanizadas, principalmente aquelas dependentes de condições climáticas.

Iniciando o ano agrícola (agosto/setembro), tem-se a pulverização cicatrizante de pós-colheita. Esse período coincide com a atividade de correção de solo e aplicação de matéria orgânica (esterco/palha de café). Em outubro, tem-se a pulverização, visando à proteção das flores e dos chumbinhos (primeira fase do fruto); neste mesmo mês, se houver condições adequadas de umidade e de chuvas regulares, realiza-se também a aplicação de adubos fosfatados. Observa-se que, nesta época, na região onde foi realizada a pesquisa, existe um histórico de chuvas acima de 100 mm mensais de outubro a março (Figura 32).

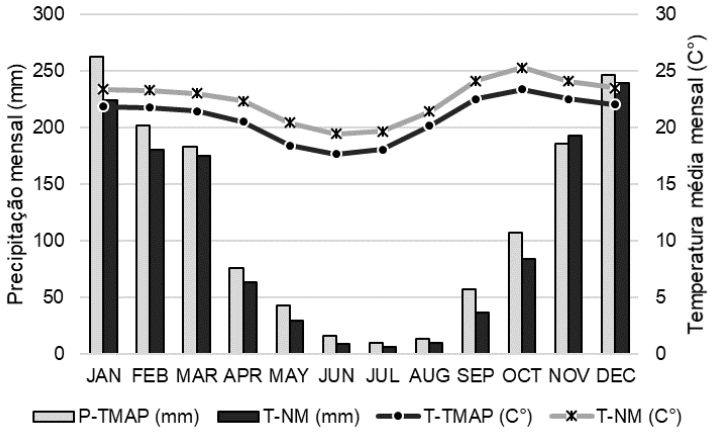


Figura 31. Média histórica climática da região do Triangulo Mineiro/Alto Paranaíba (TMAP) e Noroeste de Minas (NM), do período entre 1990 e 2018 – Dados não publicados (Prof. Lucas Aparecido de Oliveira).

Atividades	Mês	Janeiro				Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho				Julho				Agosto				Setemb.				Outubro				Novemb.				Dezemb.			
	Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
8 x Pulverizações																																																
5 x Adubações																																																
2 x Ap. Instic. e Fung. Solo																																																
1 x Ap. Calcário																																																
1 x Matéria Orgânica																																															
3x Roçadas																																															
1 x Trincha																																															
2 x Herbicida																																																
1 x Arruação																																																
2 x Colheita (seletiva)																																																
3 x Carretas																																																
1 x Varrição																																																
1 x Recolhimento																																																
Máquinas em Terreiro																																															

Figura 32. Gráfico de Gantt para o planejamento anual das atividades mecanizadas nas propriedades cafeeiras.

Em novembro, as chuvas são mais frequentes, e as atividades ficam divididas em operações que podem ser feitas com sol e as que podem ser feitas com chuva ou com as plantas molhadas. Como pode ser visto na Figura 32, neste mês, tem-se programada a terceira pulverização (feita nos dias de sol). Os ingredientes ativos aqui colocados são dependentes da necessidade da lavoura, ou seja, a aplicação visa a atingir as pragas ou doenças que estão expressando-se naquele momento, assim como a possível correção de deficiências nutricionais. As outras operações programadas podem ser feitas nos dias chuvosos. A adubação neste mês refere-se ao fornecimento de nitrogênio (N) e potássio (K). Como a maioria das propriedades utiliza fontes solúveis, esta aplicação deve ser feita sempre com o teor alto de água no solo (próxima de alguma chuva ou da irrigação).

A primeira aplicação de fungicida e de inseticida de solo visa ao controle preventivo de ação sistêmica da ferrugem (*Hemileia vastatrix*) e do bicho mineiro (*Leucoptera cofeella*). A eficiência destes produtos não é relacionada ao teor de água no solo e, portanto, pode ser aplicado no solo seco e, quando houver umidade no solo o mesmo é absorvido via fluxo de massa, por isso essa operação mecanizada pode ser realizada em qualquer condição climática. No mês de novembro, também há a programação de uma operação de roçadora; vale ressaltar que normalmente é necessário passar duas vezes na mesma entrelinha em função da largura útil de trabalho destas máquinas. A roçada pode ser realizada em qualquer condição climática; porém, com as plantas daninhas muito molhadas, pode haver embuchamentos.

No mês de dezembro, são previstas três operações. A pulverização deste mês é considerada como aplicação-chave, pois é posicionada a primeira aplicação para a broca (*Hypothenemus hampei*) e a ferrugem. Neste mês, também ocorre a segunda adubação de nitrogênio e potássio e a aplicação herbicida em faixa (não aplicando no centro da entrelinha).

Em janeiro, tem-se a segunda pulverização visando ao controle de ferrugem e broca e, normalmente, também é posicionado algum produto para bicho-mineiro, se houver necessidade. Outra adubação de nitrogênio e potássio também é realizada em janeiro, aproveitando as chuvas do mês. Por fim, há uma nova operação de roçadora,

pois este manejo visa a reduzir a competição das plantas daninhas por nutrientes e fornecer material para a cobertura do solo. O material seco, produzido por meio desta operação, reduz a emergência das plantas daninhas e reduz o escoamento superficial de água, aumentando o acúmulo de água e a manutenção do teor de água no solo por mais tempo.

Ainda na Figura 32, nota-se que em fevereiro, há quatro operações programadas. Para os dias de sol do mês de fevereiro realiza-se a pulverização e nos dias chuvosos podem-se realizar as operações de adubação, aplicação de inseticida/fungicida de solo e a roçada das plantas daninhas. A pulverização aqui posicionada visa ao controle das pragas e doenças que possam vir a prejudicar a cultura nesta fase de granação dos frutos. Observa-se também planejada a última adubação de formulados de N e K. É muito importante que as aduções não se atrasem, sabendo-se que a eficiência de absorção dos nutrientes é muito depende da quantidade de chuvas, e caso haja atraso nas adubações, as plantas podem expressar deficiência e reduzir o potencial produtivo. Diferentemente das pulverizações, os inseticidas/fungicidas aplicados via solo podem ser posicionados entre as demais atividades, nos dias secos ou chuvosos que não tenham operações dependentes do clima. Por fim, a roçadora pode ser utilizada tanto nos dias secos como nos dias chuvosos, dependendo do tamanho das plantas daninhas.

Em março, as chuvas começam a diminuir (Figura 31) na região e observa-se o fim da fase de granação dos frutos e inicia-se a fase de maturação. Para este mês, observa-se a penúltima pulverização, com a terceira e última aplicação com fungicidas específicos para ferrugem. No mês de abril, é realizada a pulverização de pré-colheita, em que os produtos aplicados visam a garantir a sanidade da lavoura até o momento da colheita. É imprescindível observar o período de carência dos produtos para programar o início da colheita. Com o planejamento da colheita em vista, é necessário preparar a lavoura. Uma destas etapas é a aplicação de herbicidas para eliminar as plantas daninhas da entrelinha, visto que esse controle químico é necessário para que as operações de arruação, varrição e recolhimento sejam realizadas de forma eficiente.

Seguindo este raciocínio, no mês de maio, é realizada a arruação retirando todo o material orgânico debaixo das plantas, expondo-o nas entrelinhas para a posterior operação de trituração dos materiais vegetais. Estas operações são realizadas com o auxílio do arruador/soprador e com o triturador (trincha), respectivamente. Como os trituradores são equipamentos que exigem muito da potência do trator, a maioria dos equipamentos apresenta largura de trabalho em torno de 1,60 m, necessitando de duas operações (passadas) por entrelinha.

Em junho, inicia-se uma das etapas mais importantes e difíceis da cultura do café; a colheita. Esta operação mecanizada pode ser realizada com máquinas tracionadas ou automotrizes, e existem diversos fatores que interferem na eficácia e na capacidade de campo operacional das mesmas. Para saber quantos dias serão necessários para realizar a operação de colheita, deve-se saber a quantidade aproximada de café a ser colhida e verificar qual a capacidade de fluxo do sistema de pós-colheita que a propriedade possui. Existem propriedades com boas estruturas de colheita cujos terreiros, lavadores, secadores e tulhas são limitados, impossibilitando que a colheita ocorra de forma rápida. Outro fator é a uniformidade de maturação dos frutos. Se todos os frutos chegassem de forma uniforme ao estádio maduro, a colheita poderia ser realizada com apenas uma operação (passada), porém é mais comum deparar-se com maturações desuniformes, necessitando parcelar a colheita, visando a aumentar a eficiência de colheita e a quantidade acumulada de frutos maduros e reduzir a desfolha. A baixa velocidade de trabalho também é um fator de peso ao analisar a capacidade de campo operacional. Estes fatores, entre outros, fazem com que a operação seja tratada de forma diferente de todas as outras já citadas. Devido à baixa capacidade de campo operacional, muitas propriedades trabalham além das 8 horas diárias; algumas propriedades (normalmente as maiores) colhem em 3 turnos (24 horas por dia), reduzindo de forma muito significativa o período de colheita.

Conforme exposto nas Figuras 29 e 33, a operação de colheita contempla um conjunto de máquinas e de processos que devem funcionar de forma sincronizada. Na lavoura deve-se ter dois conjuntos mecanizados (trator-carreta) para cada colhedora a fim de receber os grãos colhidos e levá-los até à estrutura de pós-colheita. Na

pós-colheita pode-se ter o sistema de “pós-colheita via úmida”, no qual os cafés são lavados, e esta estrutura necessita de máquinas para distribuir no terreiro o café lavado. No terreiro, há a necessidade de máquinas para “rodar” o café e melhorar o processo de seca, e para o transportar após seco. Neste processo de pós-colheita, existe uma falta de padronização quando se comparam as diversas propriedades, com cada uma trabalhando de forma própria. Algumas propriedades “rodam” o café com rodo tracionado (“vaca”); outras utilizam uma motocicleta adaptada para fazer o serviço e, também, a minoria que “roda” o café manualmente.

A programação da colheita prolonga-se pelos meses de junho, julho e agosto (Figura 32). Nos dois primeiros meses as máquinas ficam exclusivas para a colheita nas plantas de café. Em julho, as colhedoras já começam a ficar alocadas no repasse (2ª operação) e demanda-se menor número de conjuntos mecanizados para carretas e terreiro, neste momento, iniciam-se as operações de varrição e recolhimento do café. Nota-se que, de agosto a outubro, as operações de início de ciclo (calagem e pulverizações) misturam-se com as operações de final de ciclo (colheita do café da planta e o de varrição).

Considerando as capacidades de campo operacionais reais (médias) obtidas no banco de dados do Projeto Educampo das fazendas em estudo, foi possível chegar à demanda de horas máquina, por hectare em cada mês (Tabela 7). Para calcular a demanda de máquina, é necessário saber os dias disponíveis para o trabalho e o itinerário de trabalho. Os dias disponíveis de cada mês (baseado no ano de realização da pesquisa, 2017) podem ser observados na Tabela 8; já o itinerário para as operações de entressafra foi padronizado em 8 horas de trabalho diárias de segunda a sexta, e de sábado 4 horas, representando a maioria das propriedades.

Considerando que a colheita deve ser analisada de forma particular no planejamento das operações, foram inseridos os diferentes itinerários nos modelos, um para as operações de entressafra e outro para as atividades de colheita. O modelo para a colheita considera o itinerário trabalhando todos os dias dos meses de junho, julho e agosto (sem parar em feriados e finais de semana).

Tabela 7. Demanda de horas máquina por ha para cada atividade durante o ano.

Hora máquina ha^{-1}	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Pulverizações	0,67	0,67	0,67	0,67					0,67	0,67	0,67	0,67
Calagem									0,73			
Aplicação de Composto									0,97			
Adubações	0,58	0,58								0,58	0,58	0,58
Ap. Instic. e Fung. Solo	0,00	0,55									0,55	
Roçadas	0,31	0,31									0,31	
Trincha					0,67							
Herbicida				0,63								0,58
Arruação					0,63							
Colheita						2,59	3,88	1,29				
Carretas						1,33	1,99	0,66				
Varrição								0,45	0,45			
Recolhimento								2,63	2,63			
Máquinas em Terreiro						0,60	0,60	0,60	0,60			

Tabela 8. Dias úteis mensais para realização das operações mecanizadas nas fazendas cafeeiras.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Maio	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Dias de cada mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Feriados	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	2	1
Finais de semana	8	8	9	9	8	9	9	8	10	8	8	10
Dias úteis/mês	22	19	21	21	22	21	22	23	19	22	20	20

Na Figura 33, observam-se o número de operações e a demanda de horas para a condução de um hectare durante o ano agrícola. É muito claro que o período de colheita é o mais crítico, pois neste período existe maior concentração de operações com capacidade de campo operacional baixa.

Observa-se que o mês de agosto é o mês com maior número de horas máquinas programadas. Como já citado, as operações de colheita (varrição e recolhimento) e pós-colheita (atividades em terreiro) normalmente são executadas juntamente com as aplicações de calcário e a pulverização de pós-colheita. Vale explicar que essas operações de início de ciclo são realizadas após o término de todas as atividades de colheita; porém, à medida que os talhões são liberados, iniciam-se as próximas operações já citadas, e as máquinas de colheita vão para o próximo talhão até finalizar todo o serviço. Esse recolhimento do café de varrição deve ser feito com agilidade, pois o retorno das chuvas pode atrapalhar ou impedir a realização da operação, além de prejudicar a qualidade dos frutos.

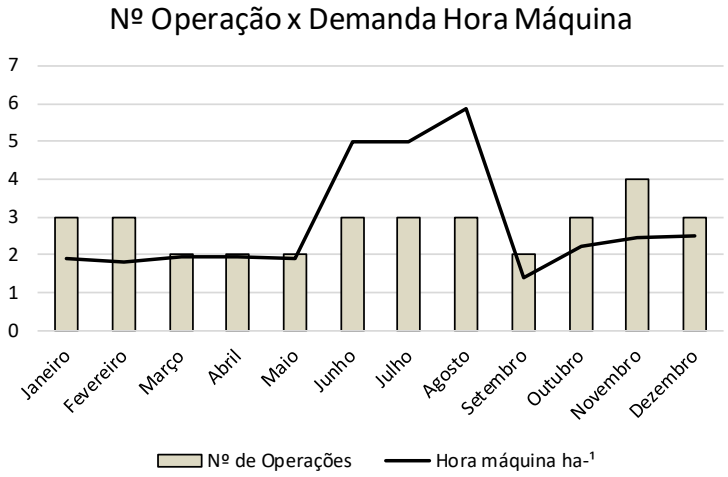


Figura 33. Planejamento mensal das atividades mecanizadas na cultura do café, na região do Triângulo Mineiro / Alto do Paranaíba / Noroeste de Minas.

4.2.3 Modelo de planejamento

O programa computacional, criado dentro do software Excel®, denominado “TST Coffee”, permite facilitar o cotidiano dos gestores (proprietários, gerentes e administradores) da cafeicultura, uma vez que apresenta uma interface amigável (Figura 34). Cada ícone conduz o usuário do programa às abas de entradas (“inputs”) e saídas (“outputs”) de forma rápida e direta, por meio de links inseridos em cada módulo. A estrutura do programa foi desenvolvida em 3 módulos: (I) Cadastro das características das lavouras e dos métodos de trabalho; (II) Descrição do planejamento das operações anuais; e (III) Resultado do dimensionamento.

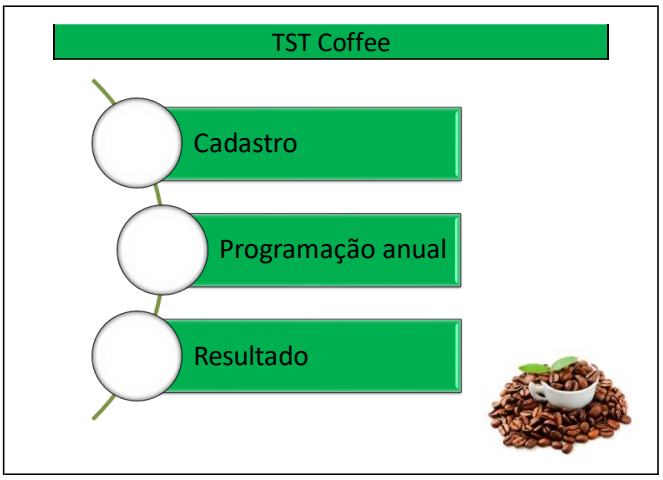


Figura 34. Interface do programa computacional “TST Coffee”.

(I) **Módulo Cadastro:** neste módulo, é possível inserir os dados da propriedade referentes: à dimensão e ao espaçamento da lavoura; aos dados de desempenho das operações mecanizadas; e à jornada de trabalho na safra e na entressafra. Para a definição das variáveis a serem inseridas no modelo pelo usuário, determinaram-se as condições de contorno necessárias para simplificar a

interpretação do programa. No módulo I, observa-se que o programa tem detalhes que facilitam seu manuseio, como, por exemplo as cores das células. Optou-se por deixar os cabeçalhos em cinza; a cor verde foi destinada aos “inputs” (informações que devem ser inseridas pelos gestores); e azul, para os cálculos realizados a partir dos ‘inputs” (Figura 35).

Dados da propriedade	
Nome	
Tamanho da Lavoura (ha)	100
Espaçamento Rua (m)	3,8
Espaçamento linha (m)	0,5
metros/ha	2632
nº Planta/ha	5263

ÍNDICE

AVISO: Alterar apenas o verde

Dados das operações						
Operações	Ef(%)	Tempo 50m	Passadas na entrelinh	Vel km/h	horas máquina/ha	Cap Op ha h
Pulverização	65	30	1	6,0	0,67	1,48
Adubação	75	30	1	6,0	0,58	1,71
Ap. Instic. & Fung. Solo	80	30	1	6,0	0,55	1,82
Ap. Calcário	60	30	1	6,0	0,73	1,37
Ap. Matéria Orgânica	45	30	1	6,0	0,97	1,03
Roçada	70	15	2	12,0	0,63	1,60
Triturador (Trincha)	70	30	2	6,0	1,25	0,80
Herbicida	70	30	2	6,0	1,25	0,80
Arruação	70	30	1	6,0	0,63	1,60
Colheita	75	129	1	1,4	2,50	0,40
Carretinhas	75	64	1	2,8	1,25	0,80
Varrição	80	40	2	4,5	1,46	0,68
Recolhimento	65	140	1	1,3	3,15	0,32
Máquinas em Terreiro	1	1	1	1	1	0,50

Figura 35. Cadastro de dados do programa computacional “TST Coffee”.

Ainda no módulo Cadastro, o gestor tem a possibilidade de ajustar o calendário em função da estratégia adotada em sua propriedade. Neste passo, tem-se o levantamento do tempo disponível (Milan, 2013) mensal, em dias e em horas, conforme Figura 36. Este tempo disponível será utilizado para o levantamento do ritmo operacional das atividades. Vale ressaltar que a disponibilidade de horas para a realização das operações é a resposta da jornada de trabalho de cada operação. Portanto, na entressafra, foi utilizada a carga horária de 44 horas semanais, enquanto

na safra (quadro inferior – Figura 36), verifica-se que na época de colheita, têm-se atividades que estendem o horário. Neste exemplo, utilizaram-se 24 horas diárias (3 equipes), pensando no curto período disponível para realizar a colheita.

Como existem peculiaridades no método de realização das operações de cada propriedade, a possibilidade de ajustes nas velocidades e na jornada de trabalho é muito importante, pois o programa irá representar melhor a situação real de cada produtor. Por meio da determinação destes parâmetros, o programa já retorna ao valor de capacidade de realização de trabalho diária por conjunto mecanizado, possibilitando ter uma expectativa de duração de uma determinada operação.

Informações do Ano Agrícola (2017)												
Dados em dias	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Dias de cada mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Feriados	1	1	1	0	1	0	0	0	1	1	2	1
FDS	6	6	7	7	6	7	7	6	8	6	6	8
Dias úteis/mês	*24*	*21*	*23*	*23*	*24*	*23*	*24*	*25*	*21*	*24*	*22*	*22*
Dados em horas (h)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Horas totais de cada mês	248	224	248	240	248	*240*	*248*	*248*	*240*	248	240	248
Horas de Feriados	8	8	8	0	8	*0*	*0*	*0*	*8*	8	16	8
Hora de FDS	48	48	56	56	48	*56*	*56*	*48*	*64*	48	48	64
Horas úteis/mês	192	168	184	184	192	*184*	*192*	*200*	*168*	192	176	176
Dados em horas (h)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Horas de cada mês						720	744	744	720			
Horas de Feriados						0	0	0	0			
Hora de FDS						0	0	0	0			
Horas úteis/mês						720	744	744	720			

Figura 36. Cadastro de dados do programa computacional “TST Coffee”.

(II) **Módulo Programação Anual**: módulo no qual o gestor da propriedade pode escolher quais operações serão realizadas em cada mês (Figura 37); automaticamente, o programa irá retornar à informação de demanda de horas máquina em função dos dados inseridos no módulo I (Cadastro).

No módulo II, observam-se os dados do planejamento anual das atividades mecanizadas da propriedade (Figura 37). Neste módulo, o gestor pode selecionar, nos campos de cor verde, as operações mecanizadas de cada mês e, automaticamente, tem-se o tempo necessário (TN), em horas, para cada operação, dentro de cada mês. Vale ressaltar que esse Tempo Necessário é obtido por meio dos dados inseridos no módulo I do programa, ou seja, o gestor pode fazer simulações alterando as

velocidades das operações, por exemplo, e verificar as alterações na demanda de horas necessárias para cada operação. Abaixo do quadro de programação, nota-se que existe uma reposta automática ao planejamento do gestor (Figura 38), contabilizando o número de operações e a demanda de horas de trabalho do mês. Ressalta-se que o planejamento apresentado na Figura 33 foi a base para elaboração deste programa, uma vez que o objetivo do mesmo foi retornar valores de dimensionamento planejado de máquinas em função da dimensão das lavouras, permitindo a comparação com a quantidade de máquinas observadas nas propriedades na fase de caracterização. Vale ressaltar que todos os equipamentos são calculados com base na demanda de horas de cada operação, com exceção das carretas, em que foi determinado o número de duas carretas para cada colhedora.

Por meio do tempo disponível (h) e da dimensão da área trabalhada obtém-se o ritmo de cada operação. Como explicado por Milan (2013), este termo refere-se à quantidade mínima de área a ser trabalhada na unidade de tempo de uma hora.

Estimativa em horas (TN=Tempo necessário) de cada operação nos meses do ano											
Janeiro	TN (h)	Fevereiro	TN (h)	Março	TN (h)	Abril	TN (h)	Maio	TN (h)	Junho	TN (h)
Pulverização	67,5	Pulverização	67,5	Pulverização	67,5	Pulverização	67,5	Triturador (Trincha)	125,3	Colheita	250,5
Adubação	58,5	Adubação	58,5	Roçada	62,7	Herbicida	125,3	Arruação	62,7	Carretas	124,8
Roçada	62,7	Ap. Instic. & Fung. Solo	54,8							Carretas	124,8
Nº de Op.	3		3		2		2		2		3
Nº de horas	188,6		180,8		130,1		192,8		188,0		500,0
Nº de dias	23,6		22,6		16,3		24,1		23,5		62,5

Figura 37. Demonstração de parte do planejamento do ano agrícola do módulo II do programa computacional “TST Coffee”.

RITIMO OPERACIONAL (ha h-1)												
Janeiro	RO	Fevereiro	RO	Março	RO	Abril	RO	Maio	RO	Junho	RO
Pulverização	0,4	Pulverização	0,4	Pulverização	0,4	Pulverização	0,4	Triturador (Trincha)	0,7	Colheita	0,3
Adubação	0,3	Adubação	0,3	Roçada	0,3	Herbicida	0,7	Arruação	0,3	Carretas	0,2
Roçada	0,3	Ap. Instic. & Fung. Solo	0,3	0		0		0		Carretas	0,7
0		0		0		0		0		0	
0		0		0		0		0		0	
0		0		0		0		0		0	
0		0		0		0		0		0	
0		0		0		0		0			
∑ RO mês	0,98		1,08		0,71		1,05		0,98		1,20
Nº de Conjuntos	1,0		2,0		1,0		2,0		1,0		3,0

Figura 38. Demonstração de parte do planejamento do ano agrícola do módulo II do programa computacional “TST Coffee”.

Caso os conjuntos mecanizados, trabalhando nas condições máximas de desempenho, não sejam suficientes para realizar o serviço, tem-se, então, a demanda de aumentar o número de conjuntos mecanizados para suprir a necessidade, permitindo que o serviço seja realizado em tempo hábil, sem que os atrasos resultem em redução de produtividade da cultura.

(III) **Módulo Resultado:** neste módulo, é apresentado um resumo operacional do ano agrícola, com o número necessário de horas-máquina em cada mês e no ano, para realizar todas as operações mecanizadas selecionadas. Também é apresentada a quantidade necessária de todas as máquinas para suprir a necessidade de trabalho da propriedade. Assim, o módulo III retorna ao resumo das informações referentes: ao número de operações de cada mês; à demanda de horas relativas por hectare e à necessidade de conjuntos mecanizados, baseados nas informações mensais inseridas no módulo II; a demanda de equipamentos em função do cronograma montado; e à necessidade de horas de trabalho em cada operação mecanizada (Figura 39).

ÍNDICE

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Nº de Operações	3	3	2	2	2	3	3	3	2	3	4	3
Hora máquina ha-¹	1,9	1,8	1,9	1,9	1,9	5,0	2,5	4,6	1,4	2,2	2,4	2,5
NC	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	3,0	2,0	3,0	1,0	2,0	2,0	2,0

PARA A LAVOURA				
Nº de tratores	3,0	3	Horas em colheita	501
Nº de pulverizadores	1,4	2	Horas em pulverizações	540
Nº de Adubadoras	1,4	2	Horas em Recolhimento	315
Nº de Roçadoras	1,4	2	Horas em adubações	292
Nº de Ap. de Herbicida	1,4	2	Horas em aplicação de herbicida	251
Nº de Triturador	1,0	1	Horas em roçadas	188
Nº de Arruador-Sop.	0,6	1	Horas em Varrição	146
Nº de Colhedora	0,3	1	Horas em trituração	125
Nº de Carretinhas	0,7	2	Horas em aplicação Ins/Fung Solo	110
Nº de Recolhedora	0,6	1	Horas em aplicação de MO	97
			Horas em Correção de Solo	73
			Horas em arruação	63

PARA TERREIRO	
Nº de tratores	1
Nº de Carretinhas	1

Figura 39. Demonstração dos resultados (“outputs”) da propriedade no módulo III do programa computacional “TST Coffee”.

4.3 Calibração do modelo de planejamento

O programa computacional “TST Coffee” foi elaborado com base nas atividades de condução das lavouras e, portanto, observa-se que existe uma separação das atividades de campo com respostas programadas aos “inputs” nos módulos I e II e das atividades de pós-colheita, com a possibilidade de inserção do número de máquinas de forma manual pelo gestor. Nota-se que existem duas informações numéricas após a demanda de cada equipamento: uma com números “fracionados” e outra com o arredondamento para cima. Uma vez que não existem frações de conjuntos, utilizou-se a informação numérica arredondada para a elaboração dos modelos.

Ressalta-se que a necessidade de equipamentos advém de uma aba oculta do programa que analisa a demanda de horas para todas as operações durante o ano agrícola (Figura 40). Pela quantificação das horas de cada operação, dentro de cada

mês, calculou-se a representação percentual dos valores de hora; posteriormente, foi calculada, com base no tempo (h) disponível (TD) de cada mês, a necessidade de conjuntos mecanizados de cada mês, para cada operação.

A partir dos resultados obtidos para a necessidade de equipamentos para cada operação, mensalmente, aplicou-se a fórmula de busca do maior valor, conforme orientação da metodologia de dimensionamento de frota agrícola proposto por Milan (2013). Vale ressaltar que o programa “TST Coffee” recalcula todo o modelo, de forma automatizada, à medida que o gestor modifica as informações inseridas. À medida que se aumenta o número de operações dentro de cada mês, as informações de percentual de horas em cada operação e a necessidade de conjuntos aumentam ou reduzem-se automaticamente.

ÍNDICE

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Tempo necessário p/ Pulverização	67,5	67,5	67,5	67,5	0,0	0,0	0,0	0,0	67,5	67,5	67,5	67,5
Tempo necessário p/ Adubação	58,5	58,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,5	58,5	58,5
Tempo necessário p/ roçada	62,7	0,0	62,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	0,0
Tempo necessário p/ Ap. Instic. & Fung. Solo	0,0	54,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	54,8	0,0
Tempo necessário p/ Ap. Herbicida	0,0	0,0	0,0	125,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	125,3
Tempo necessário p/ Triturador (Trincha)	0,0	0,0	0,0	0,0	125,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Arruação (soprador)	0,0	0,0	0,0	0,0	62,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Colheita	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	250,5	250,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Carretas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Varrição	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	146,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Recolhimento	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	314,9	0,0	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Ap. Calcário	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	73,1	0,0	0,0	0,0
Tempo necessário p/ Ap. Matéria Orgânica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,5	0,0	0,0

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
% do Tempo necessário p/ Pulverização	36%	37%	52%	35%	0%	0%	0%	0%	48%	30%	28%	27%
% do Tempo necessário p/ Adubação	31%	32%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	26%	24%	23%
% do Tempo necessário p/ roçada	33%	0%	48%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	26%	0%
% do Tempo necessário p/ Ap. Instic. & Fung. Solo	0%	30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	23%	0%
% do Tempo necessário p/ Ap. Herbicida	0%	0%	0%	65%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%
% do Tempo necessário p/ Triturador (Trincha)	0%	0%	0%	0%	67%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Arruação (soprador)	0%	0%	0%	0%	33%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Colheita	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Carretas	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Varrição	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	32%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Recolhimento	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	68%	0%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Ap. Calcário	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	52%	0%	0%	0%
% do Tempo necessário p/ Ap. Matéria Orgânica	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	44%	0%	0%

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Nº de pulverizadores	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
Nº de Adubadoras	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Nº de roçadoras	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Nº de pulverizadores	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Nº de Aplicador de Herbicida	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Nº de Triturador (trincha)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Nº de Arruador	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Nº de Colhedoras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nº de Carretas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nº de Arruador-Soprador	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nº de recolhedora	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nº de Adubadoras	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Nº de Adubadoras	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0

Figura 40. Base de cálculos para a distribuição das operações mecanizadas para a obtenção dos resultados gerados no módulo III do programa computacional "TST Coffee".

4.4 Avaliação do modelo de planejamento

Visando à análise do número de máquinas nas propriedades desta pesquisa, foram feitas simulações considerando as características de cada uma no programa "TST Coffee". As informações obtidas no módulo III, quanto ao número necessário de equipamentos, foram confrontadas com as quantidades reais, apresentadas na caracterização das propriedades (Figuras 6 a 16). Os valores obtidos por meio do planejamento da mecanização, no programa "TST Coffee", foram denominados

“Preditos” em inferência ao número predito de máquinas da propriedade, enquanto, o numeral real de cada equipamento foi descrito como “Observado”.

Seguindo as divisões dos grupos obtidos a partir da estatística multivariada, foram desenvolvidos dois modelos, sendo: um para o grupo I (28,2 a 121,3 ha) e outro para o grupo II (196,5 a 400,0 ha). Para avaliar a dissimilaridade entre as informações preditas e as observadas, calculou-se o erro médio quadrático da raiz (RMSE), que permite verificar o quanto as propriedades estão próximas, ou não, de um comportamento modelável, uma vez que o levantamento predito representa a demanda mais próxima do ideal devido à otimização das horas de trabalho.

Observa-se que, para o número de tratores (Figura 41), os valores de RMSE foram menores nas propriedades do Grupo I (1,2 trator), demonstrando que as maiores propriedades apresentam maior diferença entre os valores preditos e os observados (Grupo II – 3,3 tratores), ou seja, provavelmente devido ao fato de, nas maiores áreas de café, os gestores adquirem tratores de forma menos direcionada, sem considerar critérios técnicos.

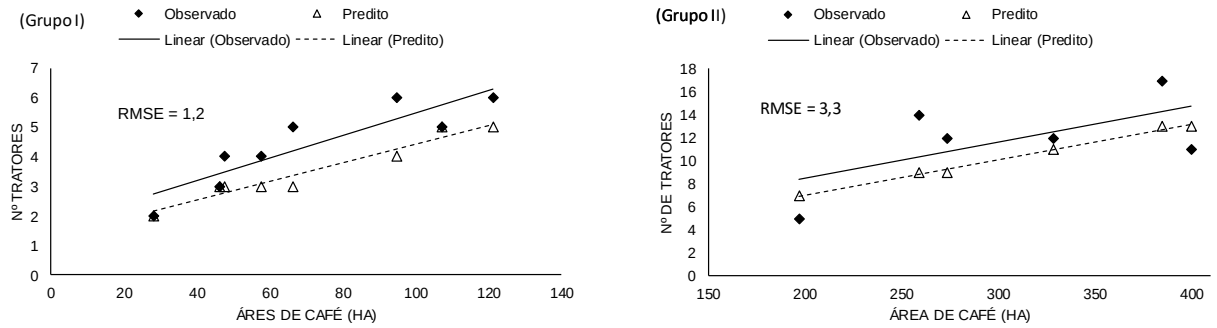


Figura 41. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de tratores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Vale ressaltar que as linhas de tendência formadas a partir dos dados observados para tratores permaneceram um pouco acima das informações preditas, nos dois grupos de propriedades. Possivelmente, a explicação para este fato são o

dinamismo e as adversidades que podem gerar atrasos nas operações realizadas com essas máquinas ou, até mesmo, um superdimensionamento.

Já em relação aos pulverizadores hidropneumáticos (Figura 42), nota-se que os valores de RMSE foram próximos, sendo 0,5 e 0,8 pulverizadores, para os grupos I e II, respectivamente. Fato interessante é que esses erros foram bem menores quando comparados aos obtidos para os tratores, o que indica, também, que, para os pulverizadores hidropneumáticos, os dois grupos de propriedades apresentaram um comportamento real mais próximo do predito para a obtenção do número ideal de máquinas.

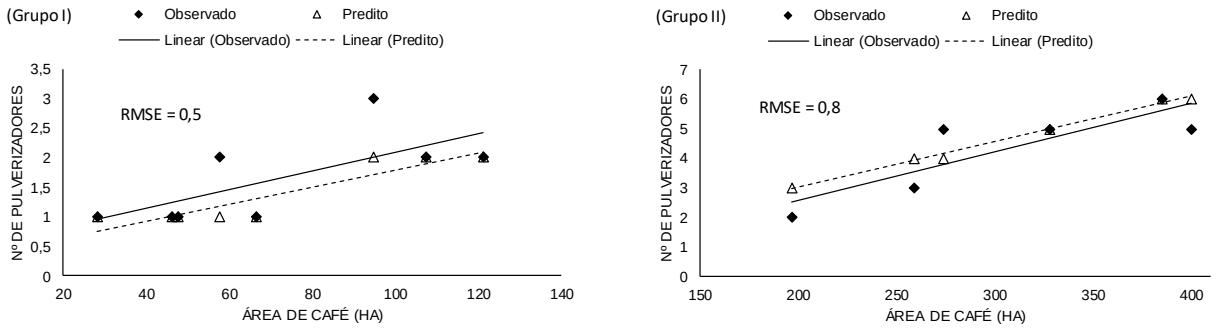


Figura 42. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de pulverizadores hidropneumáticos nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Analisando de forma conjunta o número de máquinas utilizadas para o controle de plantas daninhas (Figuras 43, 44 e 45), verifica-se que os valores de RMSE também foram menores que os valores obtidos na análise de tratores. Entretanto, como são máquinas que apresentam índices de utilização de equipamento (IUE) com maior média (Figuras 4C, 5A e 5B), apenas uma unidade de máquina é suficiente para cobrir uma grande área de serviço. Então, tem-se o aumento do número de equipamentos em função da área de forma mais suave (um equipamento trabalha em maiores áreas) que os tratores. Esse fenômeno explica, também, o fato de se observar que, em algumas vezes, há a coincidência entre os valores observados e os preditos, enquanto em

outras há um distanciamento desses pontos, fazendo com que o comportamento das linhas de tendência seja alterado.

Analisando os resultados de pulverizadores hidráulicos (herbicida) (Figura 43), nota-se que existem algumas propriedades com valores menores que os preditos. Neste caso, os gestores assumem que o processo de controle químico de plantas daninhas pode demorar mais que o planejado.

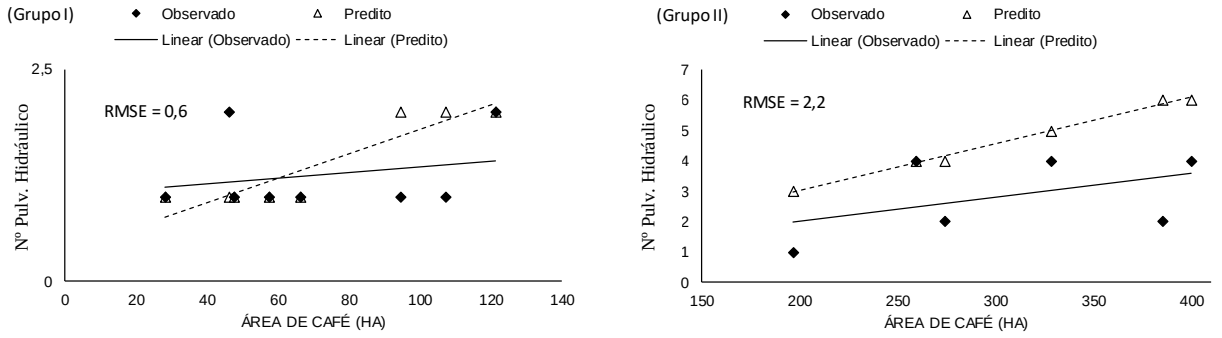


Figura 43. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de pulverizadores hidráulicos (herbicida) nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Os valores de RMSE para a quantidade de trituradores (Figura 44) foram 0,8 e 1,1 para os grupos I e II, respectivamente. Fato interessante é que, analisando-se as linhas de tendência, nota-se que os grupos I e II apresentam comportamentos opostos, no sentido de que, para o grupo I, a linha de tendência que representa os valores observados encontra-se mais afastada do eixo das abcissas do que a linha de tendência dos valores preditos. Já no grupo II, este comportamento inverte-se, indicando que, normalmente, nas propriedades deste grupo, existe menor quantidade de máquinas do que o necessário (planejado). Provavelmente, isso ocorre porque os produtores optam por utilizar outros meios para o controle de plantas daninhas em suas propriedades.

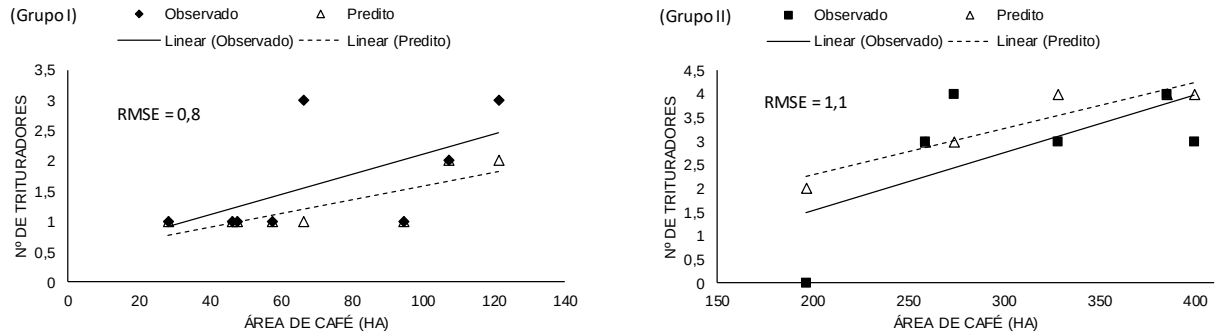


Figura 44. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de trituradores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Vale ressaltar que o controle mecânico de plantas daninhas, na prática, pode ser feito conforme a preferência do gestor, seja via triturador, seja com roçadora. Isso explica os possíveis comportamentos que, a princípio, pareçam não serem lógicos, como, por exemplo, a linha de tendência do número observado de roçadoras no grupo II (maiores propriedades), no qual, à medida que se aumenta a área de café, reduz-se o número de roçadoras (Figura 45). Nota-se que os valores de RMSE foram 0,7 e 1,9 roçadora para os grupos I e II, respectivamente, indicando que as menores propriedades apresentaram comportamento mais previsível quanto ao número de roçadoras.

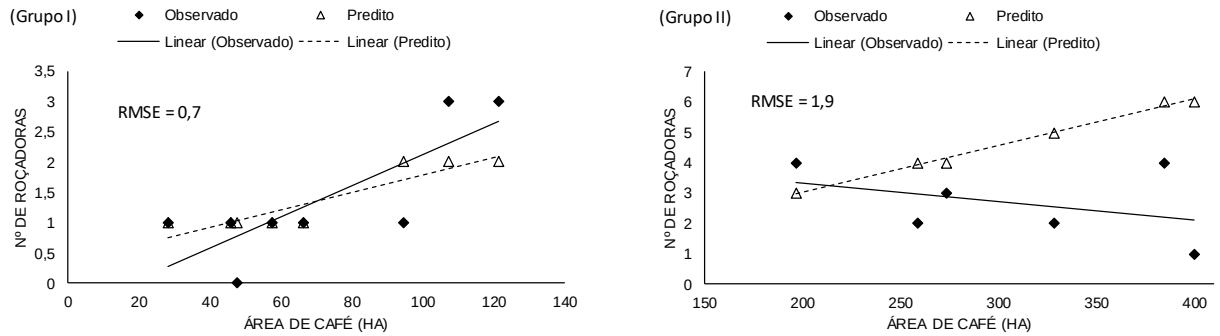


Figura 45. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de roçadoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Quanto aos resultados para o número de adubadores, verifica-se que os grupos I e II apresentaram valores de RMSE de 0,9 e 1,2 adubadora, respectivamente. Observa-se também que as linhas de tendência dos valores preditos e dos observados são próximas, indicando que o modelo desenvolvido via programa computacional “TST Coffee” retorna resultados próximos dos observados em relação às necessidades destas máquinas ou, ainda, que as propriedades tiveram a aquisição de máquinas de forma mais racional, em função das dimensões de suas lavouras.

Apesar de o grupo I de propriedades ter apresentado menor RMSE, nota-se que que existe uma discrepância em uma observação, na qual o modelo indicou a necessidade de uma adubadora, e foi observado na propriedade (P5) a existência de três.

Neste caso, esta propriedade apresenta excesso de adubadoras, o que, do ponto de vista operacional, é bom, pois assim a operação é realizada de forma mais ágil, aproveitando as melhores condições climáticas; porém, do ponto de vista econômico, essa escolha impacta no capital imobilizado e no custo de produção, sendo, portanto, indicado que este gestor venda as máquinas piores do ponto de vista de conservação e eficiência, ficando apenas com a melhor e/ou a mais eficiente.

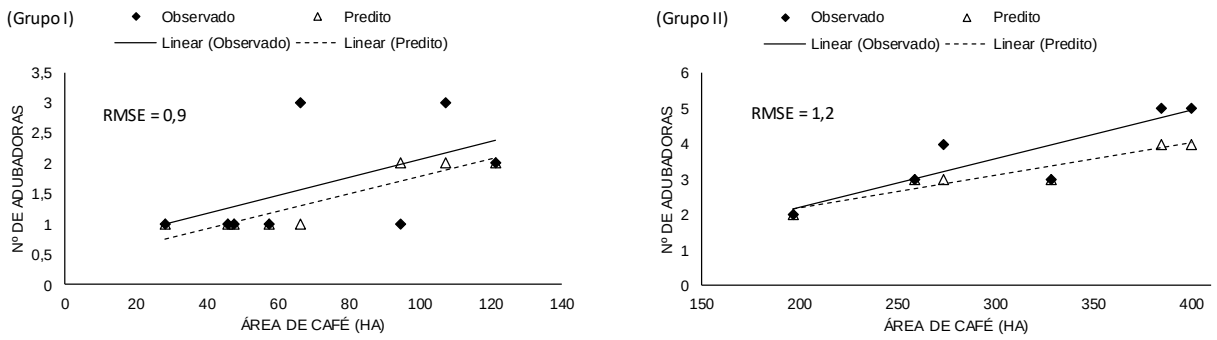


Figura 46. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de adubadoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

Os equipamentos de colheita (colhedora, arruador-soprador, recolhedoras e carretas), de modo geral, são menos sensíveis ao aumento das áreas, como foram

apresentados na fase de caracterização (Figuras 13 a 16). Este fato também pode ser reforçado analisando os modelos apresentados nas Figuras 47 a 50, sobretudo no grupo I de propriedades (menores lavouras com dimensões de 28,2 a 121,3 ha).

Pelo fato de estes equipamentos apresentarem maior média de índice de utilização de equipamento (Figuras 4E, 5C, 5D e 5E), nota-se que o número máximo de arruadores-sopradores, colhedora, carretas basculantes e recolhedoras foi de 3; 3; 4 e 8, respectivamente. Como o número de arruadores-sopradores, colhedora e recolhedoras, nas propriedades do grupo I, em sua maior parte, apresentava apenas uma máquina/propriedade, tem-se que o número destes equipamentos não é sensível ao método, ou seja, a análise do RMSE, neste caso, fica prejudicada. Já para o cenário do grupo II (maiores propriedades), nota-se que a análise do RMSE foi um pouco melhor (mais confiável), uma vez que todas as linhas de tendência apresentaram comportamento crescente.

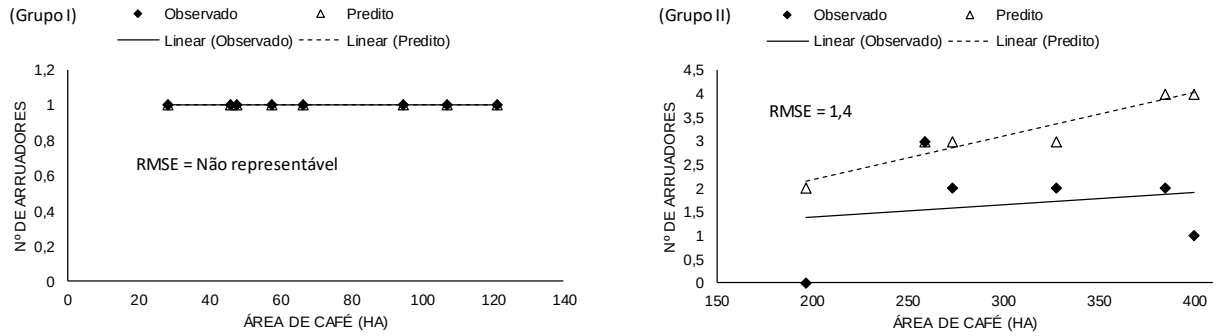
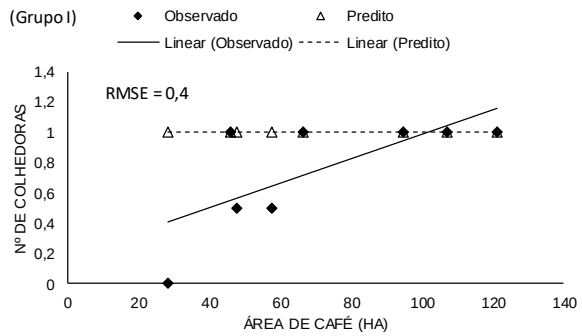


Figura 47. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de arruadores-sopradores nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).



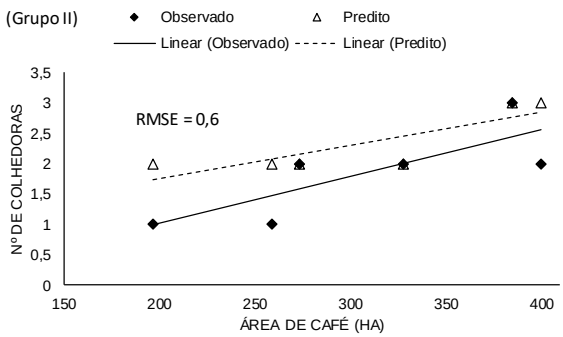
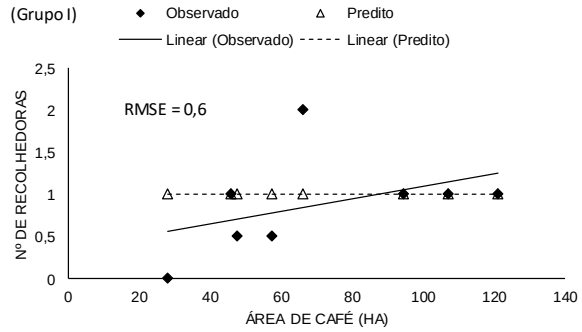


Figura 48. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de colhedoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).



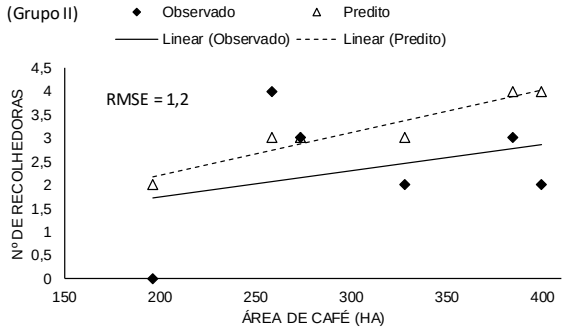
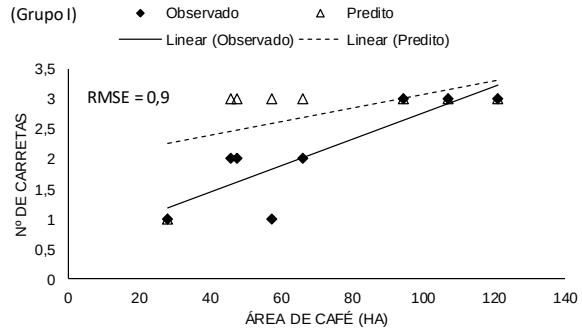


Figura 49. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de recolhedoras nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).



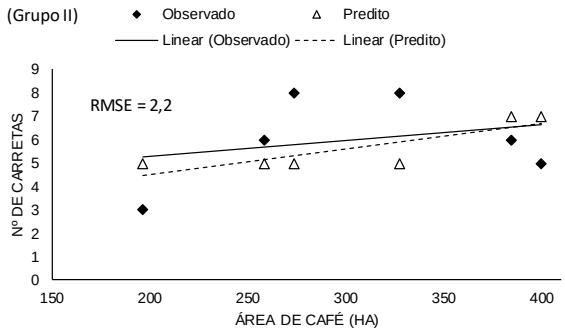


Figura 50. Erro médio quadrático da raiz (RMSE) para quantidade de carretas nas propriedades dos grupos I (28,2 a 121,3 ha) e II (196,5 a 400,0 ha).

De maneira geral, os modelos preditos elaborados por meio do programa “TST Coffee” apresentaram-se coerentes em relação às informações de referência do número de máquinas que cada propriedade deve ter, em condições de Cerrado. As propriedades selecionadas para este estudo apresentaram número de equipamentos variando em torno dos valores preditos pelo programa. Apenas para as máquinas que são utilizadas para o controle mecânico, principalmente roçadoras, e as máquinas utilizadas nos processos de colheita, os modelos não foram tão sensíveis ao método. Isso se deve às características das operações e à grande área em que cada equipamento é capaz de realizar os serviços em tempo hábil, dentro de uma safra.

5 CONCLUSÕES

Apesar de as propriedades cafeeiras apresentarem enorme variação de processos mecanizados, foi possível criar um modelo de dimensionamento para a obtenção da quantidade necessária de máquinas para cada tamanho de propriedade.

Existem comportamentos semelhantes em propriedades de tamanhos similares. Neste estudo, foram discriminados dois agrupamentos das propriedades.

As maiores propriedades conseguem trabalhar com menor relação de equipamentos.

6 REFERÊNCIAS

ANDEF - Associação Nacional de Defesa Vegetal (2010) Manual de tecnologia de aplicação. São Paulo: **ANDEF**. 71 p. Disponível em: < http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/Leitura%20-%20Manual%20Tecnologia%20de%20Aplicacao.pdf>

Assad ED, Pinto HS, Zullo Junior J, Ávila AMH (2004) Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 39: 1057 - 1064.

Baba RK, Vaz MSMG, Costa J (2014) Correção de dados agrometeorológicos utilizando métodos estatísticos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 29: 515 – 526.

Baio FHR, Rodrigues AD, Santos GS, Silva SP (2013) Modelagem matemática para seleção de conjuntos mecanizados agrícolas pelo menor custo operacional. **Engenharia Agrícola**, 33: 402-410.

Bochtis DD, Sørensen CG (2009) The vehicle routing roblem in field logistics part I. **Biosystems Engineering**, 104: 447-457.

Bochtis DD, Sørensen CGC, Busato P (2014) Advances in agricultural machinery management: A review. **Biosystems Engineering**. 126: 69-81.

Bussad WO, Morretin PA (1987) Estatística básica. Atual Editora. São Paulo. 4ª ed.

Camargo AP (1985) Florescimento e frutificação de café arábicanas diferentes regiões cafeeiras do brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** 20: 831-839.

Camargo AP, Camargo MBP (2001) Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do brasil. **Bragantia**. 60: 65-68.

Camargo AP, Franco CM (1981) Clima e fenologia do cafeeiro. In: **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1-62.

Carpanezzi L, Leardini O, Silva CGC, Zanardi R (2017) História e evolução da mecanização. **FAEF Revista**, 31: 1-6.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento (2018) Acompanhamento da safra brasileira: Café, safra 2018, quarto levantamento. Brasília: **Conab**.84 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/24571_eec1a3f8fdc30883717a497a09f7d159>

Conceição A. (2011) Cafeicultor mecaniza colheita para driblar falta de mão de obra: Competição com outros setores, como a construção civil, reduziu a oferta de trabalhadores para a colheita do café. **O Estado de S.Paulo**. Disponível em: < https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,cafeicultor-mecaniza-colheita-para-driblar-falta-de-mao-de-obra-imp-,736326 >.

Cunha JPB (2015) **Análise técnica e econômica da mecanização na cafeicultura**. (Tese apresentada para obtenção do título de doutorado). 102 p. Universidade Federal De Lavras.

Day D. (2011). Engineering advances for input reduction and systems management to meet the challenges of global food and farming futures. **Journal of Agricultural Science**, 149, 55-61

Decaro Junior ST, Ferreira MC, Lasmar O, Fouquet G (2015) Reducing spray volume for the control of Leucoptera coffeella (Lepidoptera: Lyonetiidae) in coffee plants. **Coffee Science**, 10: 491-498

Edwards W, Boejhe M (1980) Machinary selection considering timeliness losses. **Transactions of the ASAE**. 23: 810-815.

Educampo (2018) **Sobre o Educampo**. Disponível em < http://educampo.com.br/> Acesso em: 09 ago. 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (1979) **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos:** Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 83p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (2018) **Produção dos Cafés do Brasil equivale a 36% da produção mundial em 2018**. Brasília. Disponível em: < https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34724227/producao-dos-cafes-do-brasil-equivale-a-36-da-producao-mundial-em-2018>. Acesso em: 05 fev. 2019.

Fernandes ALT, Partelli FL, Bonomo R, Golynski A (2012) A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros**. Pesquisa Agropecuária Tropical**. 42: 231-240.

Fernandes ALT, Santinato F, Ferreira RT, Santinato R (2013) Adubação orgânica do cafeeiro, com uso do esterco de galinha, em substituição à adubação mineral. **Coffee Science**, Lavras, 8: 486-499.

Fontes. JRA, Shiratsuchi LS, Neves JL, Júlio L, Sodré Filho J (2003) **Manejo integrado de Plantas Daninhas**. Embrapa Cerrados. 47 p. Planaltina/DF.

Garcia ALA, Padilha L, Garcia AWR, Mendes ANG, Carvalho CHS (2011) Efeito da ureia com inibidor de uréase no crescimento de mudas de cafeeiro (Coffea arabica L.). **Coffee Science**, Lavras, 6: 1-7.

Gimenez LM, Milan M (2007) Diagnóstico da mecanização em uma região produtora de grãos. **Engenharia Agrícola** 27: 210-219.

Hair JF, Anderson RE, Tatham RL, Black W (2005) **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Bookman.

Höfig P, Araujo-Junior CF (2015) Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do paraná. **Coffee Science**, 10: 195-203.

Hunt DR (1977) **Farm power and machinery management.** 9th ed. Ames: Iowa University Press. 365 p.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. (2010) **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm >. Acesso em: 09 ago. 2018.

Kay RD, Edwards WM (1999) **Farm management**. 4th ed. Iowa: WCB, McGraw-Hill. 494 p.

Kaiser HF (1958) The varimax criterion for analytic rotation in fator analysis. **Psychometrika**, 23:187-200.

Leite ES, Minette LJ, Fernandes HC, Souza AP, Amaral EJ, Lacerda EG (2014) Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividade. **Revista Árvore**, 38: 01-07.

Machado VM, Santos JB, Pereira IM, Cabral CM, Lara RO, Amaral CS (2012) Controle químico e mecânico de plantas daninhas em áreas em recuperação. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 11: 139-147.

Malavolta E, Kliemann HJ (1985) Desordens nutricionais no Cerrado. Piracicaba: Potafos. 136 p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2017) **Café no Brasil**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira.>

Martini G, Pedrinho Junior AFF, Durigan JC (2003) Eficácia do herbicida glifosato-potássico submetido à chuva simulada após a aplicação. **Bragantia**, 62: 39-45.

Marcuzzo KV, Melo B, Carvalho HP, Teodoro REF, Severino GM, Alvarenga CB (2005) Desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arábica* L.) em diferentes substratos e doses de fertilizantes de liberação gradual. **Bioscience Journal**, 21: 57-63.

Matiello JB, Santinato R, Garcia AW, Almeira SR, Fernades DR (2010) **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha: Gráfica Santo Antônio. 542 p.

Matiello JB, Almeira SR, Garcia AW (2013) **Mecanização em cafezais**. Varginha: Fundação Procafé, 56 p.

Mesquita CM, Rezende JE, Carvalho JS, Fabri Junior MA, Moraes NC, Dias PT, Carvalho RM, Araújo WG (2016) Manual do café: colheita e preparo (Coffea arábica L.). Belo Horizonte: EMATER-MG, 52 p.

Mialhe LG (1974) **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres 301p.

Milan M. (2013) **Planejamento de sistemas mecanizados agrícolas**. Curso de Engenharia Agronômica Piracicaba (apostila de desempenho e custo). Universidade de São Paulo.

Milligan GW, Cooper MC (1985) An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. **Psychometrika**, 50: 159–179. https://doi.org/10.1007/BF02294245

Ortega AC, Jesus CM (2011) Território café do Cerrado: transformações na estrutura produtiva e seus impactos sobre o pessoal ocupado. **Revista Economia Sociologia Rural**, 49: 771-800.

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

R Core Team (2014) R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/.>

Ramos HH, Durigan JC (1998) Efeitos da qualidade da água de pulverização sobre a eficácia de herbicidas aplicados em pós-emergência. **Bragantia,** 57: 313-324.

Rodrigues ER, Saab OJGA, Gandolfo MA (2011) Cana-de-açúcar: Avaliação da taxa de aplicação e deposição do herbicida glifosato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15: 90–95.

Rogeri DA (2010) **Suprimento e perdas de nitrogênio no solo decorrentes da adição de cama de aves**. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina.

Rohani A, Abbaspour-Fard MH, Abdolahpour S (2011) Prediction of tractor repair and maintenance costs using Artificial Neural Network. **Expert Systems with Applications**, 38: 8999–9007

Ronchi CP, Ferreira RT, Silva MAA (2014) Manejo de plantas daninhas na cultura do café. In: Patrícia Andrea Monquero (Organização e Edição Técnica). **Manejo de plantas daninhas nas culturas agrícolas**. São Carlos: RiMa Editora, 132-154.

Saes MSM, Jayo M, Silveira RLF (1997) Caccer :Coordenando ações para a valorização do café do Cerrado. In: VII Seminário Internacional Pensa de Agribusiness **Anais...** 19 p.

Salim CA (1986) As políticas econômica e tecnológica para o desenvolvimento agrário nas áreas de cerrados no Brasil: avaliação e perspectivas. **Cadernos de Difusão de Tecnologia**, 3: 297–342.

Santinato F, Ruas RAA, Carvalho Filho A, Santinato R, Silva RP (2015) Análise econômica da colheita mecanizada do café utilizando repetidas operações da colhedora. **Coffee Science**, 10: 402-411

Santinato F, Ruas RAA, Tavares TO, Silva RP, Godoy MA (2017) Influence of spray volumes, nozzle types and adjuvants on the control of phoma coffee rust. **Coffee Science**, 12: 444-450

Santinato R, Fernandes ALT (2012) **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento.** 2 ed. Uberaba: Gráfica WS, 387 p.

Schlosser JF, Machado ODC, Debiasi H, Pinheiro ED (2004) Índice de mecanização de propriedades agrícolas no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, 34: 791-794.

Silva AL, Faria MA, Reis RP. (2003) Viabilidade do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DA CAFEICULTURA IRRIGADA, Araguari. **Resumos expandidos**... Uberlândia: UFU, 2003. p. 25-29.

Silva FM, Souzas JCS, Silva AC (2010) Café derramado. **Cultivar Máquinas**, 9: 18-20.

Silveira GM, Yanai K, Kurachi SAH (2007) Influência da velocidade do trator no controle de plantas daninhas, adubação, pulverização da cultura do café**. Engenharia na Agricultura**, 15: 250-260.

Sneath PHA, Sokal RR. (1973) **Numerical Taxonomy**: The principles and practice numerical classification. Freeman, San Francisco.

Tavares TO (2016) **Recolhimento mecanizado do café em função do manejo do solo e da declividade do terreno.** 2016, 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Jaboticabal.

Tavares TO, Borba MAP, Oliveira BR, Silva RP, Voltarelli MA, Ormond ATS (2018) Effect of Soil Management Practices on the Sweeping Operation during Coffee Harvest. **Agronomy Journal,** 110: 1-8.

Tavares TO, Santinato F, Silva RP, Voltarelli MA, Paixao CSS, Santinato R (2015) Qualidade do recolhimento mecanizado do café. **Coffee Science**, 10: 455-463.

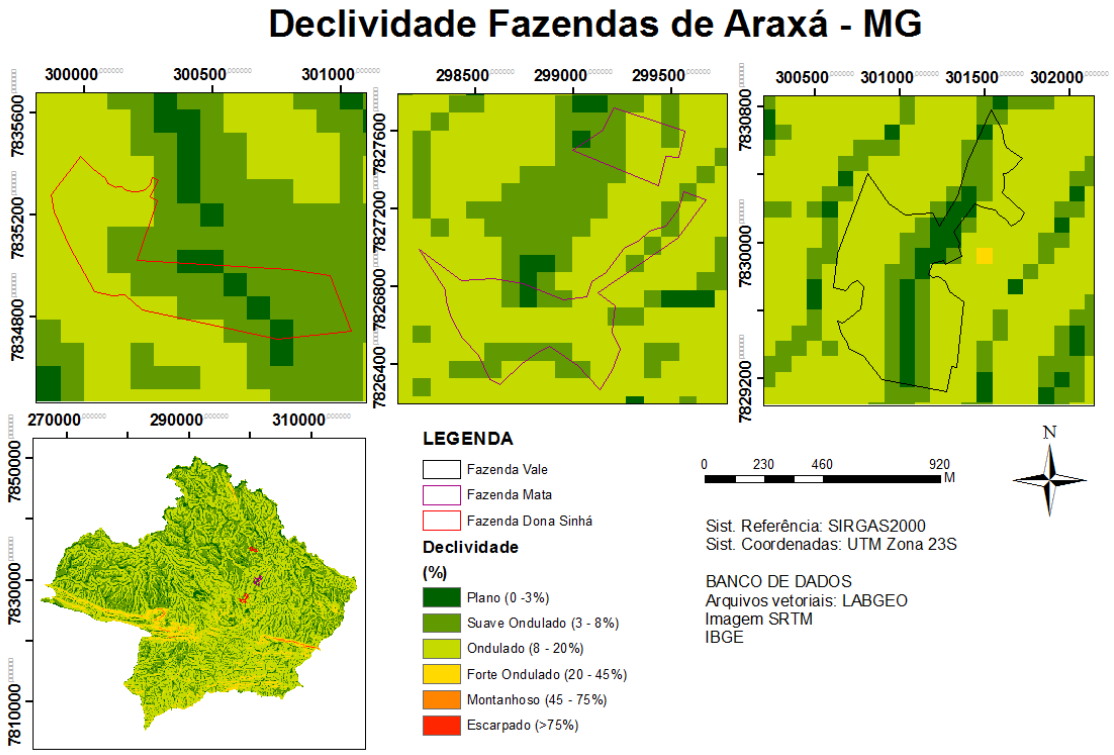
Tavares TO, Silva RP, Santinato F, Santos AF, Paixão CSS, Silva VA (2016) Operational performance of the mechanized picking of coffee in four soil slope. **African Journal of Agricultural Research**, 11: 4857-4863

Witney BD (1988) **Choosing & using farm machines**. Edinburg: Land Technology, 412 p.

Wunsch JA (1995) **Diagnóstico e tipificação de sistemas de produção: procedimentos para ações de desenvolvimento regional**. 178 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

7 ANEXOS

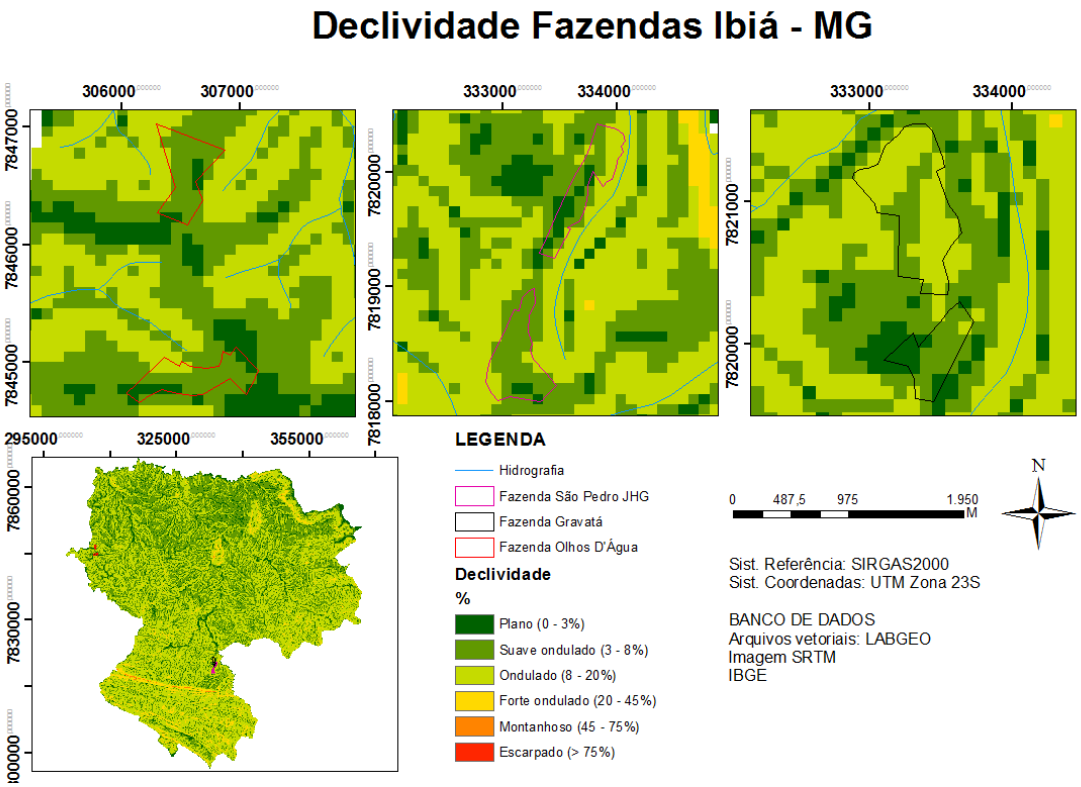
7.1 Anexo 1: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Dona Sinhá (P1) e Fazenda Vale/Mata (P2), Araxá/MG.



Comentários para o Anexo 1:

Observa-se que as propriedades do município de Araxá/MG, P1 (Dona Sinhá) e P2 (Fazenda Vale/Mata), com dimensões de 28,20 e 121,30 ha de lavoura, respectivamente, apresentam relevos predominantemente suave ondulado e ondulado (Embrapa, 1979), com áreas consideradas, por suas declividades, 100% aptas à mecanização. A bibliografia cita que a mecanização total dos processos agrícolas é possível em áreas de até 20% de declividade e Höfig e Araujo-Junior (2015) classificam as declividades de acordo com a potencialidade de mecanização na cultura do café em: extremamente apta (0 a 5%), muito apta (5,1 a 10%), apta (10,1 a 15%) moderadamente apta (15,1 a 20%) e não recomendada (> 20%).

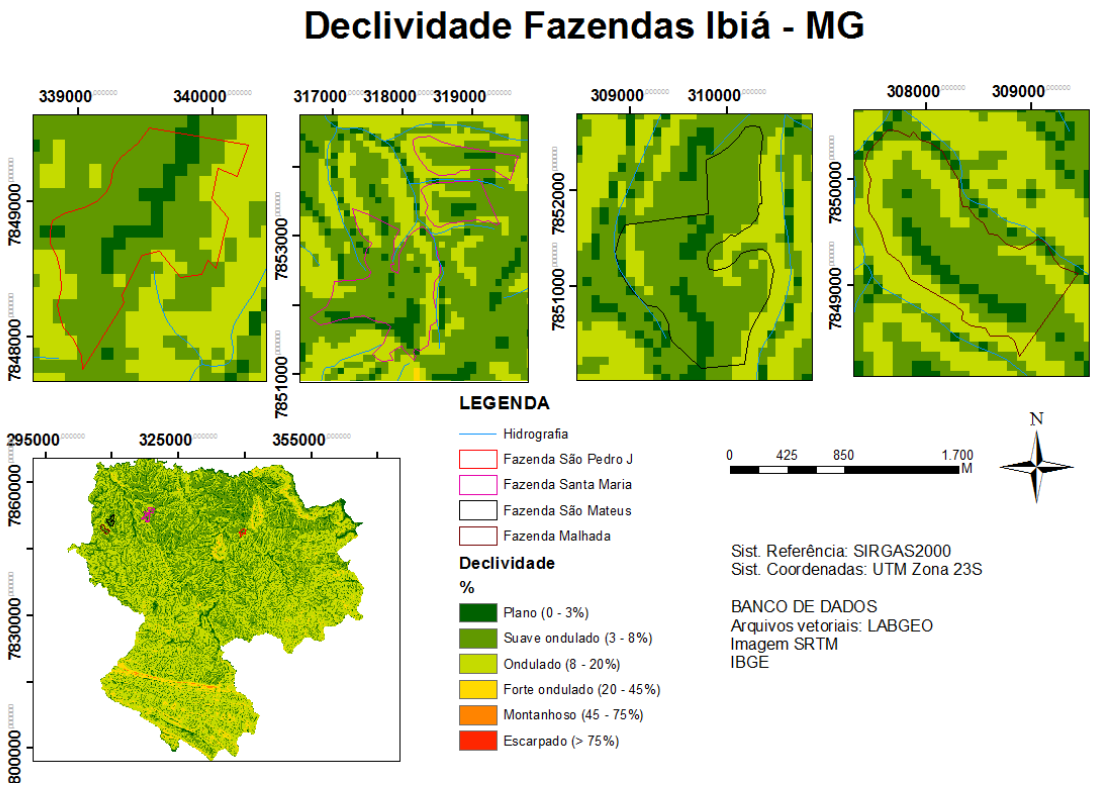
7.2 Anexo 2: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Olhos D'água (P3), São Pedro JHG (P5) e Gravatá (P8), Ibiá/MG.



Comentários para o Anexo 2:

Analisando as três primeiras propriedades selecionadas no município de Ibiá/MG, nota-se que o polígono que contorna as lavouras das Fazendas Olhos D'água (P3), São Pedro JHG (P5) e Gravatá (P9) envolvem áreas com predominância de relevo suave ondulado e ondulado. As três propriedades possuem dimensões semelhantes (46; 58 e 48 ha) e é possível notar que a variação de declive dentro dos polígonos é pequena, o que é muito bom quando se pensa na sistematização dos talhões para a mecanização do café.

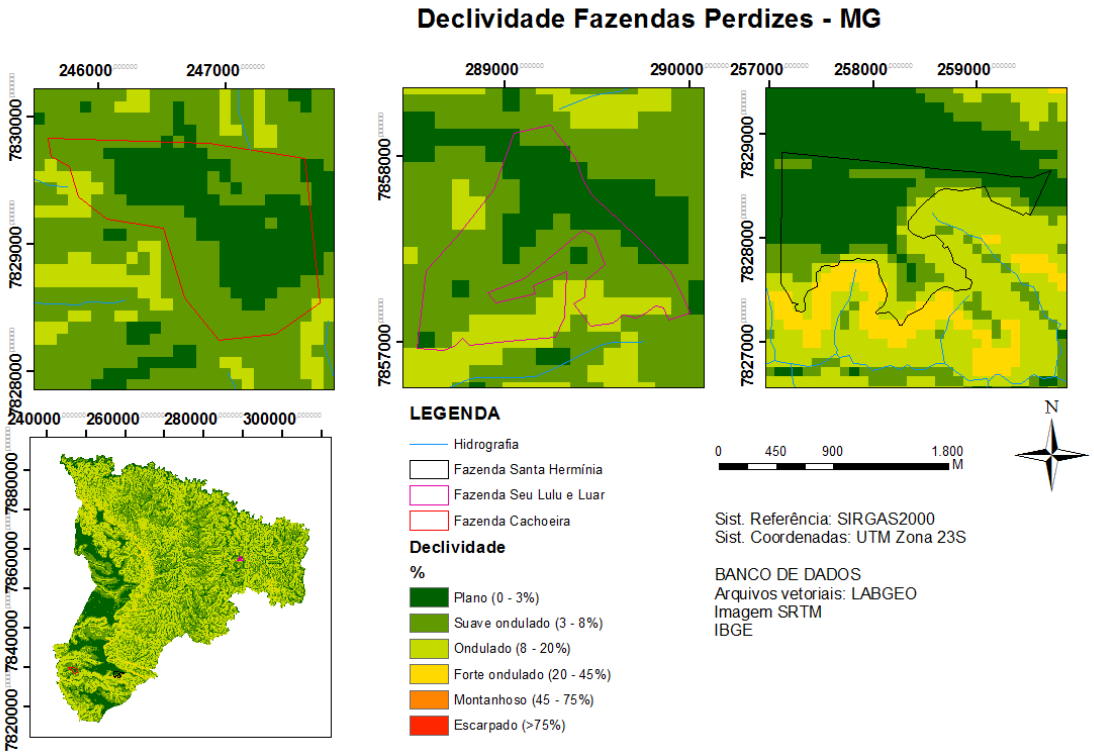
7.3 Anexo 3: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas São Pedro J (P4), Fazenda Santa Maria (P6) e Fazenda São Matheus/Malhada (P7), Ibiá/MG.



Comentários para o Anexo 3:

Verifica-se nos mapas das demais propriedades do município de Ibiá [Fazenda São Pedro J (P4), Fazenda Santa Maria (P6) e Fazenda São Matheus/Malhada (P7)], que a declividade média dos polígonos foi de 5,49; 6,32 e 5,92%, respectivamente. De forma similar às demais propriedades apresentadas, estas também apresentaram predominância de terrenos suaves ondulados (em maior parte) e ondulado (principalmente nas bordas dos talhões). Estas propriedades apresentam maiores dimensões das lavouras quando comparadas às demais do município de Ibiá/MG: Fazendas São Pedro J com 258,90 ha, Fazenda Santa Maria com 273,60 e Fazenda São Matheus/Malhada 328,10, possivelmente esta predominância de áreas suaves onduladas nas maiores propriedades tenha influenciado nos coeficientes de correlação apresentados na Tabela 2 deste trabalho.

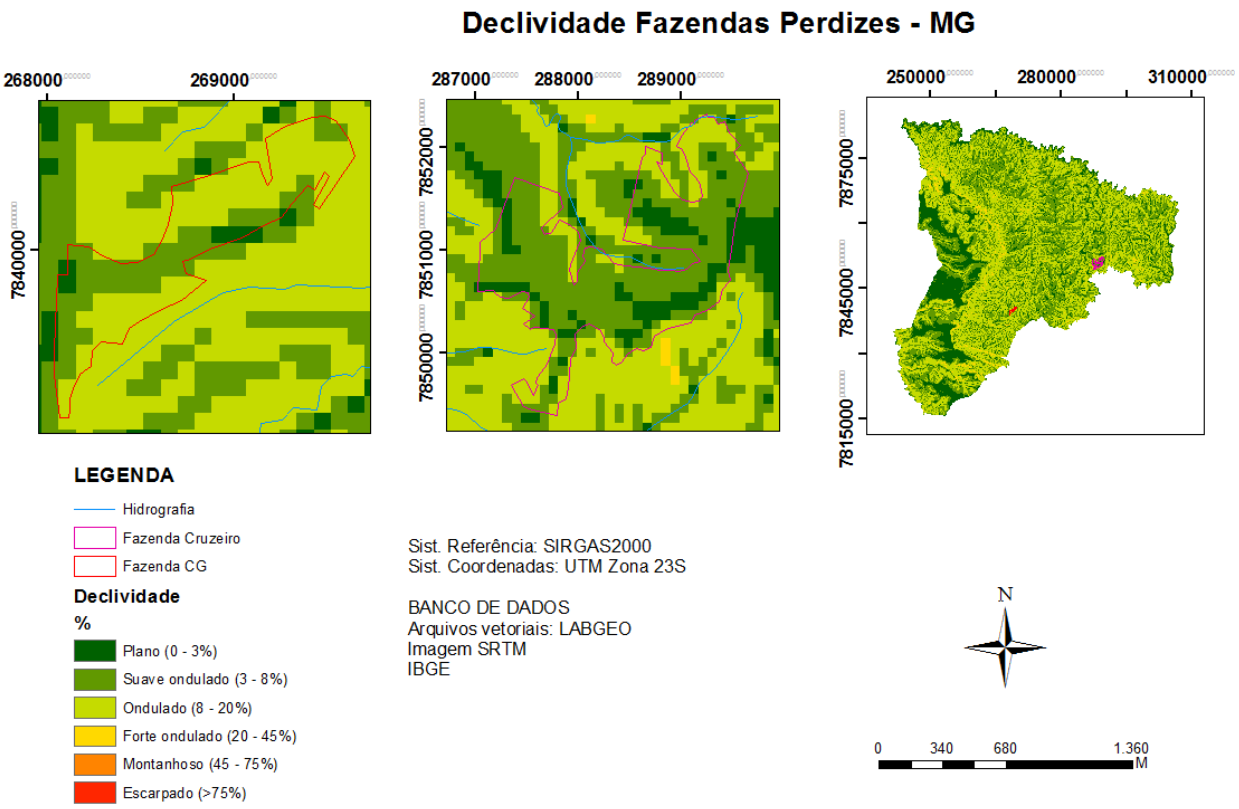
7.4 Anexo 4: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Santa Hermínia/Cachoeira (P11) e Seu Lulu/Luar (P12), Perdizes/MG.



Comentários para o Anexo 4:

Analisando o município de Perdizes/MG observa-se as Fazendas Santa Hermínia/Cachoeira (P11, com dimensões de 385,00 ha e declividade média de 4,21%) e Seu Lulu e Luar (P12, com dimensões de 107,20 ha e declividade média de 4,96%), no Anexo 4, e Fazendas Cruzeiro (P10, com dimensões de 196,50 ha e declividade média de 5,38%) e CG (P9, com dimensões de 66,40 ha e declividade média de 8,19%), Anexo 5. Nas propriedades apresentadas no Anexo 4 verifica-se maior predominância de terreno de baixo declive (terreno plano) quando comparadas com as propriedades anteriormente apresentadas. Nota-se também que a Fazenda Santa Hermínia/Cachoeira (P11) apresenta maior concentração de áreas com relevo plano, enquanto que na propriedade P12 (Fazenda Seu Lulu/Luar), verifica-se que a maior parte da propriedade varia entre terrenos planos e suaves ondulados.

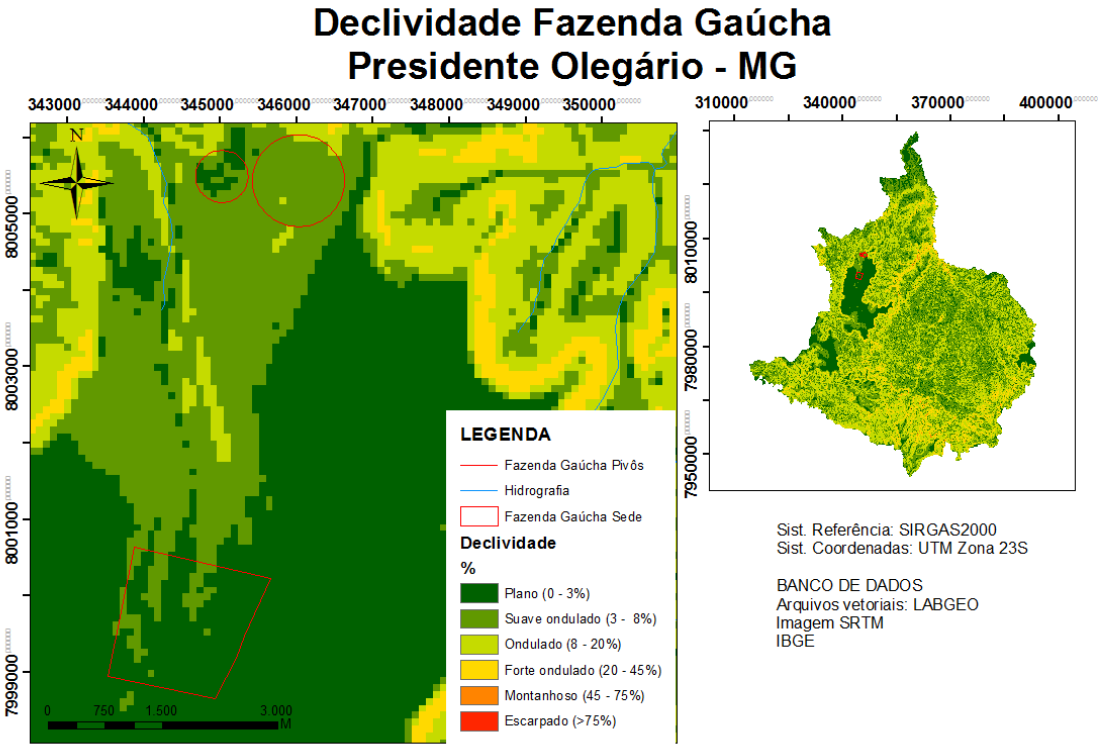
7.5 Anexo 5: Modelo digital de elevação (MDE) das Fazendas Cruzeiro (P10) e Fazenda CG (P9), Perdizes/MG.



Comentários para o Anexo 5:

As outras duas propriedades do município de Perdizes/MG, Cruzeiro e CG também apresentaram topografia bastante favorável à mecanização (<10%). Das propriedades do município de Perdizes/MG a Fazenda CG é a que possui menor dimensão da lavoura e menor predominância de terrenos mais planos (plano e suave ondulado). É possível notar que maior parte da área envolvida pelo polígono nesta propriedade é classificada como ondulada.

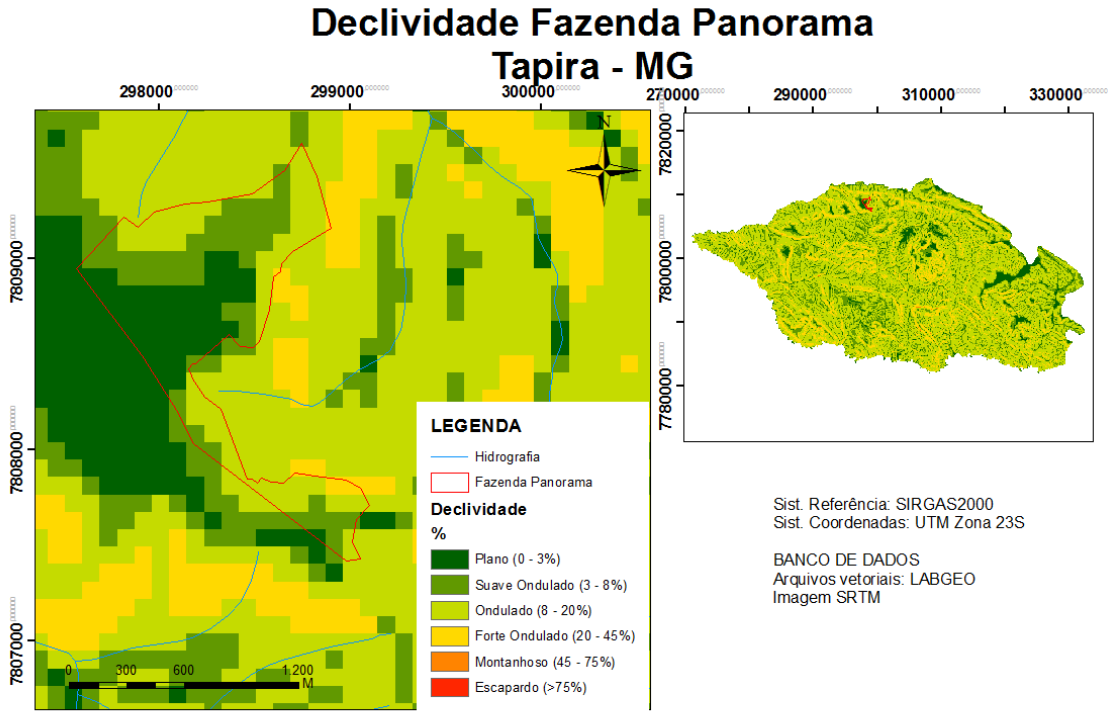
7.6 Anexo 6: Modelo digital de elevação (MDE) da Fazenda Gaúcha (P13), Presidente Olegário/MG.



Comentários para o Anexo 6:

A Fazenda Gaúcha, única representante do município de Presidente Olegário, contempla a maior dimensão entre as propriedades estudadas, com 400 ha de café. A propriedade tem suas lavouras divididas em 3 glebas [Sede (polígono trapezoidal), Pivô 112 (polígono circular maior) e Pivô 36 (polígono circular menor)]. A gleba "Sede" apresenta predominância de terreno plano, já o Pivô 112 apresenta o terreno quase em sua totalidade suave ondulado. Por fim, Pivô 36 apresenta variação na região central do polígono com predominância de terrenos plano e suave ondulados. A declividade média da propriedade foi de 4,38%, o que caracteriza a propriedade com terrenos muito favoráveis à mecanização.

7.7 Anexo 7: Modelo digital de elevação (MDE) da Fazenda Panorama (P14), Tapira/MG.



Comentários para o Anexo 7:

No município de Tapira/MG está a Fazenda Panorama, batizada com esse nome devido à propriedade estar localizada na parte mais elevada da topografia da região. Esta propriedade possui altitude média de 1250 m, caracterizada como muito alta para o cultivo do café arábica. O uso de áreas altas pode dificultar o manejo de doenças devido ao vento excessivo e temperaturas mais baixas. É possível observar que as áreas vizinhas ao polígono da fazenda são bastante declivosas e que o café está sendo cultivado na parte mais alta e plana. Dentro do polígono, local dos 94,70 ha de lavoura, existe a predominância do terreno plano e suave ondulado e, nas regiões próximas à borda do polígono observa-se uma parte considerável de terreno ondulado. Ressalta-se que todas as áreas têm a possibilidade de serem mecanizadas, uma vez que a declividade média da lavoura é de 7,06%.

7.8 Anexo 8: Máquinas utilizadas na cafeicultura brasileira.

Estrutura de tratos culturais: Conjuntos mecanizados trator-pulverizador hidropneumático e trator-triturador.

Estrutura de tratos culturais: Conjuntos mecanizados e trator-adubadora.

Estrutura de tratos culturais: Conjuntos mecanizados realizando aplicação de “drench”.

Estrutura de tratos culturais: Conjuntos mecanizados trato-roçadora e trator-pulverizador hidráulico.

Estrutura de colheita: Conjuntos mecanizados trator-colhedora e trator-carreta basculante.

Estrutura de colheita: Conjuntos mecanizados trator-arruador e trator-recolhedora.