



ALAN DELON ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E ANÁLISE
TÉCNICO-ECONÔMICA DE UMA MÁQUINA PARA
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS NA
CAFEICULTURA**

**LAVRAS - MG
2018**

ALAN DELON ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA
DE UMA MÁQUINA PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS
NA CAFEICULTURA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Orientador

Prof. Dr. Fábio Moreira da Silva

Coorientador

Prof. Dr. Murilo Machado de Barros

Coorientador

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Andrade, Alan Delon.

Caracterização da distribuição e análise técnico-econômica de
uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos na
cafeicultura / Alan Delon Andrade. - 2018.

65 p. : il.

Orientador(a): Gabriel Araújo e Silva Ferraz.

Coorientador(a): Fábio Moreira da Silva, Murilo Machado de
Barros.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Avaliação de máquinas. 2. Aplicação de fertilizantes e
corretivos. 3. Cafeicultura. I. Ferraz, Gabriel Araújo e Silva. II.
Silva, Fábio Moreira da. III. Barros, Murilo Machado de. IV. Título.

ALAN DELON ANDRADE

**CARACTERIZAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO E ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA
DE UMA MÁQUINA PARA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES E CORRETIVOS
NA CAFEICULTURA**

**CHARACTERIZATION OF THE DISTRIBUTION AND TECHNICAL-ECONOMIC
ANALYSIS OF A MACHINE FOR FERTILIZERS AND AGRICULTURAL LIMING
MATERIALS APPLICATION IN THE COFFEE CULTIVATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Mecanização Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 21 de agosto de 2018.

Prof. Dr. Murilo Machado de Barros UFRRJ

Prof. Dr. Nilson Salvador UFLA

Prof. Dr. Virgílio Anastácio da Silva UFLA

Prof. Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

A Deus

A meu pai, Gonçalo, e minha mãe, Dulcinéia, pelo amor, confiança, dedicação e apoio incondicional que me fizeram chegar até aqui.

À minha irmã, Aline, pela amizade e carinho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus e à Nossa Senhora Aparecida, por estarem sempre presentes na minha vida, me abençoando e me dando forças para continuar na caminhada.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), pela oportunidade concedida para a realização da minha formação acadêmica (graduação e mestrado).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz, pela orientação, amizade, paciência, confiança, apoio nos trabalhos desenvolvidos e por toda transmissão de conhecimentos.

Aos professores, Dr. Murilo Machado de Barros e Dr. Fábio Moreira da Silva, pela orientação, ensinamentos e contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

À Fazenda Samambaia, em Santo Antônio, MG, pela disponibilidade da propriedade, equipamentos e funcionários para a realização deste trabalho.

À Fazenda Bom Jardim, em Bom Sucesso, MG, em especial aos senhores Josué Pereira de Figueiredo e Rafael de Oliveira Faria, por toda ajuda, disponibilidade da propriedade e dados que foram imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários vinculados ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFLA, pelos ensinamentos, pela convivência e por toda ajuda na concretização deste curso.

Aos amigos da UFLA, pela convivência, troca de conhecimento e colaboração na realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Nilson Salvador e Dr. Virgílio Anastácio da Silva, pela participação na banca examinadora e pelas contribuições ao trabalho.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão do meu mestrado.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Atualmente, a mecanização se destaca no processo produtivo da maioria das atividades agrícolas, garantindo aumento do rendimento nas tarefas executadas e redução dos custos. Na cafeicultura a situação não é diferente, as operações já são realizadas de forma mecanizada, em áreas apropriadas, além de que novas ferramentas e tecnologias capazes de contribuir positivamente para o manejo da cultura vem ganhando espaço. Porém, para garantir a efetividade das operações é necessário que as máquinas e implementos estejam adaptados às características específicas de cada cultura, justificando a realização de trabalhos para desenvolvimento e avaliação dos mesmos. Nesse sentido, objetivou-se no presente trabalho avaliar uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura, no que diz respeito à distribuição transversal de fertilizante e à capacidade de campo e custos do conjunto mecanizado. No intuito de atender às condições específicas da cafeicultura, foi proposto no presente trabalho um método para avaliação da distribuição transversal de fertilizante em campo, baseando-se na norma ISO 5690/1. O perfil de distribuição foi caracterizado em diferentes condições, compostas pela combinação entre três doses de fertilizante, três rotações dos discos distribuidores e duas formas de trabalho (aplicação realizada apenas de um lado da planta ou dos dois lados). O desempenho e custos do conjunto mecanizado foram determinados em função das duas formas de trabalho avaliadas. Na forma de trabalho em que a máquina realizou a aplicação apenas de um lado do cafeeiro (FA1), a mesma trafegou em apenas metade das entrelinhas do talhão. Por outro lado, na forma de trabalho em que a máquina aplicou produto dos dois lados do cafeeiro, foi necessário trafegar por todas as entrelinhas. O custo horário da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos foi calculado com base em dados gerenciais da propriedade onde foi realizado o estudo. Na sequência, relacionando-se o custo horário com os parâmetros de desempenho, foi possível encontrar o custo por hectare para realização da operação dentro do talhão. De maneira geral, a aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro foi a melhor alternativa, pois apresentou maior capacidade de campo e menor custo da operação, além de proporcionar boa distribuição de fertilizante.

Palavras-chave: Ensaio de máquinas. Perfil de distribuição transversal. Capacidade de campo. Custo operacional.

ABSTRACT

Mechanization stands out in the productive process of most agricultural activities today, guaranteeing increased productivity in the tasks performed and reduced costs. In the coffee cultivation, the situation is not different. Mechanization is widespread and new tools and technologies that are able to contribute positively to the management of the crop have increased. However, in order to guarantee the effectiveness of the operations, it is necessary that the machines are adapted to the specific characteristics of each crop, justifying the accomplishment of works for their development and evaluation. The aim of this study was to evaluate a machine for fertilizers and agricultural liming materials application in coffee cultivation, taking into consideration the transversal distribution of fertilizer and the performance and costs of the machinery set. In order to meet the specific conditions of coffee cultivation, it was proposed a method to evaluate the transversal distribution of fertilizer in the field, based on the ISO 5690/1 standard. The distribution profile was characterized in different conditions, being them composed by a combination of three application rates, three rotational speeds of the distributing discs and two methods of operation (application on only one side of the plant or on both sides). The performance and costs of the machinery set were determined according to the two operation methods. In the method in which the machine applied product on only one side of the coffee plant (FA1), it was necessary to travel in only half of the lines. On the other hand, in the operation method in which the machine applied product on both sides of the coffee plant, it was necessary to travel all the lines. The hourly cost of the fertilizer application operation was calculated based on managerial data from the property where the study was conducted. Following, by relating the hourly cost and the performance parameters, it was possible to find the cost per hectare to carry out the operation within the field. In general, the application on only one side of the plant was the best alternative, since it presented greater field capacity and lower cost for the operation, besides providing good fertilizer distribution.

Keywords: Machine testing. Transversal distribution profile. Field machinery capacity. Operating cost.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	Introdução Geral	11
1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Contexto econômico da cafeicultura	13
2.2	Mecanização e novas tecnologias aplicadas na cafeicultura	13
2.3	Uniformidade de distribuição de fertilizantes e corretivos.....	15
2.4	Morfologia do sistema radicular do cafeeiro e sua relação com a aplicação de fertilizantes	17
2.5	Desempenho operacional das máquinas agrícolas.....	18
2.6	Custos das operações mecanizadas	19
	REFERÊNCIAS.....	21
CAPÍTULO 2	Caracterização da distribuição transversal de fertilizante na cafeicultura.....	25
1	INTRODUÇÃO	27
2	MATERIAL E MÉTODOS	29
2.1	Caracterização da área dos ensaios	29
2.2	Especificações do conjunto mecanizado	29
2.3	Caracterização da avaliação	30
2.4	Coletores utilizados.....	31
2.5	Fertilizante utilizado e doses avaliadas.....	32
2.6	Determinação das rotações avaliadas	33
2.7	Calibração do sistema e coleta das amostras de fertilizantes	33
2.8	Análises realizadas.....	34
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
3.1	Caracterização física do fertilizante	35
3.2	Perfis de distribuição.....	35
3.3	Análises dos dados	38
3.4	Uniformidade do perfil de distribuição	41
3.5	Caracterização da distribuição na cafeicultura	42
4	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
CAPÍTULO 3	Avaliação técnico-econômica de diferentes formas de trabalho na operação mecanizada de aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura.....	48
1	INTRODUÇÃO	50

2	MATERIAL E MÉTODOS	52
2.1	Caracterização da área experimental	52
2.2	Especificações do conjunto mecanizado e produto aplicado durante as avaliações	52
2.3	Condições avaliadas e coleta dos dados	54
2.4	Cálculo dos parâmetros de desempenho	55
2.5	Cálculo dos custos da operação	56
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
3.1	Análise e interpretação dos dados	58
3.2	Desempenho do conjunto mecanizado	59
3.3	Análise econômica da operação.....	60
4	CONCLUSÕES.....	63
	REFERÊNCIAS.....	64

CAPÍTULO 1

Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO

A atividade agrícola desempenha um papel de extrema relevância para o desenvolvimento social e econômico do Brasil. Nesse âmbito, o café, sendo uma commodity, se destaca como um dos principais produtos agrícolas geradores de receita para o país. Por se tratar de uma cultura que apresenta elevado custo de produção, o agronegócio do café deve estar sempre em busca de novas tecnologias, ferramentas e técnicas que auxiliem no desenvolvimento do manejo da cultura, culminando em redução de custos, aumento de produtividade e utilização racional de insumos e serviços.

Na busca por maior performance na realização das operações inerentes às atividades agrícolas, a mecanização tem papel de suma importância. O constante desenvolvimento das máquinas agrícolas, com o emprego de tecnologias cada vez mais avançadas, contribui para o aumento de eficiência do trabalho realizado. No contexto da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos, esses avanços podem ser observados nas máquinas para aplicação à taxa variável, as quais fazem uso de tecnologia embarcada.

Entretanto, observa-se na prática que a execução da operação ainda é negligenciada pelos gestores das propriedades agrícolas, essencialmente na cafeicultura. Devido às características físicas do cafeeiro, existem algumas peculiaridades que devem ser consideradas para que a aplicação seja realizada de forma efetiva. A forma com que o fertilizante é aplicado sob o cafeeiro é um ponto a ser observado. Em alguns casos a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro, contemplando a dose total recomendada. De outra maneira, a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro, com a máquina regulada para aplicar metade da dose recomendada em cada lado.

Os dois fatores principais envolvidos nessa conjuntura são a capacidade de trabalho da máquina e a efetividade da aplicação, em termos de aproveitamento de nutrientes pela planta. Na situação onde a máquina aplica o produto apenas de um lado do cafeeiro, sua capacidade de trabalho é maior, podendo realizar a operação em menos tempo e de forma mais econômica. Todavia, a uniformidade de distribuição do fertilizante pode ser comprometida, devido a uma maior concentração do produto em um lado da planta. Ao realizar a aplicação dos dois lados do

cafeeiro, a chance da distribuição ser mais uniforme é maior. Por outro lado, a capacidade de trabalho da máquina é menor nessa condição.

Com relação à avaliação da uniformidade de distribuição de fertilizantes e corretivos realizada por máquinas que possuem mecanismo distribuidor centrífugo, a norma ISO 5690/1 apresenta uma metodologia para caracterização dos perfis de distribuição transversal e longitudinal. Porém, a norma prevê a realização do ensaio em locais abertos, sem qualquer impedimento físico à trajetória das partículas de fertilizante, situação essa que não é observada na cafeicultura, onde os galhos e folhas do cafeeiro interceptam o fertilizante.

Nesse contexto, identifica-se a necessidade de desenvolvimento de trabalhos que visem avaliar o desempenho das máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura, levando em consideração a dinâmica operacional e a interação máquina-planta.

Dado o exposto, objetivou-se no presente trabalho:

- a) Propor um método para avaliação da distribuição transversal de fertilizantes na cafeicultura, tendo como base na norma ISO 5690/1;
- b) Caracterizar o perfil de distribuição de fertilizante em diferentes formas de trabalho, doses de produto e rotações dos discos distribuidores;
- c) Avaliar os parâmetros de desempenho do conjunto mecanizado em duas formas trabalho distintas, variando o trajeto do conjunto mecanizado na lavoura;
- d) Realizar uma análise econômica da operação em função da forma de trabalho do conjunto mecanizado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Contexto econômico da cafeicultura

A cafeicultura é uma atividade econômica de grande importância para o Brasil, sobretudo para o estado de Minas Gerais, que é o principal produtor (CARVALHO et al., 2013). Sendo um dos principais produtos de exportações brasileiras, o café agrega considerável volume de recursos à balança comercial nacional, com relevante influência nos aspectos sociais, econômicos e no agronegócio do país (ROCHA et al., 2016).

A produção de café está presente em grande parte do território nacional, possuindo uma área plantada estimada de 2,20 milhões de hectares, sendo que 80% dessa área (1,78 milhão de hectares) são de café arábica. O estado de Minas Gerais concentra 69% da área ocupada com café arábica, em nível nacional. As lavouras cafeeiras estão difundidas pelo território mineiro, com destaque para as regiões Sul e Centro-Oeste. O segundo levantamento da safra de 2018, aponta para uma produção nacional de 58,04 milhões de sacas (60 kg) de café beneficiado, gerando uma receita bruta de mais de 23 bilhões de reais (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2018).

Por se tratar de uma commodity e ter seu preço atrelado ao dólar, o café sofre com as variações de cotações do mercado, ficando o produtor muito susceptível às flutuações de preço do produto, que são afetadas pela produção, consumo e estoques mundiais (CASTRO JÚNIOR, 2002). Nesse sentido, destaca-se a importância do uso da tecnologia disponível, tendo como exemplo a mecanização, a fim de obterem-se menores custos de produção e, conseqüentemente, maior lucro para a atividade, mesmo em períodos de baixos preços do produto. Podendo, dessa forma, garantir retorno financeiro ao produtor e a manutenção do Brasil no cenário internacional como maior país produtor e exportador de café (SILVA, 2004).

2.2 Mecanização e novas tecnologias aplicadas na cafeicultura

O surgimento das máquinas e implementos para a agricultura no século XIX possibilitou ganhos de produtividade agrícola e do trabalho, mudando definitivamente a trajetória das técnicas de produção e elevando a oferta de produtos agrícolas no mundo, além de alterar a necessidade de envolvimento de mão de obra na produção agrícola. Desde essa época, a evolução técnica do setor foi constante e gerou crescente oferta de equipamentos que utilizam

tecnologias cada vez mais avançadas, contribuindo para o aumento da produtividade no campo (VIAN et al., 2013).

Devido ao fato do café apresentar custos de produção elevados, uma das opções da cafeicultura moderna é a otimização do sistema de produção. Nesse cenário, a mecanização na cafeicultura vem se intensificando, pois esse processo possibilita o aumento da capacidade operacional e redução dos custos de produção (SANTINATO et al., 2014).

Segundo Matiello, Almeida e Garcia (2013), o uso adequado do maquinário agrícola possibilita a execução do trabalho de forma mais ágil, devido ao maior rendimento dos equipamentos, representando uma maior redução dos custos de produção. Quando se trata de uso adequado do maquinário, abrange-se não somente a correta regulagem e manutenção dos equipamentos, mas também o treinamento dos operadores e o dimensionamento do maquinário de acordo com a propriedade e com as diversas atividades a serem realizadas, permitindo investimento racional dos recursos.

De acordo com Vasconcelos, Silva e Silva (2013), para atender às necessidades do mercado e ao requerimento de elevada eficiência nas operações, a mecanização tende à modernização, utilizando máquinas e implementos agrícolas mais eficientes e que proporcionam maior agilidade aos trabalhos a serem realizados, tornando-se incrementos de lucratividade para os empreendimentos rurais. Ademais, Avelar e Silva (2012) afirmam que a mecanização soma-se a um conjunto de fatores tecnológicos que permitem a condução de lavouras de forma adequada, visando basicamente a qualidade da bebida, altas produtividades e sustentabilidade da produção.

Nesse cenário, as máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variável têm ganhado espaço, possibilitando a realização da aplicação localizada conforme a necessidade da cultura e do solo. Para desenvolvimento dessas máquinas, é fundamental o estudo de seus mecanismos e a avaliação de seu desempenho operacional, de acordo com o objetivo específico, levando em consideração a cultura que se pretende manejar. Além disso, devem ser realizadas pesquisas acerca da tecnologia de aplicação variável, a fim de aperfeiçoar e adaptar essas máquinas para sua utilização como um sistema controlado de aplicação.

De acordo com Mialhe (1996), essas máquinas possuem um chassi, que sustenta toda máquina, um depósito ou reservatório, mecanismo dosador e mecanismo distribuidor do produto sólido. Segundo Farret (2005), os mecanismos distribuidores podem ser classificados em função do princípio utilizado no lançamento do produto no solo, em queda livre (gravitacional), força centrífuga (centrífugo) e inércia (pendular). Baio, Molin e Leal (2012) afirmam que as máquinas com mecanismo distribuidor centrífugo predominam na aplicação de

produtos sólidos na agricultura, por apresentarem grande capacidade de campo operacional e pela grande amplitude de dosagens que são capazes de aplicar.

Monico (2000) destaca que as máquinas e equipamentos para aplicação à taxa variável utilizam essencialmente três tecnologias: GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite), SIG (Sistema de Informações Geográficas) e VRT (Tecnologia de Aplicação Variável). Segundo o autor, o GNSS possibilita a localização e a orientação das máquinas em qualquer lugar do campo, enquanto o equipamento VRT, integrado ao GNSS e SIG, enseja a aplicação de insumos de forma localizada.

Barros et al. (2015) e Serrano et al. (2007) realizaram avaliações estáticas e dinâmicas com máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variável. As máquinas eram dotadas de mecanismo distribuidor centrífugo e sistema de controle que alterava a taxa de aplicação. Foi observada a capacidade das máquinas para se autorregularem perante variações na velocidade de avanço e nas doses de produto, em função da posição georreferenciada em parcelas; além de ser verificado o comportamento do perfil de distribuição. Ambos estudos justificaram a utilização dos sistemas de controle para aplicação à taxa variável.

2.3 Uniformidade de distribuição de fertilizantes e corretivos

A uniformidade de distribuição é um dos critérios mais importantes de desempenho das máquinas para aplicação de fertilizantes (SRISTAVA et al., 1993). Nesse sentido, Baio, Molin e Leal (2012) afirmam que dentre os ensaios que têm sido realizados para caracterizar o desempenho das máquinas que possuem mecanismo distribuidor centrífugo, o ensaio de uniformidade de distribuição transversal pode ser considerado um dos mais trabalhosos, demandando maior quantidade de tempo, tanto na coleta de dados quanto na análise dos resultados.

Na prática, a distribuição irregular de fertilizantes e corretivos é devido às variações que ocorrem durante a aplicação, sendo essas mecânicas ou relacionadas às características físicas do produto. Segundo Farret et al. (2008), os fatores que afetam a distância horizontal de lançamento dos produtos são o tamanho da partícula, densidade, forma e padronização do fertilizante ou corretivo, além da velocidade de rotação, diâmetro e altura dos discos distribuidores e do formato e ângulo das aletas, no caso dos distribuidores centrífugos. Outros fatores que devem ser observados são a declividade do terreno e a direção e velocidade do vento.

Silva (1982) verificou que quanto menor a rotação do disco, menor é a largura da faixa de aplicação, além de ocorrer maior concentração de fertilizante nas proximidades do disco. Isso acontece devido ao fato da redução da rotação afetar diretamente a velocidade de abandono das partículas nas aletas. O autor afirma, ainda, que o efeito sofrido pela cultura devido à desuniformidade de distribuição de fertilizantes depende da dose de produto aplicada, da fertilidade do solo, do tipo de cultivo e do tipo de fertilizante utilizado.

A avaliação da distribuição transversal, bem como da longitudinal, pode ser feita tanto em ambientes fechados quanto abertos, sendo necessário a caracterização das condições ambientais (FARRET, 2005). Entretanto, essas avaliações são realizadas em uma condição sem qualquer impedimento físico (como a presença de plantas) durante o trajeto parabólico de queda das partículas de fertilizante até o solo. Esta problemática envolve a possível redução da largura efetiva total da faixa de aplicação em culturas já instaladas, devido uma maior variação no perfil de distribuição (BAIO; MOLIN; LEAL, 2012).

A norma ISO 5690/1, descrita por Mialhe (1996), apresenta um método padronizado para se avaliar o trabalho das máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos. A norma define termos, estabelece as condições e os procedimentos de ensaio, assim como a maneira de relatar os resultados. O coeficiente de variação (CV) é um dos parâmetros utilizados para avaliar a uniformidade de distribuição. Alguns autores apresentam valores de referência do CV de modo a classificar o perfil de distribuição de fertilizantes. Para Valdez (1978), um perfil de distribuição com coeficiente de variação abaixo de 33% é suficientemente uniforme, o que não chega a afetar significativamente o rendimento da cultura. De forma mais específica, considera-se como grau de uniformidade de distribuição muito bom um CV até 10%, bom até 20%, regular até 33% e pobre acima de 33% (WEISS, 1986).

Farret et al. (2008) analisaram o perfil de distribuição transversal, variando a regulagem dos distribuidores centrífugos, o produto, a abertura de comporta e a posição das aletas. Os autores notaram que o aumento da vazão e o adiantamento da posição das aletas possibilitaram uma maior capacidade de campo operacional ao conjunto mecanizado devido à possibilidade de operar com maior largura útil de aplicação e maior velocidade de deslocamento.

Baio, Molin e Leal (2012) compararam a distribuição transversal de fertilizantes sólidos aplicados em cobertura nas culturas de milho, soja e algodão, utilizando máquinas de aplicação com mecanismo distribuidor centrífugo. Os coletores foram dispostos nas entrelinhas das culturas, de forma transversal em relação ao deslocamento da máquina. Os autores puderam concluir que, no caso do milho e algodão, a distribuição transversal de fertilizantes foi afetada

pela altura da planta, ou seja, pelo estágio fenológico que a cultura se encontrava. Já para cultura da soja, a distribuição não foi afetada.

No âmbito da cafeicultura, Barros et al. (2016) avaliaram o desempenho de um sistema para aplicação de fertilizantes à taxa variável, aplicando dois produtos simultaneamente. Foi avaliada a distribuição transversal e quantificadas as variações entre as doses programadas e aplicadas; além da avaliação da distribuição longitudinal, buscando a determinação das características de distribuição do equipamento ao longo da linha de deslocamento. Variações de dose, velocidade e tipo produto aplicado não interferiram na precisão de aplicação do sistema, validando o uso do controlador sob diferentes condições.

2.4 Morfologia do sistema radicular do cafeeiro e sua relação com a aplicação de fertilizantes

O conhecimento da distribuição do sistema radicular do cafeeiro é de grande importância para o manejo da lavoura, já que raízes bem desenvolvidas podem promover melhor absorção e aproveitamento de água, nutrientes, fungicidas e inseticidas, sendo capaz de influenciar diretamente a produtividade da planta e a tolerância ao déficit hídrico (CARVALHO et al., 2008; PARTELLI et al., 2014).

A identificação da forma correta de aplicação de fertilizantes na cafeicultura está intrinsecamente associada à distribuição do sistema radicular do cafeeiro, daí a razão dos fertilizantes serem aplicados de forma localizada, na linha de plantio. Dessa maneira, além de estudar o perfil de distribuição transversal de fertilizantes, o mesmo deve ser relacionado com o local onde ocorre a concentração das raízes do cafeeiro com maior potencial de absorção de nutrientes, visando o melhor aproveitamento desse insumo.

Embora o sistema radicular do cafeeiro tenha suas características de desenvolvimento ligadas primordialmente à genética da planta, outros fatores também podem modificar sua distribuição espacial, como a quantidade de água no solo (FRANCO; INFORZATO, 1946), a disponibilização de nutrientes às plantas (AMARAL, 2002) e o tipo e estrutura do solo (CARDUCI et al, 2014).

Segundo Rena e Guimarães (2000) as raízes do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) apresentam extensão lateral máxima de 1,0 m, sendo que aproximadamente 75% concentram-se na projeção da copa (MOTTA et al., 2006). Esse comportamento coincide com o observado por Inforzato e Reis (1963), em que o sistema radicular dos cafeeiros das variedades Mundo Novo e Bourbon Amarelo, em sua grande maioria, não ultrapassou 0,75 m de distância do ramo

ortotrópico principal. De modo semelhante, Ronchi et al. (2015), ao avaliarem a morfologia radicular de quatro variedades de cafeeiro arábica submetidas a cinco arranjos espaciais, variando o espaçamento entre plantas, concluíram que a maior extensão do sistema radicular e, também, a sua qualidade ocorrem nas imediações do ramo ortotrópico.

Motta et al. (2006) realizaram um trabalho no intuito de avaliar a distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro arábica. Os autores concluíram que havia grande influência do local de adubação nos parâmetros químicos do solo, no crescimento e na distribuição do sistema radicular e, com base nas informações adquiridas, os autores recomendaram a alteração do local de aplicação de fertilizantes, que antes era feita em uma faixa próxima à projeção do dossel, para a área sob o dossel do cafeeiro, onde se concentram as raízes.

2.5 Desempenho operacional das máquinas agrícolas

A lucratividade de uma propriedade agrícola ou determinada cultura depende de uma coordenação correta dos trabalhos executados. Por isso, naquelas mecanizadas, o monitoramento do trabalho realizado pelas máquinas e implementos agrícolas merece grande atenção (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006). A capacidade de uma máquina em desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em um ambiente qualquer, é um critério importante que afeta o seu gerenciamento (TAYLOR; SCHROCK; STAGGENBORG, 2002).

De modo a se obter uma maior rentabilidade no campo, as operações agrícolas devem ser planejadas de forma racional, sendo o conhecimento dos parâmetros de desempenho um fator importante na tomada de decisões (TOLEDO et al., 2010). Dessa forma, o desempenho operacional é entendido como um complexo conjunto de informações que definem, em termos quali-quantitativos, os atributos de uma máquina, quando são executadas operações sob determinadas condições (FOLLE; FRANZ, 1990).

De acordo com Mialhe (1974), em posse das dimensões dos órgãos ativos das máquinas e implementos utilizados e do intervalo de tempo considerado para as avaliações, torna-se possível a obtenção de três tipos de capacidades de campo: a capacidade de campo teórica, a capacidade de campo efetiva e a capacidade de campo operacional.

A capacidade de campo teórica representa o potencial máximo da máquina em realizar trabalho. Essa capacidade é obtida considerando como se a máquina trabalhasse, em 100% do tempo, na velocidade ideal para operação e com sua largura de trabalho nominal (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE, 2001). Por

outro lado, não é possível atingir as condições de trabalho ideais consideradas na capacidade de campo teórica. Desse modo, surge a capacidade de campo efetiva, a qual representa a capacidade efetivamente demonstrada pela máquina em campo, ou seja, a capacidade medida durante a operação, em um certo intervalo de tempo. A capacidade de campo efetiva diferencia-se da capacidade de campo teórica devido ao efeito das variações como sobreposição de passadas e velocidades inferiores àquelas que, teoricamente, a máquina poderia desenvolver (SILVA, 2004). Já a capacidade de campo operacional considera, ainda, os tempos gastos com manobras e atividades auxiliares à execução das operações. Dessa forma, a capacidade de campo operacional consegue refletir a influência de todos esses parâmetros (CUNHA, 2015) e é capaz de representar o desempenho das máquinas de forma mais exata em relação à realidade do campo.

Nesse contexto, Cunha (2015) destaca que o desempenho das operações mecanizadas é um dos grandes entraves na cafeicultura, devido às variações no porte das plantas de café em uma mesma área. Outro fator preponderante para a queda no desempenho das operações é a diversidade de talhões, apresentando diferentes geometrias e tamanhos, tendo influência direta sobre o tempo de manobras.

Silveira, Yanai e Kurachi (2006), realizaram um trabalho visando determinar a capacidade e a eficiência de campo de máquinas e implementos utilizados na cultura do milho. Foram avaliadas as operações convencionais de aração, gradagem, semeadura e cultivo. Os autores verificaram que a eficiência média obtida nas determinações realizadas durante a execução das operações foi considerada baixa, devido às condições de solo, tamanho de talhões e o uso de velocidades aquém das citadas como ideais para cada operação.

Cunha, Silva e Dias (2016), em estudo realizado para determinar os parâmetros de desempenho de conjuntos mecanizados utilizados nas diferentes operações da lavoura cafeeira, concluíram que a capacidade de campo efetiva e tempo demandado apresentaram alta correlação com a velocidade operacional dos conjuntos mecanizados, demonstrando a influência da velocidade sobre o desempenho das máquinas. Os autores constataram ainda que a eficiência de campo torna-se maior à medida que o comprimento das entrelinhas do talhão aumenta, devido ao número reduzido de manobras.

2.6 Custos das operações mecanizadas

A atividade fundamental de uma propriedade agrícola é a produção e seu principal objetivo deve ser a maximização do lucro, sendo que o proprietário deve alocar recursos

produtivos como trabalho, máquinas, equipamentos e insumos, de forma a minimizar o custo de produção (MOCHÓN; TROSTER, 1994).

Segundo Pelloia e Milan (2010), a mecanização agrícola no Brasil representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo, chegando a ser o segundo fator de produção mais importante, sendo inferior apenas à posse da terra. Ainda, Centeno e Kaercher (2010) relatam que os custos referentes à mecanização das operações agrícolas, nas diferentes culturas, representam entre 10 e 30% dos custos totais de produção, demonstrando a importância da escolha do equipamento mais adequado para o processo produtivo.

De acordo com Mialhe (1974), os custos das máquinas e equipamentos são agrupados em duas categorias, os custos fixos e os custos variáveis. Em geral, custos fixos são associados à propriedade das máquinas e incluem os seguintes itens: depreciação, juros sobre o capital investido, seguro e alojamento. Já os custos variáveis referem-se aos custos decorrentes da utilização da máquina ou equipamento, os quais compreendem os gastos com combustíveis, lubrificantes, reparos, manutenção e mão de obra (BALASTREIRE, 1990; JASPER; SILVA, 2013).

Nesse âmbito, Silva et al. (2013) apresentam uma metodologia de cálculo do custo horário das operações mecanizadas na cafeicultura. O custo horário pode ser relacionado com a capacidade de trabalho das máquinas e equipamentos, para obtenção do custo operacional (MILAN, 2004). De maneira geral, é por meio deste parâmetro que se consegue realizar a comparação entre diferentes sistemas mecanizados (CUNHA, 2015).

Cunha et al. (2016) realizaram um estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura e notaram que a depreciação foi o fator que teve maior impacto sobre os custos fixos, enquanto que o combustível foi o principal componente entre os custos variáveis. Os autores concluíram que todas as operações mecanizadas se mostraram viáveis tanto tecnicamente quanto economicamente, exceto as operações de enleiramento e recolhimento, por apresentarem custos improdutivos superiores aos custos produtivos.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J.F.T. **Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica**. 2002. 97p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE standards 2001: machinery, equipment, and buildings: operating costs**. Ames: American Society of Agricultural Engineers, 2001.
- AVELAR, R. C.; SILVA, F. M. Dimensionamento e gerenciamento de frota para propriedades cafeeiras. In: SIMPÓSIO MECANIZAÇÃO DA LAVOURA CAFEIEIRA, 2012, Três Pontas. **Anais...** Três Pontas: Editora UFLA, 2012. p. 6-15.
- BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em cobertura em culturas anuais instaladas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, 2012.
- BALASTREIRE, L., A. **Máquinas agrícolas**. Barueri: Manole, 1990.
- BARROS, M. M. et al. Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 223-232, 2015.
- BARROS, M. M. et al. Performance of a variable-rate distribution system for simultaneous fertilizer application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 188-192, 2016.
- CARDUCCI, C. E. et al. Distribuição espacial das raízes de cafeeiro e dos poros de dois Latossolos sob manejo conservacionista. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 270-278, 2014.
- CARVALHO, L. C. C. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e características agronômicas da cultura do café. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 265-275, 2013.
- CARVALHO, M. et al. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 2, p. 108-114, 2008.
- CASTRO JÚNIOR, C. **Mercados de derivativos agropecuários: futuros, opções e CPR**. Lavras: UFLA, 2002.
- CENTENO, A. S.; KAERCHER, D. Custo operacional das máquinas agrícolas. **Agrianual**, São Paulo, v. 15, p. 113-116, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Segundo levantamento, maio de 2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cafes>>. Acesso em: 1 de agosto de 2018.

CUNHA, J. P. B. **Análise Técnica e Econômica da Mecanização na Cafeicultura**. 2015. 102p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

CUNHA, J. P. B. et al. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 87-96, 2016.

CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M.; DIAS, R. E. B. A. Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 76-86, 2016.

FARRET, I. S. **Efeito da variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos**. 2005. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FARRET, I. S. et al. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1886-1892, 2008.

FOLLE, S.; FRANZ, C. A. B. **Trator agrícola: características e fundamentos para sua seleção**. Planaltina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. 1990. 24p.

FRANCO, C. M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 6, n. 9, p. 444-478, 1946.

INFORZATO, R.; REIS, A.J. Estudo comparativo do sistema radicular dos cafeeiros Bourbon Amarelo e Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v.22, n.59, p.742-750, 1963.

JASPER, S. P.; SILVA, R. A. P. Estudo comparativo do custo operacional horário da mecanização agrícola utilizando duas metodologias para o estado de São Paulo. **Nucleus**, Ituverava, v. 10, n. 2, 2013.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; GARCIA, A. W. R. **Mecanização em cafezais**. Varginha: Procafé, 2013.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. Agronômica Ceres São Paulo, 1974.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios & certificação**. São Paulo: Shekinah, 1996. 722p.

MILAN, M. **Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas**. 2004. 100p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MOCHÓN, F., TROSTER, R.L. **Introdução à Economia**. São Paulo: Makron Books, 1994. 391p.

MONICO, J. **Posicionamento Pelo NA VSTARGPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Editora Unesp, 2000. 287p.

- MOTTA, A. C. V. et al. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 455-463, 2006.
- PARTELLI, F. L. et al. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 5, p. 349-355, 2014.
- PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.
- RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro**: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p.
- ROCHA, H. G. et al. Mapeamento da produtividade do cafeeiro a partir de modelos matemáticos de previsão de safra. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 108-116, 2016.
- RONCHI, C. P. et al. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 187-195, 2015.
- SANTINATO, F. et al. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.
- SERRANO, J. M. et al. Avaliação de um distribuidor centrífugo de adubo na perspectiva de utilização em agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, Évora, v. 30, n. 1, p. 79-86, 2007.
- SILVA, F. M. **Colheita mecanizada e seletiva do café**. Cafeicultura Empresarial: produtividade e qualidade. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. p. 1-75.
- SILVA, F. M. et al. Viabilidade técnica e econômica da colheita mecanizada do café. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 98-101, 2013.
- SILVA, P. E. H. **Capacidade de trabalho e uniformidade de distribuição de dois distribuidores centrífugos de fertilizantes**. 1982. 182 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1982.
- SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, 2006.
- SRIVASTAVA, A. K. et al. Engineering principles of agricultural machines. **Mich. American society of agricultural engineers**, St. Joseph, n. 631.3/S774, 1993.
- TAYLOR, R. K.; SCHROCK, M. D.; STAGGENBORG, S. A. **Extracting machinery management information from GPS data**. In ASAE Annual Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2002. p.1.

TOLEDO, A. et al. Comportamento espacial da demanda energética em semeadura de amendoim em Latossolo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 12, n. 30, p. 459-467, 2010.

VALDEZ, E. Determinacion y estudio de los perfiles de distribuicion de superfosfato, hiperfosfato y urea granulados, aplicados com la fertilizadora centrifuga. **Agrinter**, Montevideo, v. 14, n. 4, p. 1-42, 1978.

VASCONCELOS, K. S. L.; SILVA, T. J. J.; SILVA MELO, S. R. Mecanização da agricultura: demanda por tratores de rodas e máquinas agrícolas nos estados da região Nordeste. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 6, n. 2, p. 207, 2013.

VIAN, C. E. D. F. et al. Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 51, n. 4, p. 719-744, 2013.

WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. 1986. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1986.

CAPÍTULO 2

Caracterização da distribuição transversal de fertilizante na cafeicultura

RESUMO

Objetivou-se no presente capítulo avaliar a distribuição transversal de fertilizante realizada por uma máquina com mecanismo distribuidor centrífugo, na cultura do café, por meio de uma adaptação da metodologia apresentada na norma ISO 5690/1. Objetivou-se, ainda, realizar uma comparação entre duas formas de trabalho da máquina, em que é realizada a aplicação de um lado (FA1) ou dos dois lados (FA2) do cafeeiro. O experimento foi realizado em uma lavoura cafeeira pertencente à Fazenda Samambaia, localizada no município de Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brasil. Além das duas formas de trabalho (FA1 e FA2), foram avaliadas três doses (200, 300 e 400 kg·ha⁻¹) de mono-amônio-fosfato (MAP) e três rotações dos discos distribuidores (240, 375 e 750 rpm). Para caracterização do perfil de distribuição transversal de fertilizante, foram dispostos coletores sob o dossel do cafeeiro e o fertilizante coletado foi pesado. Com base nos dados, foram montados histogramas do perfil de distribuição e calculados os coeficientes de variação para cada condição estudada. As condições mais satisfatórias, em termos de uniformidade do perfil, foram relacionadas com características morfológicas do cafeeiro. Concluiu-se que o método proposto para avaliação da distribuição transversal se mostrou prática e eficiente no cumprimento de seu propósito. Em relação às formas de trabalho avaliadas, a FA1 apresentou melhor resultado na rotação de 750 rpm dos discos distribuidores, enquanto que para FA2 a rotação de 240 rpm nos discos foi a melhor. Ao relacionar o comportamento do perfil de distribuição com informações acerca da morfologia do sistema radicular, a forma de trabalho FA1 com rotação dos discos de 750 rpm foi a mais adequada para atender às necessidades do cafeeiro.

Palavras-chave: Distribuidor centrífugo. *Coffea arabica* L.. Ensaio de máquinas.

ABSTRACT

The objective of this chapter was to evaluate the transversal distribution uniformity of fertilizer in the coffee cultivation, carried out by a machine with centrifugal distribution mechanism. The evaluation was performed through an adaptation of the methodology presented in the ISO 5690/1 standard. Another objective of this work was to compare two operation methods, with application performed on one side (FA1) or on both sides (FA2) of the coffee plants. The experiment was carried out in a coffee cultivation area belonging to Fazenda Samambaia, located in the municipality of Santo Antônio do Amparo, Minas Gerais, Brazil. In addition to the two operation methods (FA1 and FA2), three product doses (200, 300 and 400 kg·ha⁻¹) and three rotational speeds of the discs (240, 375 and 750 rpm) were evaluated. For characterization of the transversal distribution profile, collectors were placed under the coffee canopy and the fertilizer collected was weighed. Based on the data, it was created histograms of the distribution profiles and it was calculated the coefficients of variation for each condition studied. The most satisfactory conditions, in terms of profile uniformity, were related to the morphological characteristics of the coffee plant. It was concluded that the method proposed to evaluate the transversal distribution uniformity proved to be practical and efficient in the fulfillment of its purpose. In relation to the operation methods, FA1 presented the best results in the rotational speed of 750 rpm in the discs, whereas the rotational speed of 240 rpm was the best for FA2. Taking into consideration the morphology of the root system, the operation method FA1 with the rotational speed of 750 rpm in the discs was the most satisfactory to meet the needs of the coffee plant.

Keywords: Centrifugal spreader. *Coffea arabica* L.. Machine testing.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura com processo de produção complexo, onde as operações de manejo da lavoura apresentam elevado custo. Além de que a eficácia com que as operações são realizadas influencia diretamente na produtividade do cafeeiro e na qualidade do produto final, tendo relação direta com o retorno financeiro do empreendimento (MOLIN et al., 2010).

No âmbito da aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura, estudos constataram que a interpretação da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, com a geração de mapas de recomendação para aplicação à taxa variável (ATV), proporcionou um aumento de eficiência no uso dos insumos agrícolas (FERRAZ et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2008). Entretanto, para realizar a ATV de forma efetiva e viável, é necessário o desenvolvimento de equipamentos e determinação de parâmetros de avaliação específicos de modo a atender às peculiaridades da cultura (BARROS et al., 2015). De forma semelhante, Machado et al. (2015) afirmam que ainda não está disseminado o conhecimento sobre a qualidade operacional das máquinas para ATV.

Com relação aos métodos de avaliação dessas máquinas, no caso das que possuem mecanismo distribuidor centrífugo, a uniformidade de distribuição se destaca como o principal indicador qualitativo da operação. Nesse contexto, a metodologia mais utilizada para realização dessas avaliações segue a norma ISO 5690/1, descrita por Mialhe (1996), que trata do ensaio e certificação das máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos. Porém, conhecer a dinâmica da operação de aplicação é um processo complexo. Por ser realizado em espaço aberto, o ensaio não leva em consideração o choque das partículas com os galhos e folhas da cultura (BAIO; MOLIN; LEAL, 2012) e também não tem em vista a presença de defletores na saída dos discos para direcionamento do fertilizante, os quais são bastante utilizados na cafeicultura.

O estudo da região mais adequada para aplicação do fertilizante é um fator importante a ser considerado na cafeicultura, pois não existe um consenso a respeito do local correto, onde o insumo seria melhor aproveitado pela planta. Dessa forma, o conhecimento da morfologia do sistema radicular do cafeeiro se torna uma referência. Na literatura, encontra-se trabalhos que, ao avaliarem a distribuição do sistema radicular, recomendam a aplicação de fertilizantes na região sob o dossel do cafeeiro, próximo ao ramo ortotrópico (MOTTA et al., 2006), local com maior concentração e qualidade de raízes (RONCHI et al., 2015).

Nota-se que, ao avaliar as máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos, há um conjunto de aspectos que devem ser analisados, considerando não somente a operacionalidade

do equipamento, mas também fatores externos que influenciam no seu desempenho. Alguns estudos vêm sendo realizados no intuito de desenvolver e avaliar máquinas dedicadas à ATV. Especificamente para cafeicultura, encontram-se na literatura apenas dois trabalhos nesse sentido, desenvolvidos por Barros et al. (2015; 2016). No entanto, esses autores realizaram as avaliações da máquina seguindo as diretrizes da norma 5690/1, não levando em consideração as ressalvas apresentadas anteriormente.

Devido ao cafeeiro ser uma planta arbustiva, as máquinas trafegam na entrelinha e aplicam o produto lateralmente, sob a planta. Em alguns casos, a máquina aplica a dose total recomendada de fertilizante e trafega apenas de um lado do cafeeiro e, em outros casos, a máquina trafega dos dois lados do cafeeiro, aplicando metade da dose recomendada. A forma de trabalho varia de acordo com a propriedade e métodos de manejo da cultura, podendo afetar significativamente o desempenho da máquina.

Nesse sentido, identifica-se a necessidade de desenvolvimento de trabalhos visando avaliar as máquinas para aplicação de fertilizantes e corretivos, de modo a determinar o perfil de distribuição dos insumos, levando em consideração a dinâmica da operação em campo, as diferentes formas de trabalho e regulagens da máquina, a interação máquina-planta e demais fatores que afetam a aplicação de produto no cafeeiro.

Diante do exposto, objetivou-se no presente capítulo avaliar, em campo, o trabalho realizado por uma máquina para ATV na cafeicultura, com relação ao perfil de distribuição transversal, por meio de uma adaptação da metodologia apresentada na norma. Objetivou-se, ainda, comparar duas formas de trabalho da máquina, com a aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro, ou dos dois lados, considerando diferentes doses de produto e rotações dos discos distribuidores.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área dos ensaios

O experimento foi realizado na fazenda Samambaia, localizada no município de Santo Antônio do Amparo, sul de Minas Gerais, Brasil, em um talhão de 3 hectares de lavoura cafeeira (*Coffea arabica* L.) da cultivar Acaiaá 479-19, com coordenadas geográficas de 20° 58' 10" S e 44° 53' 35" W. O sistema de manejo da área é adaptado à mecanização, sendo que a largura dos carregadores é de 7 m, o espaçamento entre linhas é de 3,6 m e entre plantas de 0,8 m, além de apresentar relevo plano.

A altura e diâmetro da seção inferior do dossel do cafeeiro foram mensurados em todos os pontos amostrais, além de cada ponto ser demarcado, com o uso de um receptor GNSS, para planejamento e acompanhamento do experimento. Com base nas medições no cafeeiro, constatou-se que a média de altura da seção inferior do dossel foi de 0,41 m e seu diâmetro médio foi de 1,58 m.

2.2 Especificações do conjunto mecanizado

No presente trabalho foi avaliada uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos (FIGURA 2.1), equipada com um sistema de aplicação à taxa variável, adaptado por Barros et al. (2016).

Figura 2.1 - Máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variável.



Fonte: Do autor (2018).

A máquina é dotada de acoplamento semi-montado e possui um volume de carga de 1,2 m³, comprimento de 3,36 m, altura de 1,40 m e largura total de 2,15 m, considerando os defletores. O reservatório de fertilizantes possui uma divisão central que possibilita o carregamento com dois produtos diferentes de forma simultânea. A máquina possui duas esteiras independentes e comportas de regulação manual, que compõem o mecanismo dosador de produto. A taxa de aplicação é alterada em função da variação de velocidade das esteiras, que por sua vez são acionadas por motores hidráulicos. O óleo que chega nos motores vem de uma bomba acionada pela TDP do trator, sendo que a vazão é controlada por válvulas eletro-hidráulicas conectadas ao sistema de controle. O mecanismo distribuidor é composto por dois discos horizontais com diâmetro de 0,3 m, possuindo quatro aletas. Os discos são acionados individualmente por motores hidráulicos alimentados pelo fluxo de óleo do sistema hidráulico do trator, podendo-se variar a velocidade dos motores por meio de uma válvula reguladora de vazão localizada na máquina. A aplicação é direcionada à linha de plantio através de defletores laterais, sendo que a altura da parte externa dos defletores foi fixada em 0,23 m durante todas as avaliações.

A máquina foi tracionada por um trator agrícola da marca Valtra, modelo A750F, com potência nominal de 57,3 kW (78 cv) a 2300 rpm e torque máximo de 297 N·m a 1400 rpm.

Durantes as avaliações o conjunto trabalhou a uma velocidade média de 1,94 m·s⁻¹ (7,0 km·h⁻¹), velocidade usual da fazenda. Ressalta-se que o sistema de controle identifica a velocidade através do receptor GNSS e ajusta a vazão de produto nas esteiras para atingir a taxa de aplicação requerida.

2.3 Caracterização da avaliação

O perfil de distribuição transversal foi avaliado em duas formas de trabalho distintas da máquina. Na primeira forma de trabalho estudada, foi realizada a aplicação apenas de um lado do cafeeiro (FA1) e a máquina foi configurada para aplicar a dose total recomendada. Na segunda forma trabalho, foi realizada a aplicação dos dois lados do cafeeiro (FA2), com a máquina configurada para aplicar metade da dose recomendada em cada lado. Ademais, o perfil de distribuição foi avaliado em função de diferentes rotações dos discos distribuidores e doses recomendadas de fertilizante.

A distância entre cada ponto amostral dentro da linha de plantio foi de 20 m, de modo a garantir que a máquina fosse capaz de alterar e estabilizar a taxa de aplicação, durante o

percurso entre cada ponto. Foram alocados 9 pontos amostrais em cada linha de plantio de cafeeiro, perfazendo 54 pontos em toda a área.

Para fins de padronização, no presente trabalho foi utilizado como referência a orientação cardeal das linhas de plantio para determinação de cada lado da planta, sendo chamado de “lado esquerdo” a face do cafeeiro, ao longo da linha de plantio, voltada para o Sul e “lado direito” a face do cafeeiro voltada para o Norte. Ademais, quando foi realizada a aplicação de fertilizante apenas de um lado do cafeeiro, a máquina se deslocou do lado esquerdo.

A norma ISO 5690/1 apresenta a metodologia para realização do ensaio de caracterização da faixa de distribuição transversal. No presente trabalho foram utilizadas algumas recomendações da norma, outras foram adaptadas para melhor atender às condições específicas da cafeicultura.

Ainda, de acordo com a norma, condições climáticas satisfatórias devem ser observadas no momento de realização das avaliações, como ausência de chuva, umidade relativa do ar inferior a 80% e velocidade do vento inferior a $2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, condições estas atendidas no presente trabalho.

2.4 Coletores utilizados

Na coleta do material aplicado foram utilizadas bandejas com dimensões de $0,5 \times 0,5 \text{ m}$ e profundidade de $0,15 \text{ m}$, de acordo com a norma ISO 5690/1. Por possuírem uma largura muito grande, dificultando a análise da distribuição dos fertilizantes, as bandejas foram divididas ao meio através da colocação de uma divisória de isopor de $0,02 \text{ m}$ de espessura, obtendo-se maior discretização dos dados para uma mesma faixa de aplicação. No intuito de avaliar o efeito da interceptação dos fertilizantes por galhos e folhas, o que acontece com grande frequência na cafeicultura, as bandejas coletoras foram dispostas sob o cafeeiro, de modo a cobrir uma faixa de solo sob a projeção do dossel (FIGURA 2.2).

Foram utilizadas três bandejas pareadas para cada ponto amostral, ou seja, seis coletores de produto com posições numeradas, totalizando $1,5 \text{ m}$ transversalmente à direção de deslocamento da máquina. Seguindo a padronização adotada no trabalho, a numeração dos coletores (1 a 6) foi feita da esquerda para a direita, sendo alocados três coletores de cada lado da planta. Dessa forma, os coletores 3 e 4 cobriram uma faixa de 0 a $0,25 \text{ m}$ do ramo ortotrópico do cafeeiro (ROC), em cada lado da planta; os coletores 2 e 5 cobriram a faixa de $0,25$ a $0,50 \text{ m}$ e os coletores 1 e 6 cobriram a faixa de $0,50$ a $0,75 \text{ m}$.

Figura 2.2 - Bandejas coletoras de fertilizante (0,5 x 0,5 x 0,15 m), conforme norma ISO 5690/1, dispostas sob o dossel do cafeeiro.



Fonte: Do autor (2018).

2.5 Fertilizante utilizado e doses avaliadas

O fertilizante utilizado nas avaliações foi o mono-amônio-fosfato (MAP). No momento de realização da avaliação, amostras do fertilizante foram retiradas para caracterização conforme a metodologia da norma ISO 5690/1, sendo determinadas as seguintes características físicas: ângulo de repouso, granulometria, massa específica e umidade.

Com base no mapa de recomendação gerado pelo agrônomo que presta assistência à fazenda, foram escolhidas três doses para serem avaliadas no experimento, de acordo com a necessidade real da área. Sendo escolhida a dose mínima recomendada ($200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), a dose máxima ($400 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e uma dose intermediária ($300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Para garantir a aleatoriedade da

localização de cada tratamento, foram gerados mapas de recomendação genéricos com a determinação das doses a serem aplicadas em cada ponto amostral, respeitando uma distância de 20 m entre pontos, dentro da linha de plantio. Os mapas genéricos foram criados através do software comercial Farm WorksTM.

2.6 Determinação das rotações avaliadas

Em relação à rotação dos discos distribuidores, foram avaliadas três rotações definidas com base em observações e regulagens práticas em campo. De modo que, na rotação mais baixa escolhida para os discos distribuidores a máquina é capaz de aplicar o fertilizante em uma faixa de até 0,2 m de distância da saída dos defletores, na rotação intermediária a máquina é capaz de aplicar o fertilizante em uma faixa a partir da saída dos defletores até metade do diâmetro da saia do cafeeiro e na rotação mais alta a máquina aplica o fertilizante em uma faixa equivalente ao diâmetro da saia do cafeeiro.

A definição das rotações foi feita de forma estacionária, colocando uma lona sob o cafeeiro, ligando o sistema e observando a distância de lançamento do fertilizante em função da alteração da rotação dos discos. Utilizando-se um tacômetro, foram feitas as leituras das três rotações que atenderam às condições citadas. As rotações definidas foram de 240, 375 e 750 rpm. Essa forma de determinação da rotação adequada, considerando o fator planta, representa um incremento metodológico do presente trabalho.

2.7 Calibração do sistema e coleta das amostras de fertilizantes

O sistema de controle da máquina foi calibrado conforme o procedimento apresentado no manual do fabricante. Com base nos mapas de aplicação genéricos e procedendo com as devidas regulagens da máquina, foi feita a aplicação de fertilizante nas linhas do cafeeiro, realizando a coleta do material com as bandejas e, posteriormente, recolhendo e acondicionando o produto em sacos plásticos, previamente identificados com um código específico para cada tratamento. Os sacos foram mantidos fechados até a pesagem do material no laboratório da UFLA, em balança de precisão com resolução de 0,001 g.

2.8 Análises realizadas

O experimento foi organizado em parcelas subdivididas com delineamento inteiramente casualizado (DIC), onde as variáveis rotação dos discos e forma de trabalho foram casualizadas entre as linhas de plantio de cafeeiro e a variável dose aplicada foi distribuída ao acaso dentro de uma mesma linha de plantio, sendo cada tratamento composto pela interação das três variáveis e contando com três repetições, conforme croqui apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 - Croqui do experimento montado em campo.

		Pontos amostrais									
Linhas de plantio	Lado x Rotações	Doses									
	1	FA2-W1	D2	D1	D1	D3	D3	D3	D2	D1	D2
	2	FA1-W3	D1	D1	D1	D3	D2	D2	D2	D3	D3
	3	FA1-W2	D1	D2	D3	D1	D1	D3	D2	D2	D3
	4	FA1-W1	D1	D2	D2	D3	D2	D3	D1	D3	D1
	5	FA2-W3	D3	D3	D2	D3	D1	D2	D1	D1	D2
6	FA2-W2	D1	D1	D1	D3	D2	D3	D3	D2	D2	

Posições
1
2
3
4
5
6

FA1 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro; W1, W2 e W3 - Rotações de 240, 375 e 750 rpm, respectivamente; D1, D2 e D3 - Doses de 200, 300 e 400 kg-ha⁻¹, respectivamente.

Fonte: Do autor (2018).

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância e, para valores significativos, foi aplicado o teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. As análises foram executadas por meio do programa computacional Sisvar[®] (FERREIRA, 2011).

Baseando-se na relação entre a posição do coletor e a massa de fertilizante recolhido, para cada uma das condições avaliadas, foram construídos histogramas para o perfil de distribuição transversal de fertilizante sob o cafeeiro.

O coeficiente de variação (CV) dos dados foi utilizado como um método de avaliação da uniformidade de distribuição, mas diferentemente do que é recomendado pela norma, onde o CV é fixado em um valor apropriado e a largura efetiva de trabalho é obtida através do CV, no caso desse trabalho a largura da faixa de aplicação foi fixada em 1,5 m e quanto menor o valor de CV encontrado, mais satisfatório foi perfil de distribuição. A largura da faixa foi fixada em 1,5 m porque representa a faixa coberta pelos coletores, além de ser uma medida bem próxima do diâmetro do dossel do cafeeiro. Ademais, foram gerados gráficos de regressão para as condições mais adequadas, tendo como referência o CV do perfil, a fim de comparar o comportamento dos perfis de distribuição.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização física do fertilizante

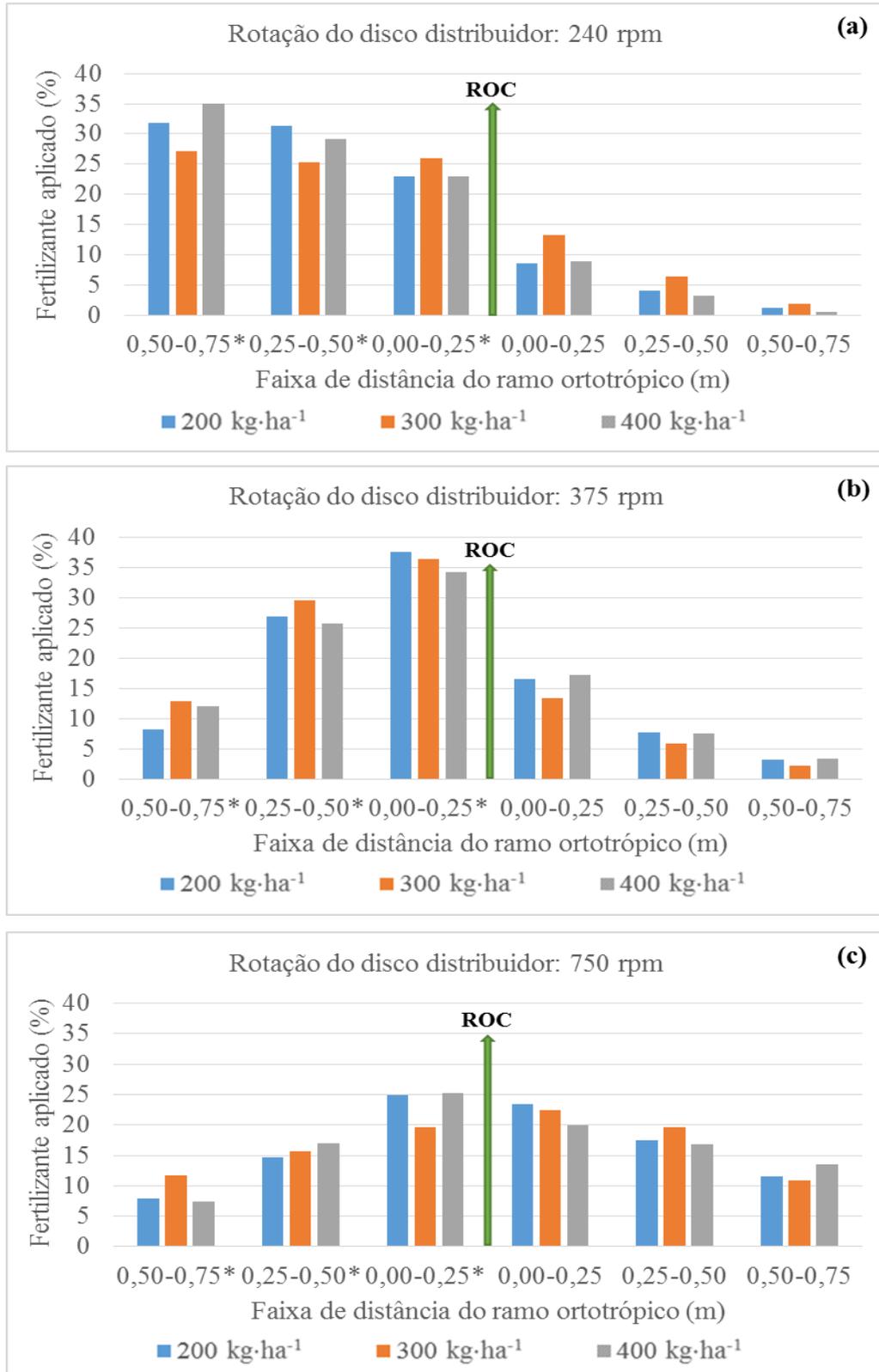
A análise granulométrica do fertilizante demonstrou que 97,12% da amostra possuía diâmetro superior a 1,7 mm, não havendo risco de deriva do material durante a aplicação. O ângulo de repouso do material foi de 35,38°, apresentando boa característica de escoamento; de acordo com a Enciclopédia Agrícola Brasileira (1994 apud MIALHE, 1996). A densidade e a umidade do material foram de 0,99 g·cm⁻³ e 2,55%, respectivamente.

3.2 Perfis de distribuição

No Gráfico 2.1 são apresentados os histogramas dos perfis de distribuição para a forma de trabalho em que a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro (FA1), nas rotações dos discos distribuidores de 240, 375 e 750 rpm. Ao analisar o comportamento do perfil de distribuição de fertilizante em cada rotação avaliada, observa-se que a medida que a rotação dos discos aumenta, há um deslocamento da concentração de fertilizante da esquerda para a direita. Dessa forma, nas rotações de 240 rpm (GRÁFICO 2.1a) e 375 rpm (GRÁFICO 2.1b) ocorre maior acúmulo de produto no lado esquerdo do ramo ortotrópico do cafeeiro (ROC), que foi o lado por onde a máquina trafegou. Isso acontece porque em rotações mais baixas a máquina tende a aplicar o produto em uma faixa de distância reduzida. Por outro lado, na rotação de 750 rpm (GRÁFICO 2.1c), o perfil de distribuição apresentou um equilíbrio na quantidade de fertilizante aplicado em cada lado do cafeeiro, sendo esse mais adequado. Além disso, nota-se que nessa rotação houve maior acúmulo de fertilizante próximo ao ROC.

No Gráfico 2.2 estão apresentados os histogramas do perfil de distribuição para a aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro (FA2). Na rotação de 240 rpm (GRÁFICO 2.2a), ocorre uma distribuição mais uniforme entre as faixas de distância do ROC, apesar de que na faixa mais próxima do ROC é aplicada uma menor quantidade de fertilizante. Quando a rotação dos discos distribuidores aumenta para 375 rpm (GRÁFICO 2.2b), o percentual de fertilizante aplicado em distâncias mais próximas ao ROC se torna maior. Para a rotação de 750 rpm (GRÁFICO 2.2c) a tendência de maior aplicação de fertilizante próximo ao ROC se mantém, porém, identifica-se que o lado direito do cafeeiro recebe maior quantidade de fertilizante.

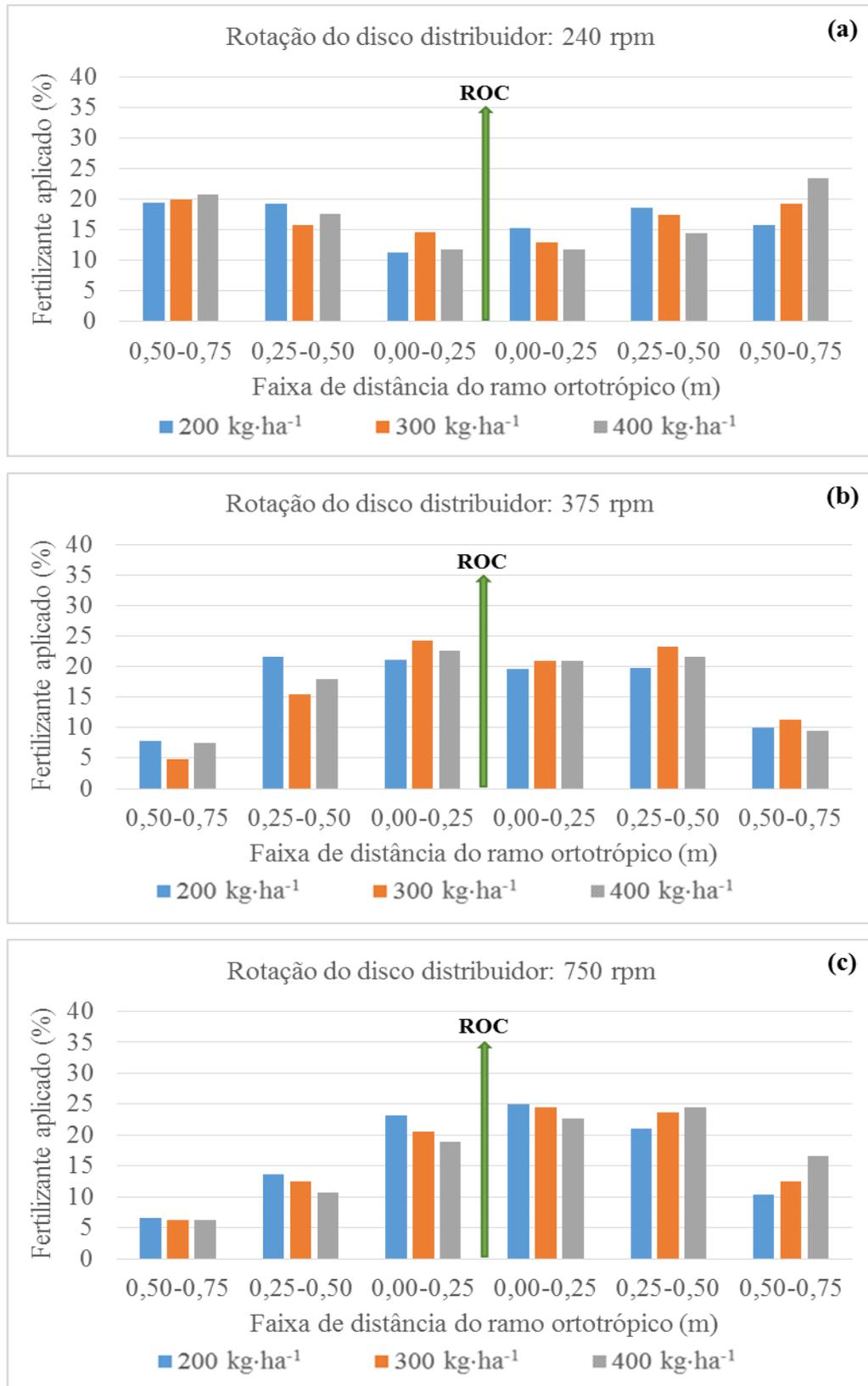
Gráfico 2.1 - Histogramas do perfil de distribuição transversal, representando a porcentagem de fertilizante aplicado em cada faixa de distância do ramo ortotrópico do cafeeiro (ROC), para a aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro (FA1), em três rotações dos discos distribuidores e três doses de fertilizante.



* Posições localizadas do lado do cafeeiro onde a máquina se desloca aplicando fertilizante.

Fonte: Do autor (2018).

Gráfico 2.2 - Histogramas do perfil de distribuição transversal, representando a porcentagem de fertilizante aplicado em cada faixa de distância do ramo ortotrópico do cafeeiro (ROC), para a aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro (FA2), em três rotações do discos distribuidores e três doses de fertilizante.



Fonte: Do autor (2018).

Visualmente, nota-se que a variação das doses não promoveu diferença relevante no perfil de distribuição transversal, mantendo-se um comportamento parecido do histograma para a mesma forma de trabalho e rotação dos discos distribuidores. De modo geral, percebe-se que ao variar a rotação dos discos distribuidores é possível alterar o perfil de distribuição de fertilizante, sabendo que de acordo com a forma de trabalho existe uma tendência de comportamento do perfil de distribuição.

A Tabela 2.1 apresenta os valores percentuais de fertilizante aplicado em cada lado do cafeeiro, considerando a média das três doses de produto estudadas. Pode-se notar que para a forma de trabalho FA1, nas rotações dos discos de 240 e 375 rpm, houve maior acúmulo de fertilizantes no lado esquerdo do cafeeiro, como foi observado nos histogramas. Esse resultado já era esperado nas rotações mais baixas dos discos distribuidores, pois a velocidade inicial da partícula de fertilizante é menor, reduzindo a distância horizontal de lançamento e acarretando na aplicação de fertilizante em uma faixa mais próxima da máquina. Na forma de trabalho FA2 deveria acontecer um equilíbrio, pois como a máquina realiza a aplicação dos dois lados do cafeeiro, há uma sobreposição de fertilizante. Porém, na rotação de 750 rpm houve maior aplicação no lado direito da planta. Isso pode ter ocorrido devido à ação de fatores externos, como irregularidade do terreno e disposição dos galhos do cafeeiro.

Tabela 2.1 - Percentual de fertilizante aplicado de cada lado do cafeeiro, para as duas formas de trabalho e as três rotações dos discos distribuidores estudadas.

Rotação dos discos (rpm)	FA1		FA2	
	Lado esquerdo	Lado direito	Lado esquerdo	Lado direito
240	83,94	16,06	50,26	49,74
375	74,40	25,60	47,76	52,24
750	48,10	51,90	39,69	60,31

FA1 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro (lado esquerdo); FA2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

Observa-se que há um equilíbrio no percentual de fertilizante aplicado em cada lado da planta para as forma de trabalho FA1 com rotação dos discos de 750 rpm e para a forma de trabalho FA2 com rotação dos discos de 240 e 375 rpm. Esse resultado é desejado, pois o equilíbrio da distribuição favorece o crescimento uniforme das raízes do cafeeiro, criando condições benéficas para o mesmo.

3.3 Análises dos dados

A análise de variância dos dados de massa de fertilizante coletado, para as diferentes condições avaliadas, encontra-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Análise de variância dos dados de massa de fertilizante coletado (g).

Causa de variação	GL	Quadrado Médio e significância de F	
		FA1	FA2
Rotação dos discos (R)	2	1,121488 *	2,192716 *
Erro 1	6	0,039120	0,414599
Dose (D)	2	4,939084 *	4,445135 *
D x R	4	0,265482	1,649410
Erro 2	12	0,224616	0,518983
Posição do coletor (P)	5	11,175580 *	1,560027 *
P x R	10	3,440181 *	1,287323 *
P x D	10	0,117937	0,060582
P x R x D	20	0,129260	0,072774
Erro 3	90	0,185584	0,075646
CV 1 (%)		9,88	32,00
CV 2 (%)		23,68	35,80
CV 3 (%)		21,52	13,67
Média Geral		4,79	4,41

* Significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade; CV - Coeficiente de variação; FA1 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

A única interação significativa foi Posição do coletor x Rotação dos discos. A interação desses fatores indica que o perfil de distribuição transversal de fertilizante é alterado em função da rotação utilizada nos discos distribuidores, como observado nos histogramas.

A interação Posição do coletor x Dose não foi significativa, indicando que o perfil de distribuição transversal apresentou o mesmo comportamento para as doses estudadas. Essa é uma condição importante, visto que a máquina tem capacidade de aplicar fertilizantes à taxa variável. Dessa forma, ao se trabalhar com diferentes doses recomendadas de produto, a única

regulagem necessária da máquina ao decorrer de uma área seria a alteração da vazão de produto nas esteiras, o que acontece de forma automática através do sistema de controle.

Na Tabela 2.3 é apresentado o resultado do teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade, para a interação Posição do coletor x Rotação, tendo como variável resposta a massa de fertilizante coletada cada posição.

Tabela 2.3 - Desdobramento da variável “Posição do coletor” dentro da variável “Rotação dos discos”, para as médias dos dados de massa de fertilizante coletado (g).

Posição do coletor	FA1			FA2		
	Rotação dos discos (rpm)					
	240	375	750	240	375	750
1	9,62 d	3,84 c	1,97 a	5,65 b	2,12 a	1,32 a
2	8,64 d	9,13 d	3,46 b	4,82 b	5,71 c	2,47 b
3	7,72 d	11,96 e	5,06 b	3,55 a	6,91 c	4,22 c
4	3,19 c	5,28 c	4,73 b	3,56 a	6,27 c	4,90 c
5	1,41 b	2,33 b	3,90 b	4,51 b	6,54 c	5,08 c
6	0,37 a	0,97 a	2,63 a	5,78 b	3,11 b	2,84 b

Valores seguidos de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade; FA1 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

Ao analisar os resultados do teste de média, pode-se constatar que existe grande variabilidade nos perfis de distribuição, além de que a variação na rotação dos discos distribuidores promovem diferenças no comportamento de perfil. Entretanto, identifica-se um padrão de perfil para duas condições específicas, a FA1 na rotação de 750 rpm (FA1-W3) e a FA2 na rotação de 240 rpm (FA2-W1). Em ambos os casos, o perfil apresenta um comportamento simétrico entre os dois lados do cafeeiro, ou seja, as posições 3 e 4 (faixa de 0 a 0,25 m do ROC), 2 e 5 (faixa de 0,25 a 0,50 m do ROC) e 1 e 6 (faixa de 0,50 a 0,75 m do ROC) são iguais, pelo teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Além disso, nas condições FA1-W3 e FA2-W1 existem apenas duas classes de valores distintos estatisticamente, dentre as seis posições.

Na forma de trabalho FA2 com rotação dos discos distribuidores de 375 rpm (FA2-W2), o comportamento do perfil foi semelhante à condição FA1-W3, exceto pelas posições 1 e 6 não serem iguais estatisticamente.

3.4 Uniformidade do perfil de distribuição

O coeficiente de variação (CV) do perfil apresenta uma referência importante acerca da uniformidade com que a distribuição do fertilizante é realizada. Os valores de CV para as condições avaliadas são apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Coeficientes de variação (%) calculados para o perfil de distribuição transversal de fertilizante, nas diferentes condições avaliadas.

Dose (kg.ha ⁻¹)	FA1			FA2		
	Rotação dos discos (rpm)					
	240	375	750	240	375	750
200	75,5	72,4	36,3	17,2	33,3	41,1
300	60,2	73,6	25,8	15,0	41,7	39,9
400	78,7	63,7	32,7	26,3	35,9	38,5

FA1 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

Conforme classificação proposta por Weiss (1986) a uniformidade de distribuição pode ser considerada como regular quando apresenta um CV abaixo de 33%. Os valores encontrados no presente trabalho ficaram acima desse limite na maioria das condições. Porém, há uma ressalva pelo fato de que essa avaliação foi desenvolvida em campo, onde os galhos e folhas do cafeeiro afetam a uniformidade do perfil de distribuição. Baio, Molin e Leal (2012) avaliaram comparativamente o perfil de distribuição transversal de fertilizantes em condição de campo e no pátio, e constaram que a uniformidade de distribuição pode ser afetada devido à interceptação das partículas de fertilizante pelas plantas. Ademais, a máquina avaliada no presente trabalho possui defletores na saída dos discos, utilizados para direcionar o produto na direção do solo. Apesar de ser uma prática bastante utilizada na cafeicultura, isso pode ter influenciado negativamente a uniformidade de distribuição, pois os defletores alteram a trajetória da partícula de fertilizante.

Alguns autores também têm encontrado valores de CV acima do recomendado em avaliações do perfil de distribuição. Farret et al. (2008) analisaram diferentes larguras de trabalho, regulagens da máquina e tipo de produto aplicado, visando uniformidade do perfil de distribuição transversal e maiores larguras de trabalho. O CV do perfil cresceu rapidamente à

medida que se aumentou a largura de trabalho, chegando ao valor de 65% para uma largura de trabalho de 14 metros. Da mesma forma, Reynaldo et al. (2016) encontraram valores de CV acima de 40% para aplicação de ureia cloretada, com largura de trabalho de 30 metros. Os resultados encontrados pelos autores, assim como no presente trabalho, demonstram que a aplicação de fertilizantes é uma operação complexa, que pode ser sofrer interferência de diversos fatores, comprometendo a uniformidade de distribuição.

Dentre os tratamentos analisados, a condição mais favorável foi FA2-W1, em que o maior CV calculado foi de 26,3%, na aplicação da dose de 400 kg·ha⁻¹. Outro tratamento que atendeu de forma satisfatória à referência do CV foi FA1-W3, pois essa condição apresentou apenas um valor de CV superior a 33%, no caso da dose de 200 kg·ha⁻¹. Esse resultado está de acordo com o apresentado pelo teste de médias para as duas condições (TABELA 2.3), em que houve apenas duas classes de valores distintos entre todos os coletores, além de haver um comportamento simétrico do perfil de distribuição, sendo essa característica favorável ao cafeeiro

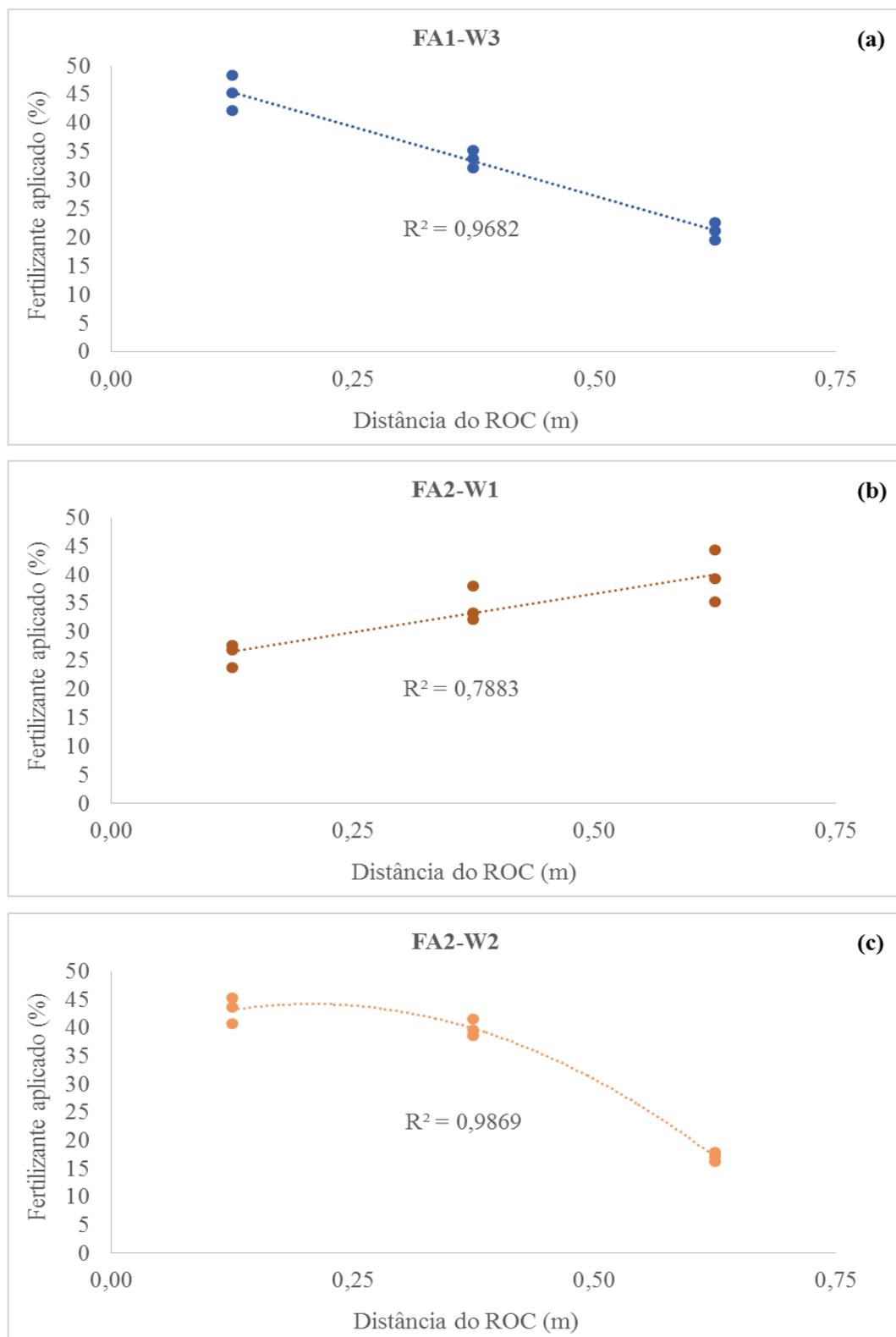
Seguindo essa linha de raciocínio, a condição FA2-W2 pode ser considerada satisfatória, pois apesar de apresentar valores de CV acima de 33%, estes não são tão elevados, com o maior valor sendo 41,7%. Como discutido anteriormente, por se tratar de um experimento realizado na lavoura, tendo influência de diversos fatores externos, valores de CV um pouco acima dos encontrados na literatura, em condições controladas, era esperado

Dessa forma, pode-se afirmar que para a aplicação de fertilizantes realizada apenas de um lado do cafeeiro, a rotação dos discos de 750 rpm foi a que apresentou melhor resultado com relação à uniformidade de distribuição. Enquanto que na aplicação de fertilizantes realizada dos dois lados do cafeeiro, a rotação dos discos que constituiu a melhor uniformidade do perfil foi de 240 rpm, seguida da rotação de 375 rpm, a qual apresentou um resultado satisfatório.

3.5 Caracterização da distribuição na cafeicultura

Com base nos resultados encontrados em relação à uniformidade do perfil de distribuição, foram selecionadas as três condições mais satisfatórias (FA1-W3, FA2-W1, FA2-W2), visando relacioná-las com características morfológicas do cafeeiro. Nesse sentido, foram gerados gráficos de regressão para o perfil de distribuição (GRÁFICO 2.3), onde as posições dos coletores referentes às mesmas faixas de distância do ROC foram somadas, relacionando o percentual de fertilizante coletado com a sua distância do ROC.

Gráfico 2.3 - Gráficos de regressão do percentual de produto aplicado em relação à faixa de distância do ramo ortotrópico do cafeeiro (ROC), apresentando os valores médios de cada dose (200, 300 e 400 kg·ha⁻¹).



FA1-W3 - Aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro, com rotação de 750 rpm nos discos distribuidores; FA2-W1 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro, com rotação de 240 rpm nos discos distribuidores; FA2-W2 - Aplicação realizada dos dois lados do cafeeiro, com rotação de 375 rpm nos discos distribuidores.

Para as condições FA1-W3 (GRÁFICO 2.3a) e FA2-W1 (GRÁFICO 2.3b) foi ajustado o modelo linear, no entanto as duas condições apresentam comportamento oposto do perfil de distribuição. Na FA1-W3 o fertilizante tende a se concentrar próximo ao ROC e na FA2-W1 próximo à extremidade da planta. Nas duas condições, cerca de um terço do fertilizante foi aplicado na faixa de 0,25 a 0,50 m do ROC.

Na condição FA2-W2 (GRÁFICO 2.3c), o modelo ajustado foi o polinomial de segunda ordem. Dessa forma, nota-se que grande parte do fertilizante foi aplicado nas faixas de 0,00 a 0,25 e 0,25 a 0,50 m do ROC, ficando uma porcentagem menor, de 16,98% em média, para a faixa de 0,50 a 0,75 m.

Ao buscar um indicador da eficiência da aplicação relacionado às características da planta, foram consideradas informações a respeito da morfologia do sistema radicular do cafeeiro. Ronchi et al. (2015) avaliaram quatro variedades de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e concluíram que a maior concentração do sistema radicular e sua melhor capacidade de absorção de nutrientes ocorrem nas imediações do ROC. Com resultados semelhantes, Motta et al. (2006) recomendaram a alteração do local de aplicação de fertilizantes, que antes era realizada em uma faixa próxima à projeção do dossel, no caso da lavoura estudada, para a área sob o dossel do cafeeiro.

Ao relacionar as informações apresentadas no Gráfico 2.3 com os estudos realizados acerca da morfologia do sistema radicular do cafeeiro, as condições mais adequadas de distribuição foram FA1-W3 e FA2-W2, devido ao maior percentual de fertilizante aplicado próximo ao ROC, onde há maior concentração de raízes.

Nesse contexto, observando ainda a simetria do perfil de distribuição, por meio do teste de médias (TABELA 2.3), e a uniformidade de distribuição pela análise do CV (TABELA 2.4), a condição FA1-W3 foi a mais indicada. Isso porque essa condição proporciona, ao mesmo tempo, aplicação equilibrada entre os dois lados da planta, distribuição uniforme de fertilizante e aplicação no local mais adequado, em relação ao sistema radicular do cafeeiro.

4 CONCLUSÕES

O método proposto no presente trabalho para avaliação da distribuição transversal de fertilizante na cultura do café se mostrou prática e eficiente no cumprimento de seu propósito.

Pela análise do perfil de distribuição transversal, as condições mais adequadas foram FA1-W3 e FA2-W2, pois apresentaram comportamento simétrico do perfil e valores mais baixos de CV, demonstrando maior uniformidade de distribuição.

Ao relacionar o comportamento dos perfis de distribuição transversal com características morfológicas do sistema radicular do cafeeiro, as condições mais adequadas foram FA1-W3 e FA2-W2.

A condição mais indicada foi FA1-W3, pois apresenta aplicação equilibrada entre os dois lados do cafeeiro, perfil de distribuição uniforme e aplicação de fertilizante no local mais adequado.

REFERÊNCIAS

- BAIO, F. H. R.; MOLIN, J. P.; LEAL, A. J. F. Avaliação comparativa da distribuição transversal de adubos sólidos aplicados em cobertura em culturas anuais instaladas. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, n. 4, p. 527-536, 2012.
- BARROS, M. M. et al. Avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes a taxa variável adaptado à cultura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 223-232, 2015.
- BARROS, M. M. et al. Performance of a variable-rate distribution system for simultaneous fertilizer application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 188-192, 2016.
- FERRAZ, G. A. S. et al. Variabilidade espacial da dose de P₂O₅ e K₂O para adubação diferenciada e convencional em lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 3, p. 346-356, 2015.
- FARRET, I. S. et al. Variação da regulagem no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1886-1892, 2008.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- MACHADO, O. D. C. et al. Acurácia e tempos de resposta de máquinas para aplicação de defensivos agrícolas à taxa variável. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 3, p. 440-449, 2015.
- MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios & certificação**. São Paulo: Shekinah, 1996. 722p.
- MOLIN, J. P. et al. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 569-575, 2010.
- MOTTA, A. C. V. et al. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 455-463, 2006.
- OLIVEIRA, R. B. D. et al. Comparação entre métodos de amostragem do solo para recomendação de calagem e adubação do cafeeiro conilon. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n.1, p. 176-186, 2008.
- REYNALDO, E. F. et al. Distribuição de fertilizantes a lanço em função da qualidade do insumo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 24-30, 2016.
- RONCHI, C. P. et al. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 3, p. 187-195, 2015.

WEISS, A. **Desenvolvimento de um distribuidor helicoidal para calcário seco**. 1986. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1986.

CAPÍTULO 3

Avaliação técnico-econômica de diferentes formas de trabalho na operação mecanizada de aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura

RESUMO

O objetivo no presente capítulo foi determinar os parâmetros de desempenho e custos de um conjunto mecanizado composto por um trator e uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos, avaliando duas formas de trabalho distintas. Na primeira forma de trabalho, a máquina realizou a aplicação da dose recomendada de produto apenas de um lado da planta e trafegou em apenas metade das entrelinhas do talhão (FA1), já na segunda forma de trabalho, a máquina aplicou metade da dose recomendada de produto em cada lado da planta e trafegou em todas as entrelinhas do talhão (FA2). O estudo foi desenvolvido na Fazenda Bom Jardim, localizada no município de Bom Sucesso, MG, Brasil. Os parâmetros de desempenho calculados foram a capacidade de campo efetiva e o tempo efetivo. Foi determinado o custo horário da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos, com base em dados gerenciais da propriedade onde o estudo foi realizado e, posteriormente, obteve-se o custo efetivo da operação, relacionando o custo horário com o tempo efetivo. Os resultados demonstraram que a forma de trabalho FA1 implica em maior capacidade de campo efetiva do conjunto mecanizado e menor custo da operação por unidade de área, representando apenas 50,1% do custo encontrado para FA2.

Palavras-chave: Capacidade de campo. Custos. Gerenciamento de máquinas agrícolas.

ABSTRACT

The aim in this chapter was to determine the performance parameters and costs of a machinery set consisting of a tractor and a fertilizer and agricultural liming material application machine, evaluating two different operation methods. In the first operation method, the machine applied the recommended dose of product on only one side of the plant and traveled on half of the lines in the field (FA1). In the second operation method, the machine applied half of the recommended dose on each side of the plant and traveled all lines of the field (FA2). The study was developed at Fazenda Bom Jardim, located in the municipality of Bom Sucesso, MG, Brazil. The effective field capacity and the effective time were calculated. The operation hourly cost for fertilizer application was determined based on the managerial data of the farm where the study was carried out. Subsequently, the effective cost of the operation was obtained relating the hourly cost to the effective time. The results showed that the operation method FA1 implies a higher working capacity of the machinery set and lower cost of the operation per unit area, representing only 50.1% of the cost found for FA2.

Keywords: Field machinery capacity. Costs. Machinery management.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura apresenta-se como uma atividade propensa a riscos e incertezas, devido às suas características produtivas. O empresário rural que investe nessa atividade deve realizar um planejamento e desenvolver um gerenciamento que vise a eficiência e a competitividade, buscando a otimização dos recursos produtivos aplicados na atividade cafeeira (LANNA; REIS, 2012).

Nesse cenário, a mecanização na cafeicultura vem se intensificando, pois esse processo possibilita o aumento da capacidade operacional e redução dos custos de produção (SANTINATO et al., 2014). Atualmente, em áreas aptas à mecanização, todas as operações durante o ciclo da cultura já estão sendo realizadas de forma mecanizada (CUNHA; SILVA; DIAS, 2016).

Peloia e Milan (2010) afirmam que a mecanização agrícola no Brasil representa um fator de grande importância para a competitividade em termos de custo, chegando a ser o segundo fator de produção mais importante, sendo inferior apenas à posse da terra. Neste sentido, Hunt (1995) relata que pequenas melhorias no gerenciamento das máquinas podem trazer maior retorno que grandes economias em outros custos de produção.

O estudo das operações agrícolas, levando em consideração a capacidade e a eficiência de campo, visa racionalizar o emprego das máquinas na execução do trabalho (SILVEIRA; YANAI; KURACHI, 2006). Molin et al. (2006) complementam que as informações sobre os parâmetros de desempenho das máquinas agrícolas são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando na tomada de decisão. A capacidade de campo representa um importante parâmetro de desempenho e pode ser definida como a quantidade de trabalho que a máquina é capaz de executar em uma unidade de tempo, constituindo-se em uma medida da intensidade do trabalho desenvolvido na execução das operações (MIALHE, 1974).

Em trabalho realizado por Cunha, Silva e Dias (2016), a operação mecanizada de aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura apresentou resultados satisfatórios quanto aos parâmetros de desempenho das máquinas. Entretanto, Cunha (2015) relata que o desempenho das máquinas na cafeicultura está condicionado às características da área cultivada, como declividade do terreno, área e geometria do talhão, comprimento das entrelinhas e largura dos carregadores. A forma de execução da operação também representa um fator importante para que a máquina ou conjunto mecanizado possa alcançar uma maior capacidade operacional.

Na prática, observa-se que não existe um consenso acerca da forma correta de gerenciamento e execução da operação mecanizada de aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura, ficando essa tarefa condicionada ao método de trabalho de cada propriedade. Em algumas propriedades a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro, dividindo a dose de fertilizante, enquanto que em outros casos a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro, suprimindo a dose recomendada.

Ao realizar a aplicação apenas de um lado do cafeeiro, uma máquina que trabalha com duas seções, ou seja, tem capacidade de aplicar produto dos dois lados, poderia realizar a aplicação da dose recomendada em duas linhas de cafeeiro simultaneamente, eliminando a necessidade de se deslocar em todas as entrelinhas do talhão. A realização da operação nessa forma de trabalho poderia proporcionar um aumento significativo na capacidade operacional da máquina.

Com base no exposto, o objetivo do presente capítulo foi determinar os parâmetros de desempenho e realizar uma análise econômica de um conjunto mecanizado composto por um trator agrícola e uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos, visando avaliar comparativamente duas formas de trabalho distintas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido em um talhão de lavoura cafeeira com área de 7,5 ha, pertencente à fazenda Bom Jardim, localizada no município de Bom Sucesso, Minas Gerais, nas coordenadas geográficas 21°01'20" S e 44°55'12" W (FIGURA 3.1). A variedade de cafeeiro no talhão é Catucaí Amarelo 2SL, com espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, instalada no ano de 2014. Os carregadores principais apresentam largura de 6 m e o carregador secundário, no centro do talhão, mede 4,5 m de largura. O relevo da área é plano, sendo que todas as operações realizadas na área são mecanizadas.

Figura 3.1 - Vista aérea do talhão utilizado no estudo.



Fonte: Bom Sucesso (2018).

2.2 Especificações do conjunto mecanizado e produto aplicado durante as avaliações

O conjunto mecanizado estudado é composto por uma máquina para aplicação de fertilizantes e corretivos e um trator agrícola (FIGURA 3.2).

Figura 3.2 - Conjunto mecanizado utilizado no estudo.



Fonte: Do autor (2018).

A máquina tem capacidade de aplicar fertilizantes e corretivos à taxa variável, sendo que o sistema de taxa variável foi adaptado por Barros et al. (2016). A máquina possui volume de carga de $1,2 \text{ m}^3$, comprimento de 3,36 m, altura de 1,40 m, bitola de 1,24 m e largura total de 2,15 m, considerando os defletores. É dotada de duas esteiras independentes e comportas de regulagem manual, que compõem o mecanismo dosador de produto. Dessa forma, a máquina é capaz de aplicar diferentes doses de produtos de cada lado, conforme a necessidade. A taxa de aplicação pode ser alterada pelo próprio sistema de controle da máquina, com base em um mapa de recomendação, ou ser alterada manualmente no monitor do sistema. O mecanismo distribuidor é composto por dois discos horizontais, com aplicação direcionada à linha de plantio através de defletores laterais. Os discos são acionados individualmente por motores hidráulicos, podendo-se variar a velocidade dos motores através de uma válvula reguladora de vazão localizada na máquina.

O trator agrícola utilizado no estudo é da marca John Deere, modelo 5075 EF, dotado de tração dianteira auxiliar, com potência nominal de 75 cv (55,0 kW) a 2400 rpm, bitola de 1,3 m, largura total de 1,55 m e distância entre eixos de 1,97 m. O trator trabalhou na marcha B2, que na rotação econômica de trabalho (1500 rpm) desempenha uma velocidade média de $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

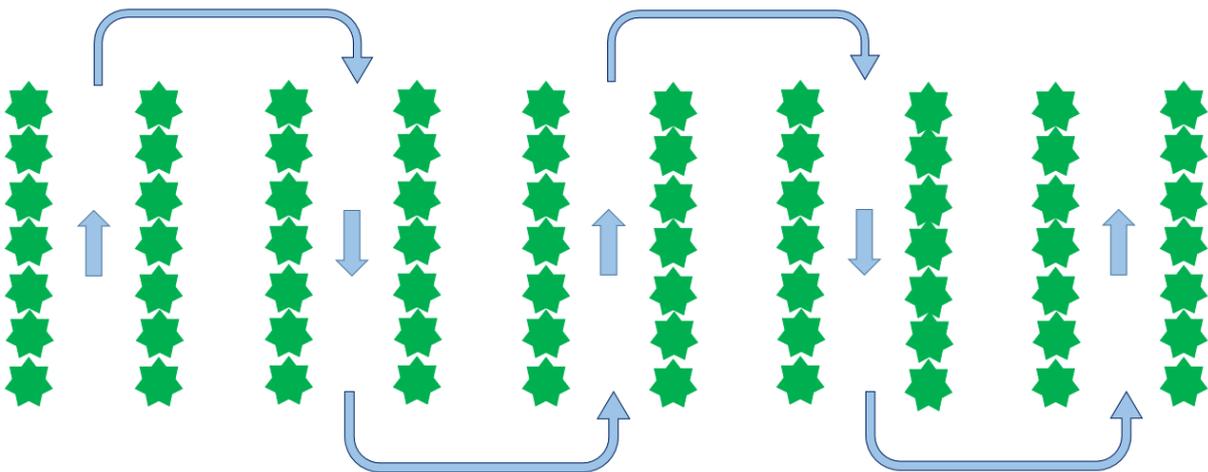
O produto utilizado durante as avaliações foi uma mistura de calcário agrícola, serpentinito e gesso agrícola, na proporção de 33,3% de cada composto. A dose de produto recomendada para a área foi de $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

2.3 Condições avaliadas e coleta dos dados

No presente estudo foram comparadas duas formas de trabalho do conjunto mecanizado. Na primeira forma de trabalho, a máquina foi regulada para aplicar a dose total de produto recomendada para a área e realizou a aplicação apenas de um lado do cafeeiro (FA1). Dessa forma, como a máquina trabalhou com duas seções, o produto foi aplicado em duas linhas de cafeeiro, simultaneamente, e a máquina se deslocou em apenas metade das entrelinhas (FIGURA 3.3). Na segunda forma de trabalho, a máquina foi regulada para aplicar metade da dose recomendada e realizou a aplicação dos dois lados do cafeeiro (FA2). Dessa maneira, foi necessário trafegar com o conjunto mecanizado em todas as entrelinhas. Visando manter o mesmo padrão de execução das manobras de cabeceira, na forma de trabalho FA2 o conjunto mecanizado trabalhou saltando uma entrelinha (fazendo zig zag) e depois retornou nas entrelinhas restantes para completar a aplicação, conforme esquema apresentado na Figura 3.4.

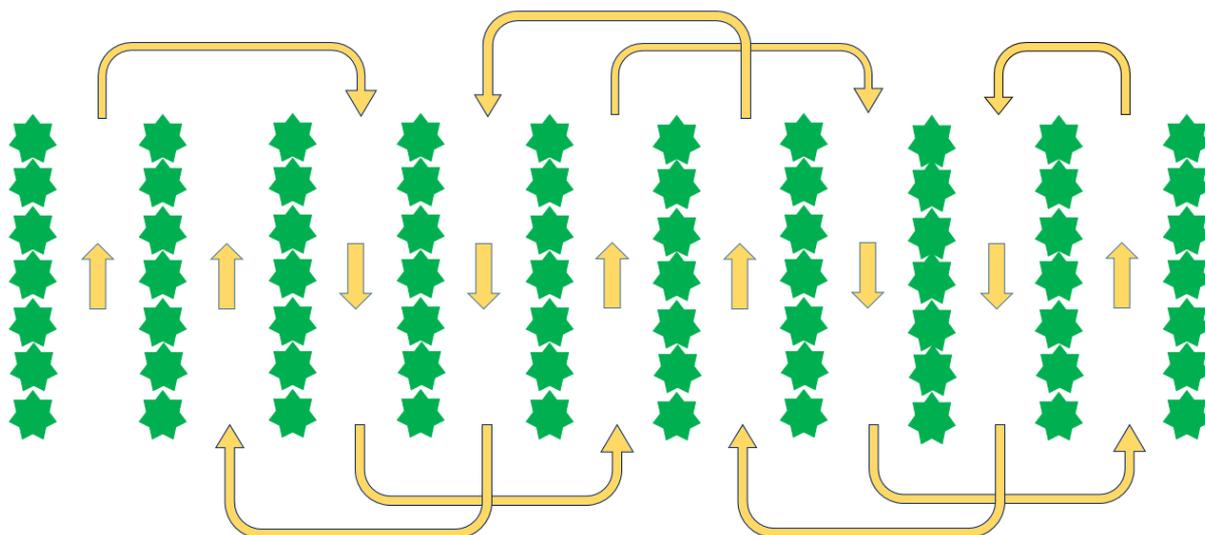
De modo a evitar a interferência de fatores externos, como alteração de relevo e grande diferença no comprimento das linhas de plantio, foram delimitados três blocos experimentais, compostos por dez linhas de cafeeiro. Durante o trabalho do conjunto mecanizado nos blocos, foram coletados os dados necessários para calcular os parâmetros de desempenho.

Figura 3.3 - Trajeto do conjunto mecanizado para a forma de trabalho em que a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro (FA1).



Legenda: As setas representam o trajeto do conjunto mecanizado e as estrelas representam o cafeeiro.
Fonte: Do autor (2018).

Figura 3.4 - Trajeto do conjunto mecanizado para a forma de trabalho em que a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro (FA2).



Legenda: As setas representam o trajeto do conjunto mecanizado e as estrelas representam o cafeeiro.
Fonte: Do autor (2018).

O trajeto do conjunto mecanizado e o comprimento efetivo das linhas de plantio foram obtidos através de um receptor GNSS (Global Navigation Satellite System) com erro máximo de 3 m, o qual foi colocado no trator. O receptor foi configurado para coletar e armazenar os dados relativos ao deslocamento do conjunto mecanizado em uma frequência de um dado a cada 5 segundos. Os dados obtidos pelo receptor foram organizados e analisados por meio do software GPS TrackMaker[®]. O tempo em operação do conjunto mecanizado nas linhas de plantio e o tempo gasto com manobras de cabeceira foram determinados com um cronômetro digital e registrados em cadernetas de campo. Posteriormente, os dados foram transferidos para planilhas eletrônicas, utilizadas para cálculo dos parâmetros de desempenho.

2.4 Cálculo dos parâmetros de desempenho

Os parâmetros de desempenho analisados foram a capacidade de campo efetiva (C_{ce}) e o tempo efetivo (T_e). A capacidade de campo efetiva foi fundamentada na metodologia proposta por Mialhe (1974), sendo calculada conforme a Equação 3.1.

$$Cce = \left(\frac{L \times V}{10} \right) \quad (3.1)$$

Onde:

Cce - Capacidade de campo efetiva, ha·h⁻¹;

L - Largura útil de trabalho da máquina, m;

V - Velocidade operacional, km·h⁻¹.

A velocidade operacional foi determinada pela relação entre o comprimento efetivo da linha de plantio e o tempo em operação do conjunto mecanizado na linha, utilizando-se a Equação 3.2.

$$V = \frac{c}{t} \times 3,6 \quad (3.2)$$

Onde:

V - Velocidade operacional, km·h⁻¹;

c - Comprimento efetivo da linha de plantio, m;

t - Tempo em operação do conjunto mecanizado na linha, seg.

Com relação ao tempo efetivo, o mesmo expressa o tempo necessário para realizar a operação em uma determinada área, considerando apenas as atividades que resultam em trabalho efetivo. O tempo efetivo pode ser calculado de acordo com a Equação 3.3.

$$Te = \frac{1}{Cce} \quad (3.3)$$

Onde:

Te - Tempo efetivo, h·ha⁻¹;

Cce - Capacidade de campo efetiva, ha·h⁻¹.

2.5 Cálculo dos custos da operação

Além dos parâmetros de desempenho, foi utilizada uma análise econômica para comparar as duas formas de trabalho estudadas. Primeiramente, foi determinado o custo horário da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos, utilizando-se a metodologia adaptada por Silva et al. (2013) para as condições da cafeicultura. O custo horário total foi composto pelos

custos fixos e variáveis. Os custos fixos considerados foram depreciação, juros, seguro e alojamento, enquanto que os custos variáveis englobaram os gastos com combustíveis, lubrificantes, reparos, manutenção e mão de obra. As informações necessárias para o cálculo dos custos foram obtidas por meio de coletas de campo e dados gerenciais da propriedade em que foi realizado o estudo (TABELA 3.1), e processadas por meio de planilhas eletrônicas.

Tabela 3.1 - Dados relativos ao conjunto mecanizado, utilizados para cálculo do custo horário.

	Trator	Máquina
Valor inicial (R\$)	110.000,00	31.000,00
Tempo de depreciação (anos)	10	5
Taxa de juros (% ao ano)	7,50	7,50
Taxa de seguro (% ao ano)	1,45	1,45
Consumo de combustível (litros·h ⁻¹)	2,31	-

Fonte: Do autor (2018).

Na sequência, em posse do custo horário da operação, relacionou-se esse custo com o tempo efetivo da operação. Dessa forma, foi encontrado o custo por hectare para execução da operação em cada forma de trabalho estudada. Ressalta-se que o custo encontrado representa apenas o gasto que culmina em trabalho efetivo, ou seja, o custo para executar a operação dentro do talhão, que no presente trabalho será denominado de custo efetivo. Para cálculo do custo efetivo foi utilizada a Equação 3.4.

$$C_{ef} = C_h \times T_e \quad (3.4)$$

Onde:

C_{ef} - Custo efetivo, R\$·ha⁻¹;

C_h - Custo horário, R\$·h⁻¹;

T_e - Tempo efetivo, h·ha⁻¹.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise e interpretação dos dados

Nota-se que não houve diferença significativa entre as formas de trabalho FA1 e FA2, com relação ao comprimento efetivo da linha de plantio, tempo em operação do conjunto mecanizado na linha e velocidade operacional (TABELA 3.2). Isso significa que as condições externas aos dois tratamentos, que poderiam influenciar nos parâmetros de desempenho, são bastante uniformes. Dessa forma, os parâmetros de desempenho do conjunto mecanizado devem se alterar, primordialmente, devido à alteração da forma de trabalho da máquina, FA1 ou FA2.

Tabela 3.2 - Dados obtidos em campo.

Forma de trabalho	Comprimento da linha (m)	Tempo gasto com manobra (seg)	Tempo em operação (seg)	Velocidade operacional (km·h ⁻¹)
FA1	257,9	14,4	166,0	5,6
FA2	258,0	15,7	165,8	5,6

FA1 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

Observa-se que a média de tempo gasto com manobra de cabeceira para a forma de trabalho FA2 foi superior à FA1. A explicação para esse acréscimo de tempo na forma de trabalho FA2 é a ocorrência de uma manobra mais fechada, quando se necessita deslocar o conjunto mecanizado de uma entrelinha para outra imediatamente ao lado (FIGURA 3.4), sendo necessário dar marcha ré no trator. Na forma de trabalho FA1 essa manobra não é necessária, já que o conjunto mecanizado salta uma entrelinha em cada passada, sendo possível realizar a manobra de forma contínua.

A velocidade operacional média encontrada foi igual para as duas formas de trabalho avaliadas (5,6 km·h⁻¹) e está acima dos valores relatados por Silveira, Yanai e Kurachi (2007) como adequados para operações mecanizadas na cafeicultura, na faixa de 3,0 a 4,5 km·h⁻¹. Entretanto, a velocidade pode variar muito em função da condição da lavoura, largura da entrelinha, características técnicas do conjunto mecanizado e tipo de produto a ser aplicado.

3.2 Desempenho do conjunto mecanizado

Com relação aos parâmetros de desempenho do conjunto mecanizado (TABELA 3.3), a capacidade de campo efetiva para a forma de trabalho FA1 foi 199,5% do valor encontrado para FA2, esse resultado já era esperado devido ao fato de que na forma de trabalho FA1 a aplicação de produto é realizada em duas linhas de plantio simultaneamente, fazendo com que a largura de trabalho da máquina seja duplicada. A largura útil de trabalho considerada para a forma de trabalho FA1 foi de 7 m, enquanto que para FA2 foi de 3,5 m.

Tabela 3.3 - Parâmetros de desempenho do conjunto mecanizado.

Forma de trabalho	Cce (ha·h ⁻¹)	Te (h·ha ⁻¹)
FA1	3,91	0,26
FA2	1,96	0,51

FA1 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro; Cce - Capacidade de campo efetiva; Te - Tempo efetivo.

Fonte: Do autor (2018).

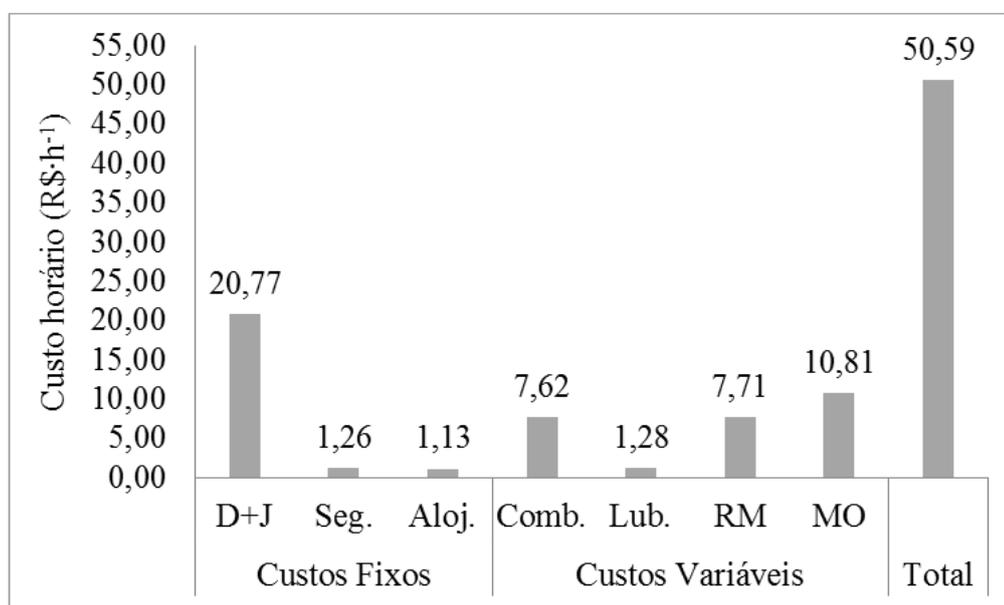
A capacidade de campo efetiva na forma de trabalho FA1 representa um melhor aproveitamento do potencial produtivo da máquina, podendo-se realizar o trabalho em menos tempo, utilizando menos recursos, como mão de obra e combustível, e gerando economia. Alguns tipos de fertilizantes são muito voláteis e devem ser aplicados em condições ambientais favoráveis à sua absorção, o que gera um prazo reduzido para realização da operação. Dessa forma, a maior capacidade de campo do conjunto mecanizado pode conduzir a um melhor atendimento às necessidades nutricionais do cafeeiro.

O tempo efetivo apresentou comportamento inverso ao da capacidade de campo, devido ao próprio conceito do parâmetro, sendo que o tempo efetivo calculado para a forma de trabalho FA1 foi 50,1% do valor para a forma de trabalho FA2. A redução do tempo empregado na execução da operação em uma determinada área favorece o manejo da cultura, pois permite realocar a mão de obra e o conjunto mecanizado para outras áreas ou operações.

3.3 Análise econômica da operação

No Gráfico 3.1 está apresentada a composição do custo horário da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos. O custo horário total calculado no presente trabalho está de acordo com o valor encontrado por Cunha et al. (2016), de 50,10 R\$.h⁻¹. Ainda, ao avaliarem os custos de todas as operações mecanizadas realizadas na cafeicultura, os autores notaram que a operação de aplicação de fertilizantes foi a que apresentou menor custo horário.

Gráfico 3.1 - Composição do custo horário da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos.



D+J - Depreciação e juros; Seg. - Seguro; Aloj. - Alojamento; Comb. - Combustível; Lub. - Lubrificantes; RM - Reparos e manutenção; MO - Mão de obra.

Fonte: Do autor (2018).

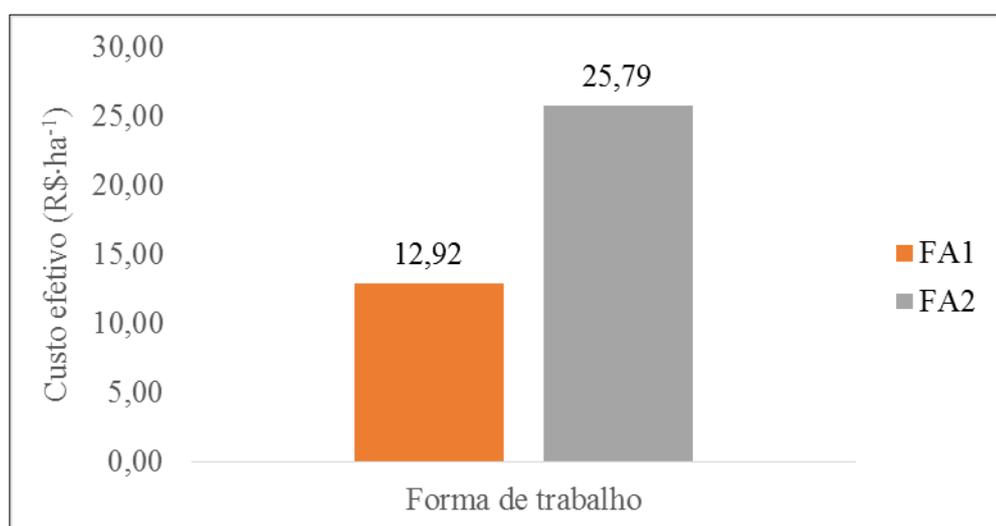
Dentre os custos fixos e variáveis, as despesas com depreciação e juros do conjunto mecanizado representaram a maior parcela do custo horário total, sendo que os dois foram calculados conjuntamente, por meio do método de amortização do capital, proposto por Hoji (2006). Esse resultado diverge do que foi verificado por Cunha et al. (2016) e Simões, Silva e Fenner (2011), em que o gasto com combustível foi o fator que teve maior impacto sobre o custo operacional.

O custo elevado com depreciação e juros pode ter ocorrido devido às considerações que foram feitas no presente trabalho, em que os valores iniciais utilizados no cálculo foram de equipamentos novos, tanto para o valor do trator quanto da máquina para aplicação de

fertilizantes e corretivos. O gasto reduzido com combustível se deve ao modelo de trator utilizado na propriedade, que apresenta uma economia substancial de combustível, especialmente quando o mesmo trabalha com uma rotação mais baixa do motor, por volta de 1500 rpm, chamada de “rotação econômica”. Observa-se que a média de consumo de combustível na fazenda para a operação de aplicação de fertilizantes e corretivos, considerando diversos talhões, foi de 2,31 litros·h⁻¹ (TABELA 3.1).

Ao relacionar o custo horário com o tempo efetivo, encontrou-se o custo efetivo (GRÁFICO 3.2). Esse custo representa o gasto despendido com a máquina enquanto em operação no talhão, considerando-se apenas as atividades que resultam em trabalho efetivo.

Gráfico 3.2 - Custo efetivo determinado para as duas formas de trabalho estudadas.



FA1 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada apenas de um lado do cafeeiro; FA2 - Forma de trabalho em que a aplicação é realizada dos dois lados do cafeeiro.

Fonte: Do autor (2018).

Na prática, as propriedades consideram o custo operacional, o qual leva em conta todos os custos improdutivos, como deslocamento até o talhão, tempo de reabastecimento do reservatório, horário de almoço do operador, entre outros. Porém, o tempo improdutivo pode variar de uma propriedade para a outra, pois fatores de gerenciamento da operação têm influência nesse resultado, como a adoção de pontos de apoio móvel para reabastecimento em campo. Nesse sentido, o custo efetivo fornece a informação necessária para comparação entre as duas formas de trabalho avaliadas, já que a diferença na forma de trabalho afeta diretamente a capacidade de campo efetiva, parâmetro ligado ao desempenho do conjunto mecanizado dentro do talhão.

O custo efetivo na forma de trabalho FA1 foi de 50,1% do valor encontrado na forma de trabalho FA2, resultado esse que já era esperado pelo custo efetivo ser determinado em função do tempo efetivo, o qual demonstrou a mesma proporção entre as duas formas de trabalho. De forma lógica, a maior largura de trabalho desempenhada na forma de trabalho FA1 faz com que a capacidade de campo aumente e, conseqüentemente, o custo da operação por unidade de área seja menor.

Portanto, pode-se afirmar que a forma de trabalho FA1 apresentou maior viabilidade técnica e econômica que a forma de trabalho FA2, do ponto de vista da mecanização, contribuindo com o aumento de performance e redução de custos da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos.

Esse resultado contribui com o que foi encontrado no Capítulo 2 do presente trabalho, onde a aplicação realizada apenas de um lado do cafeeiro apresentou bons resultados em termos qualitativos da distribuição de fertilizantes na planta, quando observadas as regulagens adequadas da máquina. Dessa forma, as informações aqui apresentadas podem ser úteis no gerenciamento da operação de aplicação de fertilizantes e corretivos, servindo de referência e facilitando a tomada de decisão.

4 CONCLUSÕES

A capacidade de campo efetiva na forma de trabalho FA1 foi superior à forma de trabalho FA2, ao passo que o tempo efetivo teve um comportamento inverso, na mesma proporção.

O custo efetivo da operação seguiu a tendência do tempo efetivo, sendo que o valor na forma de trabalho FA1 foi 50,1% do valor na forma de trabalho FA2. Esse resultado se deve à maior capacidade de campo efetiva apresentada na forma de trabalho FA1.

A forma de trabalho FA1 foi a mais indicada devido à sua maior viabilidade técnica e econômica em relação à forma de trabalho FA2. Essa informação é útil para o gerenciamento da operação mecanizada de aplicação de fertilizantes e corretivos na cafeicultura.

REFERÊNCIAS

- BARROS, M. M. et al. Performance of a variable-rate distribution system for simultaneous fertilizer application. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 2, p. 188-192, 2016.
- BOM SUCESSO. **Google Maps**, Alfenas, 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-21.0224518,-44.9216723,773m/data=!3m1!1e3?hl=pt-BR>>. Acesso em: 22 jul. 2018.
- CUNHA, J. P. B. **Análise Técnica e Econômica da Mecanização na Cafeicultura**. 2015. 102p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- CUNHA, J. P. B. et al. Estudo técnico e econômico de diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 87-96, 2016.
- CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M.; DIAS, R. E. B. A. Eficiência de campo em diferentes operações mecanizadas na cafeicultura. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 76-86, 2016.
- HOJI, M. **Administração financeira: uma abordagem prática**. 5ª Edição. São Paulo: Atlas, 2006, 527p.
- HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 9. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995. 363 p.
- LANNA, G. B. M.; REIS, R. P. Influência da mecanização da colheita na viabilidade econômico-financeira da cafeicultura no sul de Minas Gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 110-121, 2012.
- MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. Agronômica Ceres São Paulo, 1974.
- MOLIN, J. P. et al. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.
- PELOIA, P. R.; MILAN, M. Proposta de um sistema de medição de desempenho aplicado à mecanização agrícola. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 681-691, 2010.
- SANTINATO, F. et al. Análise quali-quantitativa da operação de colheita mecanizada de café em duas safras. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 495-505, 2014.
- SILVA, F. M. et al. Viabilidade técnica e econômica da colheita mecanizada do café. **Visão Agrícola**, Piracicaba, n. 13, p. 98-101, 2013.
- SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-224, 2006.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. Influência da velocidade do trator no controle de plantas daninhas, adubação, pulverização da cultura do café. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 250-260, 2007.

SIMÕES, D.; SILVA, M. R.; FENNER, P. T. Desempenho operacional e custos da operação de subsolagem em área de implantação de eucalipto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 692-700, 2011.