



MURILO MACHADO DE BARROS

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM
SISTEMA DE APLICAÇÃO DE
FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL**

LAVRAS - MG

2014



MURILO MACHADO DE BARROS

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA DE
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato

Coorientador

Dr. Fábio Moreira da Silva

UFLA - BIBLIOTECA UNIVERSITÁRIA

CLAS. _____ **LAVRAS - MG**

_____ **2014**

REGISTRO: _____

DATA. _____ / _____ / _____

ACERVO: _____

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Barros, Murilo Machado de.

**Desenvolvimento e validação de um sistema de aplicação de
fertilizantes à taxa variável / Murilo Machado de Barros. – Lavras :
UFLA, 2014.**

71 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Bibliografia.

**1. Agricultura de precisão. 2. Aplicação simultânea de
fertilizantes. 3. Cafeicultura. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.**

CDD – 633.738916

MURILO MACHADO DE BARROS

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA DE
APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Doutor.

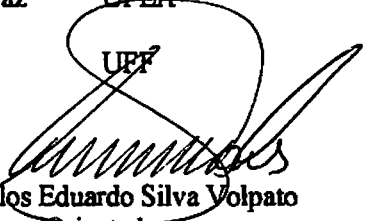
APROVADA em 15 de agosto de 2014.

Dr. Nilson Salvador UFLA

Dr. Jackson Antônio Barbosa UFLA

Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz UFLA

Dr. Flávio Castro da Silva UFLA



Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

Dr. Fábio Moreira da Silva
Coorientador

LAVRAS – MG

2014

A minha esposa Kamila, pelo amor e por sempre estar ao meu lado.
A minha Mãe que sempre esteve me apoiando, aconselhando e que nunca mediu esforços para criar e educar seus filhos.
A minha irmã Daniela e minha sobrinha Sofia, pelo cuidado, apoio e carinho.
Aos meus tios Edegar e Lourdes, pelo cuidado sempre que necessário.
A minha Avó Cida e
ao meu Avô Oliveira por suas memórias.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de trabalho.

Aos professores Carlos Eduardo Silva Volpato e Fábio Moreira da Silva, pela orientação, confiança e dedicação.

Ao grande mestre e amigo Tomaz de Aquino Ferreira

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, por suas colaborações na minha vida acadêmica.

A todos os meus amigos que Lavras me proporcionou nestes dez anos.

Aos amigos colaboradores deste trabalho, Fagner Goes, Delorme Correa Junior, Michael Thebaldi, Luiz Flávio Ribeiro e João Paulo Barreto.

Ao grupo GEMMA pela grande colaboração neste trabalho.

Aos meus amigos de doutorado: Flávio, Gabriel, Marcos e Vanderson.

Aos meus grandes amigos Claudio, Douglas, Matheus, Moisés e Thiago.

Ao meu amigo Reginaldo Coelho pela acolhida em sua casa.

À empresa Belocal pelo fornecimento dos fertilizantes utilizados nos ensaios.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento deste projeto.

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

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram desenvolver, avaliar e validar um sistema de controle para distribuição de fertilizantes à taxa variável, para a cultura do café, aplicando dois produtos simultaneamente. No primeiro estágio, foi realizada a adaptação do sistema de aplicação à taxa variável a uma máquina que aplicava fertilizantes sólidos em doses fixas, permitindo a variação da dose, de acordo com a indicação de um controlador eletrônico. O segundo estágio foi a elaboração dos ensaios e suas aplicações. Realizaram-se quatro tipos de ensaios: o de deposição transversal com lonas, que teve como objetivos quantificar as variações entre as doses programadas e aplicadas, através do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial; utilizou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O ensaio de deposição transversal com bandejas objetivou caracterizar o alcance máximo de distribuição transversal de aplicação através de equações de regressão linear. O ensaio de deposição longitudinal objetivou a determinação das características de distribuição do equipamento ao longo da linha de deslocamento analisados através de valores de frequência relativa; outro fator analisado foi o comportamento de aplicação das doses nos dois lados de distribuição do sistema utilizando-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), utilizou-se o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. O ensaio de regime de trabalho verificou o comportamento do sistema de distribuição em condições reais de campo, através da variação percentual das doses aplicadas e programadas. Observou-se que a variação de aplicação no ensaio de deposição transversal com lonas foi de -1,59%. Houve diferença no alcance máximo quando se utilizou diferentes produtos. O sistema de distribuição à taxa variável se manteve estável em relação à deposição longitudinal independente de qualquer interação. A aplicação do sistema à taxa variável em condições reais de campo apresentou erro médio de -2,79%, sendo considerado de boa precisão.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Aplicação simultânea de fertilizantes. Cafeicultura.

ABSTRACT

The objectives of this work were to develop, evaluate and validate a control system for distributing fertilizers at a varying rate, for coffee culture, applying two products simultaneously. In the first stage, the varying application rate of the system was adapted to a machine that applies solid fertilizers in fixed doses, allowing the variation of the dose according to the indication of an electronic controller. The second stage was the elaboration of the trials and their applications. We performed four types of trials: transversal deposition with canvas, which aimed at quantifying the variations between the doses programmed and those applied, by means of Completely Randomized Design (CRD), in a factorial scheme; we used the Scott-Knott test at 5% of probability. The transversal deposition trial with trays aimed at characterizing the maximum reach of the transversal application distribution by means of linear regression equations. The longitudinal deposition trial aimed at determining the distribution characteristics of the equipment along the dislocation line analyzed by means of relative frequency values; another factor analyzed was the behavior of the application of doses on both sides of the system distribution using a Completely Randomized Design (CRD) and the Scott-Knott test at 5% of probability. The work regime trial verified the behavior of the distribution system in real field conditions by means of percentage variation of the doses applied and programmed. We observed that the variation in the application of the transversal deposition trials with canvas was of -1.59%. There was difference in the maximum reach of when using different products. The distribution system at a varying rate in real field conditions presented mean error of -2.79%, being considered of good precision.

Keywords: Precision agriculture. Simultaneous fertilizer application. Coffee culture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
2.1	Adaptação do sistema de controle.....	11
2.2	Avaliação e validação do desempenho operacional	11
3	REFERENCIAL TEÓRICO	12
3.1	Cultura do cafeeiro.....	12
3.2	Distribuidores de fertilizantes e corretivos.....	13
3.3	Agricultura de Precisão.....	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1	Caracterização da área	18
4.2	Adaptação do sistema mecânico	18
4.3	Desenvolvimento do sistema hidráulico.....	21
4.4	Calibração do sistema	24
4.5	Ensaio de campo.....	25
4.5.1	Ensaio de deposição transversal com lonas	27
4.5.2	Ensaio de deposição transversal com bandejas	28
4.5.3	Ensaio de deposição longitudinal	31
4.5.4	Ensaio de regime de trabalho	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1	Composição do sistema hidráulico	36
5.2	Adaptações na máquina	40
5.3	Análise física dos materiais aplicados.....	45
5.4	Análises do ensaio de deposição transversal com lonas.....	46
5.5	Análises do ensaio de deposição transversal com bandejas	52
5.6	Análises do ensaio de deposição longitudinal.....	56
5.7	Análises do ensaio de regime de trabalho.....	62
6	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do globo, porém para que o país continue sendo competitivo no agronegócio e continue o seu crescimento nesta área, é preciso utilizar novas tecnologias para aumentar produtividade e diminuir custos.

Um produto de extrema importância em nosso país é o café, o qual já foi o principal produto da economia brasileira. A cafeicultura brasileira representa expressiva força econômica ao longo de toda a história. O país é o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor, equivalendo praticamente à produção de todos os países produtores. Porém, este produto vem sofrendo grande oscilação de preço nos últimos anos, dificultando aos produtores planejar os investimentos e os lucros em cada safra.

Uma ferramenta a ser utilizada para que se possa aumentar a capacidade de gerenciamento é a Agricultura de Precisão, pois é uma forma de gerenciamento das variabilidades presentes buscando tirar proveito das mesmas.

Um fator importante a ser analisado na cafeicultura é a aplicação de quantidades corretas de fertilizantes e corretivos no solo, pois possuem influência direta sobre a produtividade da cultura. O excesso de aplicação pode gerar gastos desnecessários e, além disso, pode ser prejudicial à lavoura; a falta, certamente, resulta em menor produtividade pela diferença de nutrientes.

Outro fator a ser observado é o efeito sobre o meio ambiente em que dosagens excessivas, além de prejudicarem as culturas, podem acarretar problemas de poluição dos lençóis freáticos. A dose a ser aplicada depende da correta interpretação dos resultados das análises químicas do solo, das características originais de projeto da máquina de aplicação e do correto manejo do campo. Sendo que os mesmos podem ser utilizados com maior racionalidade utilizando os conceitos da agricultura de precisão.

Deste modo há grande necessidade de pesquisas no desenvolvimento de máquinas e sistemas de controle específicos para a cafeicultura.

Um problema presente para esta utilização na cultura do cafeeiro é devido ao porte da maioria dos tratores utilizados, pois seus sistemas hidráulicos fornecem baixa vazão de óleo, não sendo suficiente para utilização nas máquinas de aplicação à taxa variável.

Outro fator a ser desenvolvido é a aplicação independente de fertilizantes e corretivos em cada linha de plantio do cafeeiro, pois devido à variabilidade espacial, em uma mesma rua de plantio pode se ter necessidades nutricionais ou de correções do solo diferentes. Deste modo, é necessário que cada lado de distribuição da máquina seja independente, sendo que, este fator pode ser utilizado também para se tirar vantagem econômica, pois pode se optar ou não em utilizar produtos formulados de acordo com a variação de preço dos mesmos, podendo fazer a separação dos produtos. Outro fator a ser observado é que quando se utiliza produtos formulados ocorre segregação do mesmo, fazendo que não ocorra uma perfeita distribuição dos nutrientes na área de aplicação.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma máquina distribuidora de fertilizantes e corretivos à taxa variável com sistema hidráulico independente para que se consiga ter uma máquina adaptada a qualquer tipo de trator.

2 OBJETIVOS

2.1 Adaptação do sistema de controle

Adaptar um sistema de controle para aplicação de adubo em taxa variável; de acordo com as características necessárias para o sistema produtivo de café, distribuindo simultaneamente dois produtos.

Adaptar um sistema de aplicação à taxa variável independente, sem necessidade de fornecimento de fluxo de óleo do trator para variar a dose de aplicação.

2.2 Avaliação e validação do desempenho operacional

Avaliar e validar o desempenho operacional do sistema controlador da adubadora em relação à distribuição de adubo à taxa variável.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultura do cafeeiro

A cafeicultura faz parte da história territorial e socioeconômica do Brasil, já que os primeiros pés de café foram cultivados no século XVI. Mas é a partir do século XIX que o café tornou-se o principal produto do cenário agromercantil, impulsionando a industrialização brasileira no início do século XX. Ao longo dessa trajetória, no entanto, a cafeicultura brasileira passou por relevantes mudanças geográficas e estruturais e, alternadamente, por momentos de crise e pujança, sempre mantendo sua importância relativa para o desenvolvimento brasileiro (VILELA; RUFINO, 2010).

O estado de Minas Gerais destaca-se como maior produtor e exportador de café uma vez que possui aparato tecnológico e logístico que facilitam o desenvolvimento dessa atividade agrícola, ou melhor, dessa *commodity*. As mesorregiões mineiras Sul/Sudoeste e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba podem ser destacadas pela elevada produção, produtividade e diversidade na cafeicultura (VALE; CALDERARO; FAGUNDES, 2014).

De acordo com um levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2014), a área total cultivada com a cultura de café (espécies arábica e robusta) no país totaliza 2.282.619 hectares, 1,25% inferior à área colhida na safra passada e corresponde a uma redução de 18.980 hectares. Desse total, 327.299,7 hectares (14,34%) estão em formação e 1.955.319,3 hectares (85,66%) estão em produção.

A cafeicultura é representativa para o saldo positivo da balança comercial brasileira e também para a geração de empregos, principalmente os diretos, os quais contribuem significativamente para a fixação do trabalhador no

meio rural. Sendo que o setor produtivo de café continua sendo responsável pela abertura e consolidação de novas regiões agrícolas (ANDRADE et al., 2012).

3.2 Distribuidores de fertilizantes e corretivos

A correta utilização de distribuidores de corretivos e fertilizantes é de extrema importância para se atingir metas de produção planejadas. Pois os insumos são aplicados de acordo com a necessidade da cultura. Porém, nem sempre os mecanismos são capazes de aplicar de maneira eficiente.

De acordo com Farret (2005), os mecanismos distribuidores são responsáveis pela distribuição do produto sobre o solo. Estes mecanismos podem ser classificados de acordo com o princípio utilizado no lançamento do produto ao solo, em queda livre (gravitacional), força centrífuga (centrífugo) e inércia (pendular).

Os distribuidores centrífugos predominam na aplicação de produtos sólidos na agricultura, por apresentarem grande capacidade de campo operacional e pela grande amplitude de dosagens que permitem aplicar (BAIO; MOLIN; LEAL, 2012).

O desempenho dos distribuidores de fertilizantes e corretivos pode ser afetado por diversos fatores, acarretando diversos trabalhos para a detecção e melhoras dos mesmos. Bonotto et al. (2013) testaram a deposição longitudinal de três tipos de fertilizantes em diferentes tipos de distribuidores, sendo observado para todos os testes, alto valor de coeficiente de variação na deposição dos mesmos e observaram que esses efeitos eram causados pela intermitência da dose ou pulsionamento da mesma gerando desuniformidade.

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. Sendo assim, obtiveram como resposta que com

o aumento da vazão e do adiantamento da posição das aletas, possibilitou-se maior capacidade de campo operacional ao conjunto mecanizado, pela possibilidade de operar com maior largura útil de aplicação e maior velocidade de deslocamento.

A cada dia mais, a utilização de máquinas e equipamentos com tecnologia eletrônica embarcada é uma realidade para a agricultura brasileira e a demanda é cada vez maior, sendo estas tecnologias essenciais para a crescente produção de alimento (CARVALHO FILHO et al., 2011).

Umezue Capelli (2006) desenvolveram um sistema de controle eletrônico para compensar a variação na rotação de acionamento dos dosadores de fertilizantes sólidos de um equipamento para formulação, dosagem e aplicação de fertilizantes sólidos no sulco a taxas variáveis, em função da alteração da temperatura do óleo hidráulico. Os testes realizados mostraram que o sistema de controle de rotação implementado foi adequado, mantendo inalterado o comportamento do sistema hidráulico, mesmo na ocorrência de variação da temperatura do óleo hidráulico.

Barros et al. (2011) e Serrano et al.(2007) realizaram ensaios estáticos e dinâmicos para distribuidores de adubos centrífugos no âmbito da Agricultura de Precisão (AP), em que observaram a capacidade dos equipamentos para se autorregularem perante variações na velocidade de avanço e de variações nas doses de aplicação em função da posição georreferenciada em parcelas.

Garcia, Capelli e Umezu (2012) modelaram e simularam o comportamento dinâmico de um dosador helicoidal de fertilizantes, a fim de utilizá-lo em aplicação a taxas variáveis e reduzir o coeficiente de variação (CV) da aplicação, propondo uma forma de atuação na velocidade angular de acionamento do seu eixo. Sendo que o modelo permitiu desenvolver estratégias para uma ação efetiva, a fim de reduzir significativamente o CV da taxa de aplicação de fertilizantes.

3.3 Agricultura de Precisão

Agricultura de Precisão (AP) é o conjunto de tecnologias capaz de auxiliar o produtor rural na identificação de estratégias a serem adotadas para aumentar a eficiência no gerenciamento da agricultura, maximizando a rentabilidade das colheitas e tornando o agronegócio mais competitivo (SILVA et al., 2008).

De acordo com Crestana e Fregalle (2012), a utilização de novos instrumentos, pode auxiliar a incrementação da produtividade, da qualidade e da eficiência na conservação dos alimentos, ao mesmo tempo em que se busca a conservação e preservação dos recursos naturais. Sendo o caso do avanço da fronteira do conhecimento em áreas como a automação e controle, robótica, nanotecnologia, agricultura de precisão, pós-colheita, agroenergia, ciência do solo, meio ambiente e mudanças climáticas.

O manejo diferenciado das propriedades agrícolas é possibilitado pela identificação da variabilidade espacial dos fatores que afetam a produção, como a fertilidade, e uma grande quantidade de técnicas envolvidas com a AP, tais como o uso do GPS, o sensoriamento remoto utilizando-se de imagens de satélites ou fotografias aéreas, sistemas de informações geográficas (SIGs), amostragem sistemática do solo (em malhas), tecnologias de aplicação em taxa variada, mapeamento da condutividade elétrica, sensores de plantas daninhas e doenças, monitor de colheita e mapeamento da fertilidade e da produção, entre outras (CIRANI; MORAES, 2010).

Cada vez mais, devido ao cenário instável e com o aumento dos custos de produção das *commodities* agrícolas esta tecnologia é utilizada. Fregonesi, Prete e Almeida (2014) observaram através de análises financeiras a viabilidade da inserção da AP na correção do solo, aumentando sua produtividade, acarretando excelente retorno e gerando aumento na receita.

Costa e Guilhoto (2012) apresentaram em seu trabalho sobre os impactos que a AP vem apresentando no Brasil, que se o benefício das técnicas de agricultura de precisão ocorrer sobre a produtividade agrícola, isto acarreta benefícios sociais (aumento de emprego) e econômicos (aumento de renda). Entretanto, no caso de o benefício ser apenas de redução do insumo (fertilizantes no caso analisado), apesar de este causar aumento de lucro para o produtor rural, os benefícios para a economia como um todo não ocorre, e a vantagem da técnica deve ser analisada apenas no sentido da redução de poluição.

Para as culturas de cereais, os métodos e equipamentos necessários para adoção de AP já são relativamente bem conhecidos, e fazem parte, inclusive, de equipamentos já comercializados no país. Esse não é o caso da cultura do cafeeiro, pois são poucos os trabalhos publicados sobre a utilização dos conceitos de Agricultura de Precisão, principalmente no que se diz respeito ao desenvolvimento de máquinas. Balastreire et al. (2001), Barros et al. (2011) e Silva et al. (2007) também afirmam que ainda existem poucos trabalhos desenvolvidos nesta cultura.

De acordo com Ferraz et al. (2012b), a Cafeicultura de Precisão é o conjunto de técnicas e tecnologias capaz de auxiliar o cafeicultor a manejar sua lavoura, baseando-se na variabilidade espacial dos atributos do solo e da planta, visando maximizar a rentabilidade, aumentar eficiência da adubação, pulverização e colheita, culminando na elevação da produtividade e da qualidade final do produto.

Segundo Bottega et al. (2013), a caracterização da variabilidade espacial dos atributos químicos e físicos do solo por meio de amostragem é indispensável quando se usa a agricultura de precisão, uma vez que neste sistema de manejo são aplicadas doses variáveis de insumos visando atender as necessidades específicas de cada local, reduzindo os impactos ambientais gerados pelas práticas agrícolas e além disso otimizando o processo de produção naquela área.

As pesquisas com agricultura de precisão na cultura do cafeeiro têm demonstrado variabilidade acentuada de atributos do solo e da produção. Marques Júnior et al. (2000), investigando a variabilidade espacial de atributos químicos e granulométricos do solo de uma lavoura de café na região de Patrocínio-MG, observaram dependência espacial para todos os atributos estudados.

Ferraz et al. (2012a) e Silva et al. (2007, 2008) caracterizaram a variabilidade espacial de atributos químicos do solo na cultura do cafeeiro. Sendo que as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial e puderam observar que, com a grande amplitude de variação dos atributos químicos, justifica-se a aplicação diferenciada e localizada de fertilizantes na lavoura cafeeira.

Molin et al. (2010) avaliaram os efeitos da aplicação em doses variáveis e fixas na cultura do café em relação à produtividade. Observaram que a área que recebeu fertilizantes aplicados em doses variadas apresentou produtividade 34% maior se comparada com a área que recebeu adubação em taxa fixa. A aplicação em taxa variada resultou em economia de 23% de fósforo e aumento de 13% no consumo de potássio quando comparada com a aplicação dos fertilizantes em taxa fixa.

Ferraz et al. (2011), em um estudo comparativo da viabilidade econômica de dois sistemas de adubação na lavoura cafeeira, sendo um sistema utilizando as técnicas da agricultura de precisão e outro utilizando o sistema de aplicação convencional, puderam observar que, se houvesse um aumento de produtividade de uma saca/ha com a utilização da aplicação de adubos em doses variáveis em algumas glebas, e mesmo que apresentassem produtividades iguais nos dois sistemas de aplicação, o sistema em doses variáveis seria mais vantajoso, devido às diferenças nas quantidades de adubos a serem aplicadas e estas diferenças impactariam nos custos de produção.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

Os ensaios de campo foram realizados no Campus universitário da Universidade Federal de Lavras, município de Lavras, no estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas de 21°14'S e 45°00''W, altitude média de 918 m.

4.2 Adaptação do sistema mecânico

A máquina que foi adaptada era uma distribuidora de fertilizantes que tinha suas características originais semelhantes à apresentada na Figura 1. Esta distribuidora de fertilizantes acopla-se ao trator pelas barras inferiores do sistema hidráulico do trator - acoplamento semimontado. A mesma era equipada com duas esteiras para distribuição do adubo, mecanismos dosadores volumétricos de abertura variável, distribuidores centrífugos de discos horizontais com aplicação direcionada à linha de plantio. A esteira alimentadora dupla era acionada por sistema de engrenagens e correntes de rolos cilíndricos, a partir da rodagem do próprio implemento. Os discos distribuidores eram acionados por motor hidráulico dotado de válvula reguladora de vazão, através do sistema de controle hidráulico do trator.

A distribuidora de fertilizantes possui um volume de carga de 1,10m³, largura total 1,50 m, comprimento 3,36 m, altura 1,40 m e bitola de 1,25 m.



Figura 1 Distribuidora de fertilizantes

Fonte: Marispan Implementos Agrícolas (2014)

O trator agrícola utilizado é da marca Agrale[®], modelo BX6110, com potência máxima de 105cv. O seu sistema hidráulico suporta pressão máxima de 108 kgf/cm² e vazão na bomba do hidráulico de 51,5 Lmin⁻¹. Entretanto este trator não é utilizado em lavouras cafeeiras, mas devido à disponibilidade do equipamento no local dos ensaios, o mesmo foi utilizado.

O controle de vazão das duas esteiras da distribuidora de fertilizantes foi realizado por um controlador modelo Envizio Pro da marca Raven[®] possuindo receptor DGPS submétrico no qual foi acoplado ao trator de acordo com a Figura 2.



Figura 2 Controlador de vazão

A aplicação de fertilizantes à taxa variável foi determinada por meio da variação da velocidade das esteiras da distribuidora de fertilizantes. Deste modo, para conseguir essa variação, foi removido o sistema de transmissão do rodado até as esteiras e projetou-se um sistema hidráulico com a função de variar a velocidade da esteira e disponibilizar o torque necessário para seu funcionamento. O sistema era composto de reservatório de óleo, filtro, bomba hidráulica, válvula de alívio de pressão, duas válvulas eletro-hidráulicas controladoras de fluxo e dois motores hidráulicos.

A bomba hidráulica foi acoplada ao TDP do trator fazendo com que o fluxo de óleo fosse constante. O funcionamento do sistema foi todo ordenado pelo controlador, que enviava sinais elétricos para as válvulas eletro-hidráulicas controladoras de fluxo, as quais recebiam estes sinais e controlavam o fluxo de óleo para os motores hidráulicos, variando a rotação das esteiras, ocasionando a variação da taxa de aplicação de fertilizantes e corretivos. Logo após esta etapa, foram instalados contadores de pulsos, sendo que cada um foi posicionado para

realizar leitura da coroa unida ao motor hidráulico. Sendo assim, os contadores de pulsos enviavam sinais elétricos para o controlador, obtendo-se a informação de rotação do sistema.

Ao final, foi instalado no trator o controlador, que tem como finalidade coordenar a aplicação de doses programadas manualmente (taxas fixas com variação de velocidade) ou em mapas de recomendação de aplicação (taxas variáveis).

4.3 Desenvolvimento do sistema hidráulico

O primeiro passo para a determinação dos equipamentos do sistema hidráulico foi analisar as características da distribuidora de fertilizantes. Deste modo foi observado no seu manual que a capacidade de carga era de 1.200kg e a velocidade máxima de trabalho era de 12 km.h⁻¹. Com estes dados foi possível calcular o torque necessário e a velocidade de trabalho exigido por cada esteira.

Para se calcular o torque exigido, foi utilizada a equação a seguir:

$$\tau = P.r \quad (1)$$

Sendo:

- a) τ = Torque (N.m)
- b) P= Peso da carga (N)
- c) r = raio do eixo movido (m)

Sendo assim, quando a distribuidora de fertilizantes e corretivos está totalmente cheia aplica-se um peso de 11.772 N sobre as esteiras. Porém as esteiras trabalharam de forma independente fazendo que o peso sobre cada uma

seja a metade do peso encontrado anteriormente, deste modo a carga em cada uma é de 5.886 N.

A grandeza do raio do eixo movido utilizado foi de 0,035m.

Substituindo os valores do raio do eixo e da carga necessária na Equação 1, obtivemos o torque de 206,01 N.m.

Para encontrar a variável rotação de eixo da esteira (rpm), mensurou-se o perímetro do rodado da distribuidora de fertilizantes e corretivos (2,41m). Pois era o elemento que fornecia movimento à transmissão por engrenagens e correntes das esteiras em sua forma original. Além deste fator, foi calculada a relação de transmissão da distribuidora de fertilizantes e corretivos, sendo que a mesma tinha um conjunto de engrenagens substituíveis para se obter variação na relação de transmissão, como pode-se observar na Figura 3:

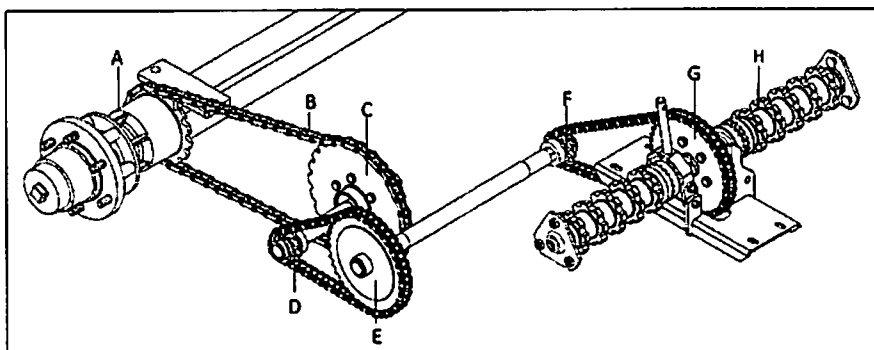


Figura 3 Relação de transmissão original do distribuidor de fertilizantes
Fonte: Adaptado de Marispan Implementos Agrícolas (2013)

Sendo:

- a) A: Eixo motriz no qual o pneu e coroa motriz estão acoplados
- b) B: Corrente de tração
- c) C: Engrenagem fixa

- d) D e E: Engrenagens substituíveis
- e) F: Engrenagem fixa
- f) G: Engrenagem fixa
- g) H: Eixo de transmissão das esteiras

Na versão original, a distribuidora de fertilizantes possuía cinco variações de diâmetros de engrenagens substituíveis, para mudança de rotação (velocidade) da esteira, que se apresentam a seguir: 7;9;15;17 e 21 cm. Com estes dados foi possível saber quais engrenagens utilizar para alcançar a maior e a menor rotação da esteira. Para se alcançar a maior rotação, a maior engrenagem (21 cm) deve estar na posição D de acordo com a Figura 2 e a menor engrenagem na posição E (7cm); para se alcançar a menor rotação, basta inverter as engrenagens que estão nas posições D para E. Como descrito anteriormente, a velocidade máxima de deslocamento da distribuidora de fertilizantes é de 12 km.h^{-1} e adotou-se para este trabalho a velocidade mínima de deslocamento de 4 km.h^{-1} .

Sendo assim, a relação de transmissão do rodado até o eixo da esteira foi calculada de modo que quando se utilizou a maior velocidade de deslocamento (12 km.h^{-1}), foi utilizado o conjunto de engrenagens que gerava maior rotação, e quando se utilizou a menor velocidade de deslocamento (4 km.h^{-1}), utilizou-se o conjunto de engrenagens que gera menor rotação. Com estas condições definiu-se a máxima e a mínima rotação possível, fazendo com que a relação de transmissão da distribuidora de fertilizantes e corretivos nunca precise ser alterada, deixando a alteração da variação de rotação para o sistema hidráulico.

Os valores máximos e mínimos do eixo de rotação das esteiras determinados para a distribuidora de fertilizantes foram respectivamente de 55,4 e 2,05 rpm.

Deste modo com a variação de rotação e torque necessário, foi possível dimensionar o sistema hidráulico. Porém utilizamos uma redução de 3:1, que fez com que o torque necessário em cada motor seja de 68,67 N.m e a variação de rotação de 166,2 a 6,15 rpm. Esta redução foi realizada com o intuito de diminuir a demanda de torque e fazer com que o motor não trabalhe a rotações extremamente baixas que poderiam gerar imprecisão no sistema.

4.4 Calibração do sistema

Para realizar a calibração do sistema, primeiramente definiu-se a abertura da comporta do dosador, e logo após foi inserida no controlador a velocidade média, a faixa de aplicação de trabalho e um valor qualquer de constante granular, que é o fator de calibração da máquina. Em seguida, posicionaram-se sacos na saída do distribuidor para a coleta do material. Desta forma, com o sistema ativado, o controlador mostra a quantidade de material em massa que já foi aplicado. Então, o sistema é desligado manualmente e o material coletado é pesado e comparado com a quantidade que foi indicada pelo controlador. Se encontrados valores diferentes, outro valor de constante granular deve ser calculado de acordo com a equação (2):

$$NC = \frac{CG \times PC}{PA} \quad (2)$$

Em que:

- a) NC: Nova Constante;
- b) CG: Constante granular utilizada anteriormente;
- c) PC: Peso indicado pelo controlador;
- d) PA: Peso coletado aferido pela balança.

Desta forma, o procedimento completo foi repetido até que se encontraram valores iguais entre o material pesado e a quantidade indicada pelo controlador.

4.5 Ensaio de campo

Quatro tipos de ensaio foram realizados, sendo eles: deposição transversal com lonas, deposição transversal com bandejas, deposição longitudinal e de regime de trabalho.

A caracterização das condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidas a partir do aparelho de monitoramento climático Kestrel[®]. Os ensaios foram realizados quando a velocidade do vento era inferior a 2 m.s^{-1} e a umidade relativa do ar abaixo de 80%.

Foram utilizados dois fertilizantes comerciais denominados como produto A e produto B, que estão representados na Tabela 1 e as porcentagens de sua constituição.

Tabela 1 Percentagem de cada nutriente na formulação declarada pelo fabricante dos dois fertilizantes utilizados nos ensaios

Denominação	N	K ₂ O	CaO	MgO
	%			
Produto A	20	20	-	-
Produto B	-	-	60	30

Ambos foram caracterizados fisicamente de acordo com a norma ISO 5.690/1 apresentado por Mialhe (1996).

Para a determinação da granulometria, utilizou-se um sistema de peneiramento com as malhas de abertura de: 0,125; 0,250; 0,500; 0,710; 1,000; 2,000; 2,800 e 4,000 mm. O peneiramento do fertilizante foi efetuado durante 5

minutos com as peneiras dispostas em ordem decrescente, empregando-se três repetições por produto.

O ângulo de repouso dos produtos foi caracterizado utilizando-se um prisma retangular provido de uma abertura da lateral móvel, com dimensões conhecidas, sendo assim, o mesmo foi preenchido inteiramente com o produto, e em seguida, procede-se a abertura da lateral de uma só vez, deixando o produto escoar; após esta ação, realizou-se a leitura da altura do produto que permaneceu no compartimento Figura 4, e, por relações trigonométricas, estipulou-se o ângulo de repouso.

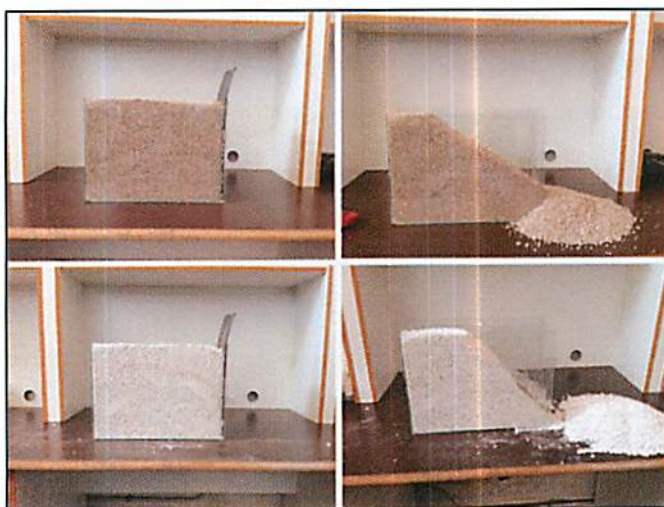


Figura 4 Determinação do ângulo de repouso

A densidade dos produtos foi obtida utilizando um recipiente de dimensões conhecidas, no qual foram inseridos até estar completamente cheio. Assim o recipiente foi pesado em uma balança de precisão e a relação entre a massa e volume determinou a densidade dos produtos.

O método de determinação da umidade dos produtos adotado foi o da estufa. Este método consiste em se determinar a massa das amostras do material antes e depois da secagem em estufa a 105°C durante 24 horas, ou até se obter massa constante. A umidade é determinada pela Equação 3:

$$U(\%) = \frac{\text{Massa de água}}{\text{Massa do material seco}} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

- a) $U(\%)$ = umidade à base de peso ou umidade gravimétrica;
- b) Massa de água = diferença entre a massa do material antes e depois de passar pela estufa a 105°C por 24 horas;
- c) Massa do material seco = massa obtida após a secagem em estufa menos a massa do recipiente ao qual a amostra foi levada à estufa.

4.5.1 Ensaios de deposição transversal com lonas

Este ensaio avaliou dois produtos, três vazões distintas, correspondendo a 400, 700, e 1.000 kg.ha⁻¹ e duas velocidades distintas, correspondendo a 4,5 e 6,2 km.h⁻¹, que representam as velocidades nas marchas 2B e 3B (reduzidas) numa rotação de 2.200 rpm do motor e a TDP apresentando rotação de 540 rpm, a qual foi verificada através de um tacômetro de contato, sendo que em todas as doses foram realizados testes com todas as velocidades.

Foi adotado uma distância de 20 m antes das lonas coletoras para a estabilização do sistema. Em cada ensaio foram realizadas cinco repetições. Após este processo, as amostras foram enumeradas e pesadas em balança eletrônica com resolução de 0,01 g.

O ensaio teve como objetivo realizar verificações entre doses programadas e doses aplicadas, os efeitos das variações das velocidades, e ainda

observar se com a variação dos lados dos produtos na máquina a precisão foi alterada.

Para a coleta do material, foi disposto um par de lonas com 2,0m de comprimento cobrindo os dois lados de distribuição da máquina de acordo com a Figura 5.

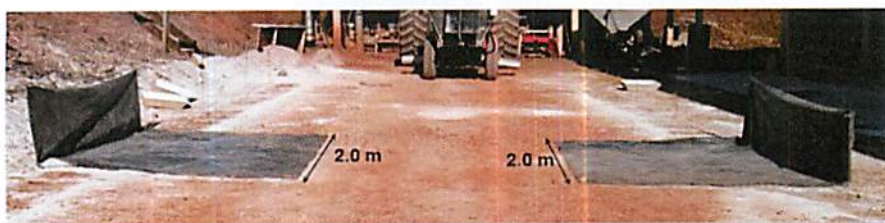


Figura 5 Distribuição das lonas de coleta

A verificação entre a dosagem programada e aplicada foi realizada pela variação percentual através da coleta de todo material depositado nas lonas, sendo estes valores extrapolados em $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para realizar as comparações; com estes valores criou-se gráficos de dispersão para avaliação visual das variações. Com os dados de variações, foram analisados se esses erros variam de acordo com o produto utilizado, doses, velocidade e lado de aplicação. Para esta análise, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial, e para os valores significativos, foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% através do programa computacional Sisvar[®] (FERREIRA, 1999).

4.5.2 Ensaio de deposição transversal com bandejas

O ensaio teve como objetivo caracterizar o alcance máximo de distribuição transversal de aplicação em ambos os lados do sistema de distribuição de fertilizantes e corretivos, pois lavouras cafeeiras aptas à utilização de máquinas possuem espaçamentos entre linhas de até 4,0 m;

portanto, essa variável deve ser considerada para que o equipamento esteja habilitado a trabalhar em condições reais de campo. Este ensaio avaliou os dois produtos e três vazões distintas, correspondendo a 400, 700 e 1.000 kg.ha⁻¹.

Inicialmente, as bandejas que seguem o padrão da norma ISO 5.690/1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1981), foram locadas possuindo dimensões de 0,5 m X 0,5 m e profundidade de 0,30m.

As bandejas foram dispostas de modo a cobrir toda a faixa de deposição transversal aplicada pelo equipamento, espaçadas em 2,20 m na própria linha, formando dois grupos: cada grupo possui cinco bandejas do lado esquerdo (E1, E2, E3, E4, E5), e cinco bandejas do lado direito (D1, D2, D3, D4, D5) Figura 6. Este ensaio foi realizado de maneira estacionária, pois a largura do trator era maior do que a distância mínima de distribuição do produto. Sendo assim a velocidade simulada foi inserida no controlador e coletou-se a aplicação de 15s do sistema em cada uma das três repetições.

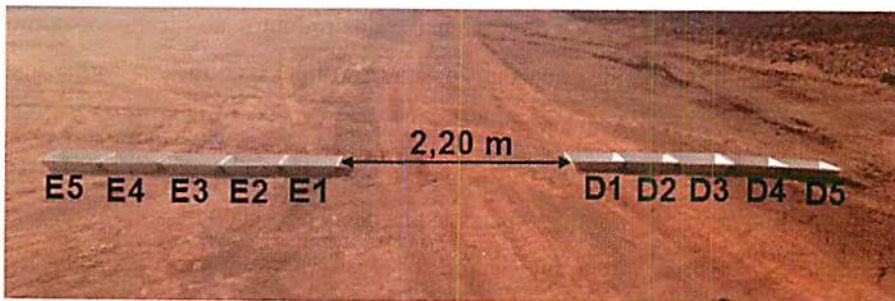


Figura 6 Distribuição transversal das bandejas de coleta

Para analisar o alcance máximo de distribuição do sistema foram criadas equações de regressão linear, pois como cada bandeja de coleta possui largura de 0,50 m, essa unidade torna-se muito grande para a avaliação, podendo analisar apenas cinco valores de alcance: de 3,2; 4,2; 5,2; 6,2; e 7,2. Estes valores

representam as distâncias em que estão dispostas as bandejas, e com o uso das equações foram estimadas as distâncias máximas de aplicação do sistema.

Os valores para a criação das equações de regressão linear foram obtidos através do material coletado nas bandejas na ordem de E5 e D5 até a E1 e D1. O valor de cada posição é somado ao valor da posição anterior, sendo que na posição E1 e D1, a amostra conterà todo o material depositado em todas as bandejas. Essa configuração foi utilizada porque considerou-se que, ao analisar uma distância anterior a outra posição, o material depositado a uma distância posterior seria interceptado pela própria planta do cafeeiro. Assim obteve-se a média das repetições gerando as equações que foram realizadas entre as diferentes doses e produtos. Consideramos que o valor da dosagem estimada devesse possuir uma variação em relação à dosagem requerida em até 15%, para ser aceita. Deste modo, foram calculados os valores que representam a dose aceita e inseridos nas equações, obtendo-se os valores de alcance máximo, e com isto foi calculada a média para a obtenção do valor de alcance máximo médio do sistema.

O efeito das variações de dosagens e dos produtos no alcance máximo foi caracterizado através de equações de regressão linear, da mesma forma que as equações anteriores. A única mudança é que, ao invés de se utilizar valores médios, utilizaram-se os valores de cada repetição para cada condição. Desse modo, com os valores obtidos pelas equações que estavam sob a mesma condição de variação foram estimados os valores para observar o comportamento da variável alcance máximo em diferentes condições. Para essa análise, foi utilizado o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial, e para os valores significativos foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5% através do programa computacional Sisvar® (FERREIRA, 1999).

4.5.3 Ensaio de deposição longitudinal

O ensaio de deposição longitudinal teve como finalidade a determinação das características de distribuição do equipamento ao longo da linha de deslocamento da máquina e a verificação da dosagem nos dois lados de distribuição.

As bandejas foram dispostas em linha simples, no sentido de deslocamento da máquina, somando-se 30 bandejas para cada lado, estas com as mesmas características das usadas no ensaio de deposição transversal com bandejas. As linhas ficaram 0,7 m distantes dos defletores de distribuição do sistema de aplicação Figura 7.



Figura 7 Deposição longitudinal de fertilizantes

Foram realizadas cinco passagens nas doses de 400, 700 e 1.000 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, nas velocidades de 4,5 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ e 6,2 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ e utilizando dois produtos. Após aplicação, cada amostra foi enumerada e pesada dividindo o valor encontrado pelo número de passagens.

Com os dados obtidos por pesagem do material, foi calculada a frequência relativa (em percentagem), tomando por base o maior valor obtido (100%). Os dados foram expressos na forma de gráfico cartesiano, cuja ordenada representará a percentagem de produto aplicado em cada ponto ao longo da distância percorrida no ensaio.

A verificação da dosagem em relação à variação nos dois lados de aplicação foi realizada por (DIC), e para os valores significativos foi aplicado o teste de Scott-Knott a 5%, utilizando o programa computacional Sisvar® (FERREIRA, 1999).

4.5.4 Ensaio de regime de trabalho

Este ensaio tem como objetivo verificar o comportamento do sistema de distribuição em condições reais de campo. Para isso, foram espalhados pelo campo 7 pares de lonas com 2,0m de comprimento cobrindo os dois lados de distribuição da máquina.

Deste modo, as doses foram variadas de acordo com mapas de aplicação que foram inseridos no controlador. Neste ensaio utilizou-se apenas um produto, porém cada lado da máquina trabalhava com doses diferentes. Foram produzidos quatro mapas de distribuição que foram nomeados de Mapa 1, Mapa 2, Mapa 3 e Mapa 4, respectivamente Figuras 8, 9, 10 e 11. Em cada passagem de distribuição da máquina, utilizaram-se dois mapas, sendo assim, o Mapa 1 e o Mapa 2 foram utilizados conjuntamente assim como o Mapa 3 e Mapa 4; sendo que, o primeiro e o terceiro mapas foram aplicados do lado esquerdo do sistema de distribuição à taxa variável e o segundo e o quarto do lado direito.

As Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam os mapas de aplicação à taxa variável representando os pontos de coletas e suas respectivas doses de aplicação.

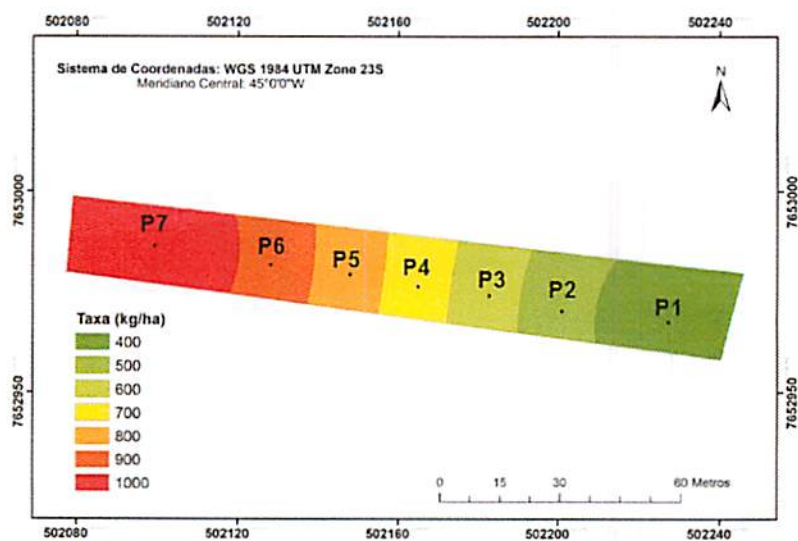


Figura 8 Mapa de aplicação à taxa variável (Mapa 1)

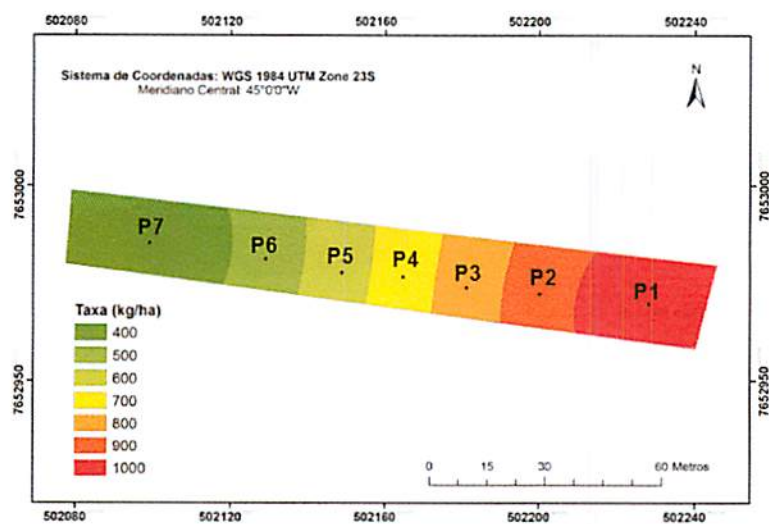


Figura 9 Mapa de aplicação à taxa variável (Mapa 2)

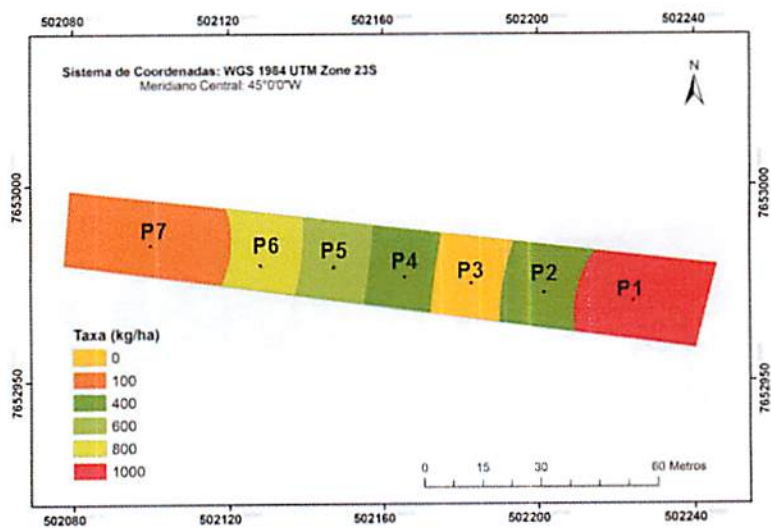


Figura 10 Mapa de aplicação à taxa variável (Mapa 3)

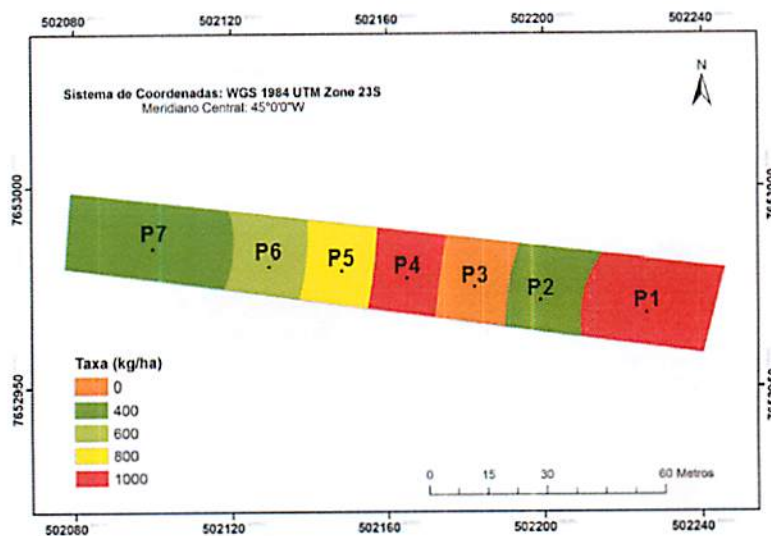


Figura 11 Mapa de aplicação à taxa variável (Mapa 4)

Após a passagem do conjunto mecanizado nos pontos demarcados, o material todo foi coletado, pesado e extrapolado para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para comparação com a dose programada. Com os valores de erros através de percentagem do quanto o material coletado diferiu da indicação do mapa, foram criados gráficos de dispersão para análise visual da variação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Composição do sistema hidráulico

O primeiro componente dimensionado foram os motores hidráulicos, pois todo o restante do sistema funcionou em função dos mesmos. Os motores hidráulicos utilizados foram da marca Sauer Danfoss[®], modelo DS 50.

A bomba hidráulica responsável por fornecer fluxo de óleo para o sistema é uma bomba de engrenagem da marca Rexroth[®], modelo G2. Esta bomba foi acoplada ao sistema através da Tomada de Potência (TDP) do trator junto a um multiplicador de rotação, sendo da ordem de 1:3. Como a rotação padrão da TDP do trator é de 540 rpm, a bomba trabalha com o triplo desta rotação, ou seja, 1.620 rpm. Com estas características a bomba forneceu fluxo de óleo na ordem de 32 L.min⁻¹.

Com este resultado de fluxo de óleo da bomba hidráulica, foi possível obter as características de torque e rotação nos motores hidráulicos, analisando sua curva característica (Figura 12). Um fator a ser observado é que o fluxo fornecido pela bomba é para os dois motores e deste modo os resultados presentes no diagrama foram baseados com o fluxo de 16 L.min⁻¹, ou seja, a metade do valor que é fornecido pela bomba.

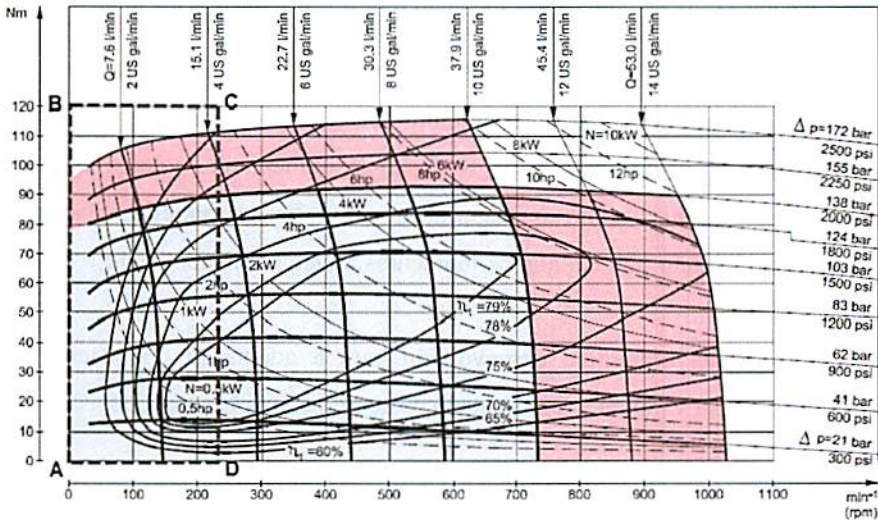


Figura 12 Curva característica do motor hidráulico

Fonte: Sauer Danfoss (2013).

Como se pode observar na Figura 12, a área delimitada entre os pontos A, B, C e D é a região de trabalho dos motores de acordo com o fluxo de óleo que a bomba fornece. Deste modo é possível observar que o eixo das abscissas superior, indica a vazão de entrada de óleo no motor e o eixo das abscissas inferior, indica a rotação dos motores em rpm. O eixo das ordenadas apresenta o torque e a pressão de trabalho respectivamente à esquerda e à direita do eixo.

A rotação máxima de trabalho dos motores hidráulicos ficou em torno de 240 rpm. Devido a este fator, o motor foi considerado apto para a aplicação, pois a exigência era da ordem de 166,2 rpm, ou seja, 44% maior do que o requerido, dando uma boa margem de segurança levando-se o fato de que um possível aquecimento do óleo pode variar a eficiência do sistema.

Quanto ao torque, o sistema suporta até 110 N.m, após este valor a válvula de alívio controla a pressão e, indiretamente, o torque. Com este valor o sistema apresentou uma boa reserva de torque, pois o necessário calculado é de

68,67 N.m. Essa folga se justifica, pois as condições de trabalho do sistema de distribuição de fertilizantes e corretivos à taxa variável, no campo, são variáveis. Uma simples depressão que a distribuidora de fertilizantes e corretivos à taxa variável passe no campo pode gerar sobrecargas, aumentando a carga aplicada sobre a esteira, ou mesmo o material a ser aplicado pode ser bastante heterogêneo, fazendo que em alguns momentos a carga aplicada sobre a esteira varie.

O sistema hidráulico desenvolvido para a adaptação do sistema de distribuição à taxa variável é representado de acordo com a Figura 13.

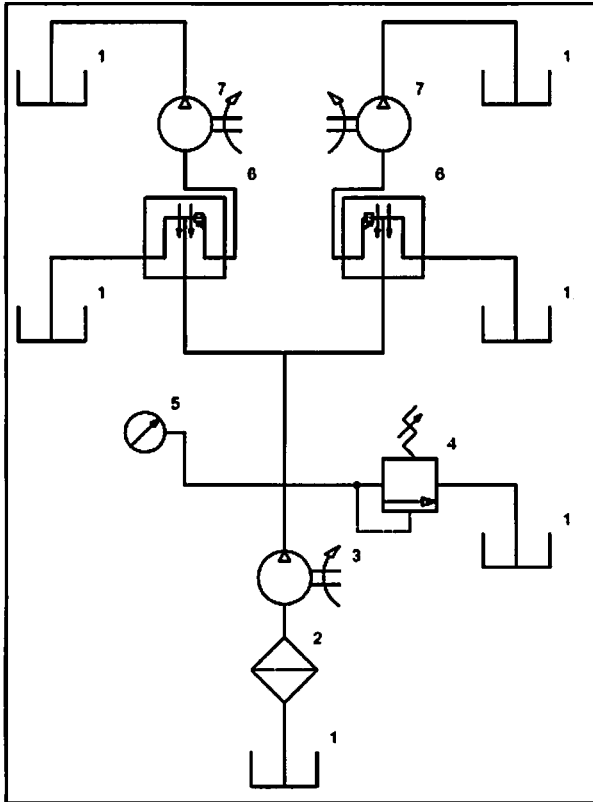


Figura 13 Desenho esquemático do sistema hidráulico adaptado na distribuidora de fertilizantes e corretivos à taxa variável

Legenda:

- 1) Reservatório
- 2) Filtro
- 3) Bomba
- 4) Válvula de alívio
- 5) Manômetro
- 6) Válvula reguladora de fluxo
- 7) Motor

O funcionamento do sistema iniciava quando a bomba gerava pressão negativa no sentido do reservatório para a mesma, passando por um filtro, caracterizando-o como filtro de linha de sucção. Essa pressão negativa é que fez com que o óleo presente no reservatório se locomovesse até a bomba.

Com isso a bomba pode fornecer vazão para todo o sistema hidráulico, sendo acionada pela TDP do trator.

Como representado na Figura 13, pode-se observar a válvula de alívio, que teve a função de sustentar a pressão do sistema. Caso a pressão aumentasse de maneira excessiva, a mesma se abria, levando o óleo direto ao reservatório.

Após este componente, o óleo continuava seu fluxo e encontrava duas válvulas reguladoras de fluxo. Estas válvulas eram as que controlavam o quanto de óleo chegava aos motores. Elas funcionavam com variações de pulsos elétricos, sendo estes enviados pelo controlador. Deste modo, dependendo do sinal enviado às válvulas, as mesmas permitiam maior ou menor fluxo de óleo para os motores. O óleo que não era aproveitado era enviado diretamente ao reservatório.

Finalizando o sistema hidráulico estavam os motores responsáveis em fornecer torque e rotação para as esteiras, fazendo que houvesse variação de doses no sistema de distribuição de fertilizantes e corretivos à taxa variável. Deste modo, quanto mais fluxo as válvulas permitiam aos motores, maior a rotação apresentando maiores doses de aplicação. Após a passagem de óleo pelos motores, o mesmo seguia de volta ao reservatório. Fazendo com que o sistema trabalhasse sobre um ciclo fechado de fluxo de óleo.

5.2 Adaptações na máquina

A primeira adaptação foi dividir o reservatório de adubo ao meio para que se isolassem os produtos e as esteiras. O material utilizado foi o aço 1.010 em chapas com 1/8 polegadas (3,17 mm) de espessura, que foi moldado e soldado sobre o reservatório da máquina.

O passo seguinte foi dividir o eixo de transmissão das esteiras, representado na Figura 3 (H), para que as mesmas ficassem independentes.

Como podemos observar na Figura 14, o eixo foi cortado ao meio e através de mancais e rolamentos se realizou a fixação dos mesmos, permitindo rotação independente.

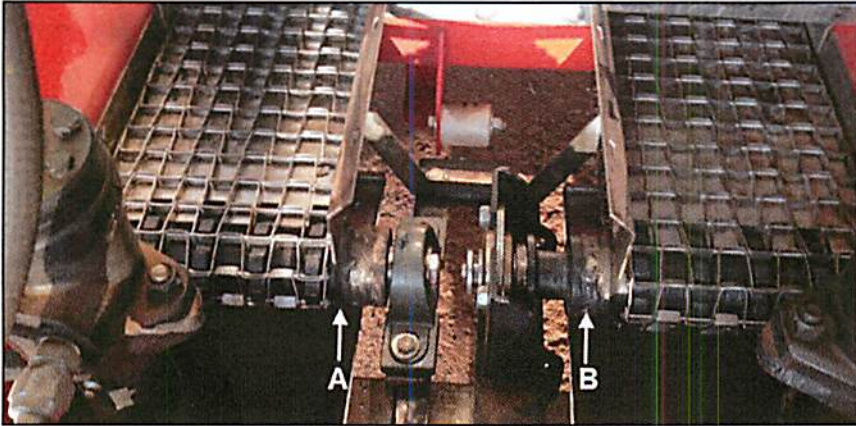


Figura 14 Eixos independentes de transmissão das esteiras (A e B)

Outra etapa da adaptação foi retirar da máquina a relação de transmissão da mesma para dar lugar ao sistema de transmissão com rotação variável. Neste novo sistema, fez-se uma redução de 3:1 acoplado uma engrenagem em cada esteira ligando-a a outra engrenagem acoplada a cada um dos motores hidráulicos (Figura 15).

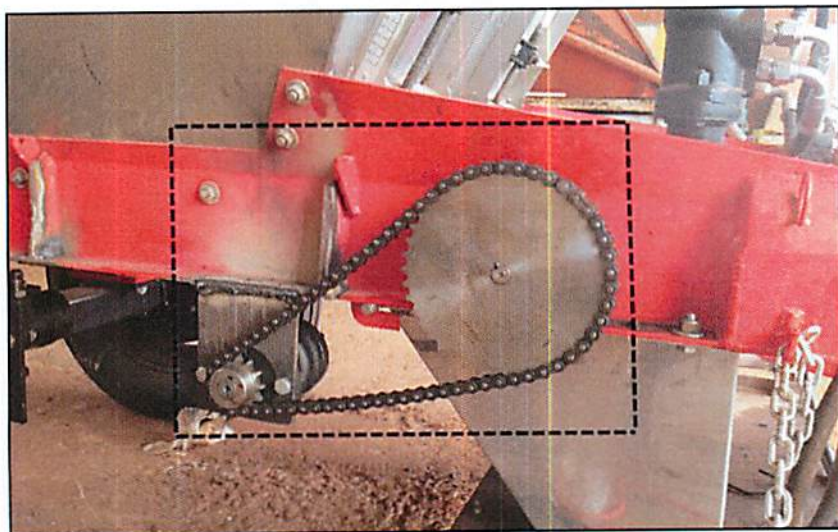


Figura 15 Relação de transmissão do motor ao eixo motriz das esteiras

Como podemos observar na Figura 15, foi realizado um mecanismo de transmissão no qual se acoplou o motor abaixo do reservatório de fertilizantes e corretivos da máquina, onde foi soldado uma chapa metálica e o motor foi fixado na mesma. Deste modo, foi possível que o motor transmitisse potência para o eixo motriz acoplado à engrenagem de maior tamanho. Um fato que deve ser observado é que foram feitos dois mecanismos idênticos de transmissão nos lados da máquina devido à independência das esteiras.

Outro fator de adaptação na máquina foi instalar um reservatório de óleo com a capacidade de 80 L como podemos ver na Figura 16 apresentada a seguir.



Figura 16 Vista traseira do sistema de distribuição à taxa variável. Sendo (A) reservatório de óleo e (B) filtro de óleo.

Na Figura 16, podemos observar o filtro de óleo do sistema, que foi instalado na linha de sucção da bomba.

Outra adaptação do sistema que pode ser visualizada na Figura 17, foi acoplar um eixo carda a um multiplicador de rotação, pois este eixo é o órgão que transmite movimento à bomba. Este multiplicador teve a função de triplicar a rotação da TDP para que a bomba trabalhasse em uma rotação recomendada, fazendo com que a mesma gerasse fluxo necessário para abastecer todo o sistema hidráulico.

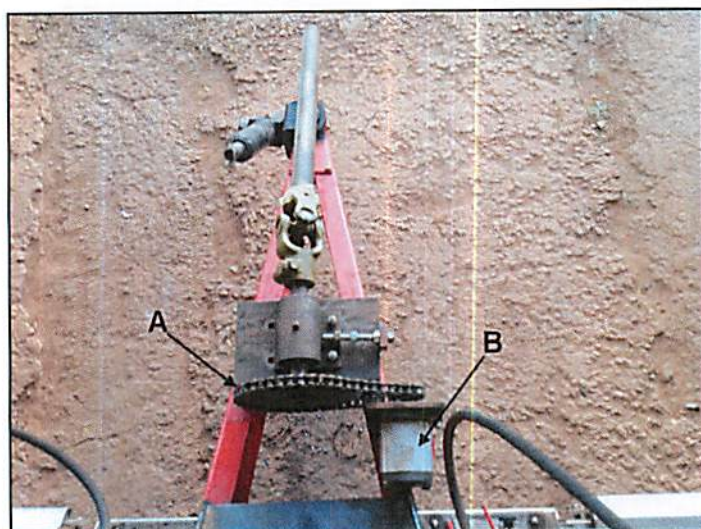


Figura 17 Vista superior da parte frontal do sistema de aplicação à taxa variável. Sendo (A) multiplicador de rotações e (B) bomba hidráulica

Também foram instaladas as válvulas controladoras de fluxo na máquina (Figura 18).

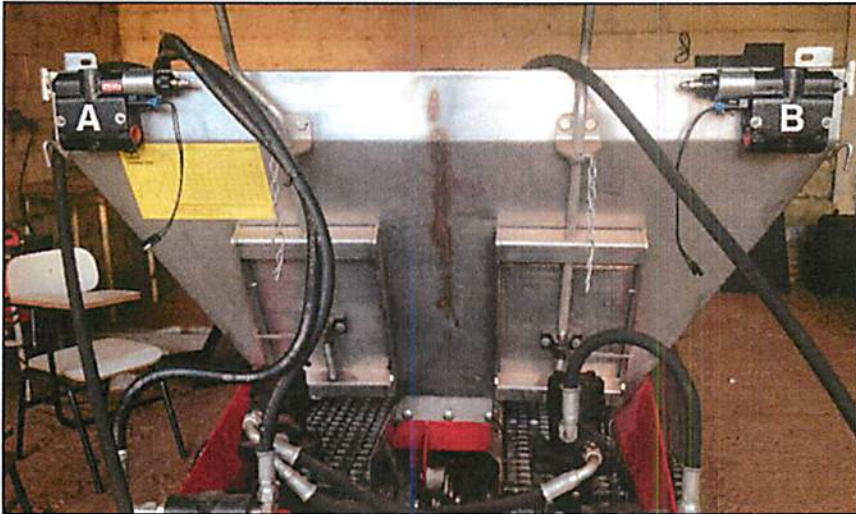


Figura 18 Vista frontal do sistema de distribuição à taxa variável. Sendo (A e B) as válvulas controladoras de fluxo

Pode-se observar que as válvulas controladoras de fluxo estão acopladas nos lados superiores direito e esquerdo do reservatório. As mesmas têm capacidade de trabalhar com vazões de até $57,8 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$.

5.3 Análise física dos materiais aplicados

A análise física apresentada pelos produtos utilizados durante os ensaios estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 Análise física dos produtos utilizado nos ensaios

Propriedades Físicas	Produtos	
	A	B
Granulometria (mm)	%	%
4,0	13,16	74,59
2,8	63,25	14,67
2,0	17,35	5,53
1,0	4,72	1,26
0,710	1,51	1,11
0,5	0	0,49
0,250	0	0,48
0,125	0	1,68
< 0,125	0	0,19
Densidade (g.cm ⁻³)	1,09	0,86
Umidade (%)	2,1	1,8
Ângulo de Repouso (°)	25,20	26,83

A maior quantidade do produto A foi retida nas malhas com maior ou igual ao diâmetro de 2,8 mm representando 76,41% da amostra. Para o produto B, a maior quantidade do produto retido foi maior ou igual a 4 mm, representando 74,59% da amostra. Sendo assim o produto B possui diâmetro médio de grânulos superior em relação ao produto A.

Os ângulos de repouso dos materiais foram de 25,20° e 26,83° para A e para B respectivamente, apresentando boas características de escoamento. De acordo com a Enciclopédia Agrícola Brasileira (MIALHE, 1996), materiais que apresentam até 40° para ângulo de repouso apresentam boas características de escoamento, e os que apresentam valores acima de 50° são classificados como de baixo índice de escoamento.

5.4 Análises do ensaio de deposição transversal com lonas

A análise de variância dos dados referentes as avaliações de distribuição transversal do produto aplicado encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 Análise de variância ensaio de deposição transversal dos dados referentes aos lados de aplicação

Causas da variação	GL	Quadrado Médio e significância de F	
		Erro Lado Direito	Erro Lado Esquerdo
Produto (P)	1	0,291099 ^{ns}	0.115946 ^{ns}
Dose (D)	2	0,206371 ^{ns}	0.415235 ^{ns}
P x D	2	0,030431 ^{ns}	0.027094 ^{ns}
Velocidade (V)	1	0,927823 ^{ns}	0.194019 ^{ns}
V x P	1	0,513147 ^{ns}	0.003545 ^{ns}
V x D	2	0,401484 ^{ns}	1.984428 ^{ns}
V x D x P	2	0,275277 ^{ns}	1.175203 ^{ns}
Erro	48	0,770544	0.735128
cv (%)		-52,68	-57.29
Média Geral		-1,67	-1.50

ns: não significativo. *: significativo ao teste F a 5% de probabilidade. cv: coeficiente de variação.

A interação velocidade x doses x produtos não foi significativa ($p > 0,05$). Logo, os efeitos das variações de velocidade, doses e produtos não interferem no erro de aplicação entre os lados direito e esquerdo de distribuição da máquina. Sendo assim, pode-se afirmar que, independente da velocidade, das doses de aplicação e do produto utilizado, o sistema se ajusta às condições determinadas, aplicando a dose requerida pelo controlador.

Na Tabela 4, são apresentados os valores médios de erro de aplicação percentual do lado direito do sistema de aplicação à taxa variável em relação às variáveis produto, velocidade e dose.

Tabela 4 Erro médio de aplicação (%) do lado direito do sistema de distribuição à taxa variável

Produto	Velocidade (km/h)	Dose (kg ha ⁻¹)		
		400	700	1000
A	4,5	-1,55	-1,64	-1,50
	6,2	-1,69	-1,40	-1,80
B	4,5	-1,75	-1,36	-1,45
	6,2	-1,72	-1,84	-2,29

O lado direito do sistema de distribuição à taxa variável, em todas as variáveis estudadas, apresentou subdosagem, sendo que, o maior erro médio encontrado foi de -2,29% para o produto B em velocidade de 6,2 km.ha⁻¹ e dose de 1.000 kg.ha⁻¹.

Os valores de erro em porcentagem das aplicações realizadas nos ensaios do lado direito estão representados no Gráfico 1 e 2.

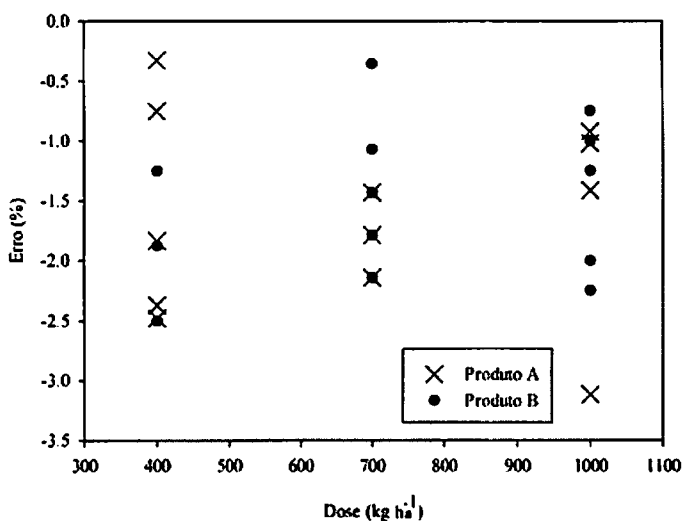


Gráfico 1 Valores percentuais dos erros de aplicação dos produtos A e B nas diferentes doses referentes ao Lado Direito de distribuição para a velocidade de 4.5 km.h⁻¹

O maior e o menor erro de aplicação foram observados pelo produto A, apresentando variação de -3,12% na dose de 100 kg.ha⁻¹ e -0,32% na dose de 400 kg.ha⁻¹. Apesar de mostrar uma tendência de quanto maior for a dose aplicada, maior é o erro de aplicação, esses resultados são estatisticamente iguais como representado na análise de variância (Tabela 3).

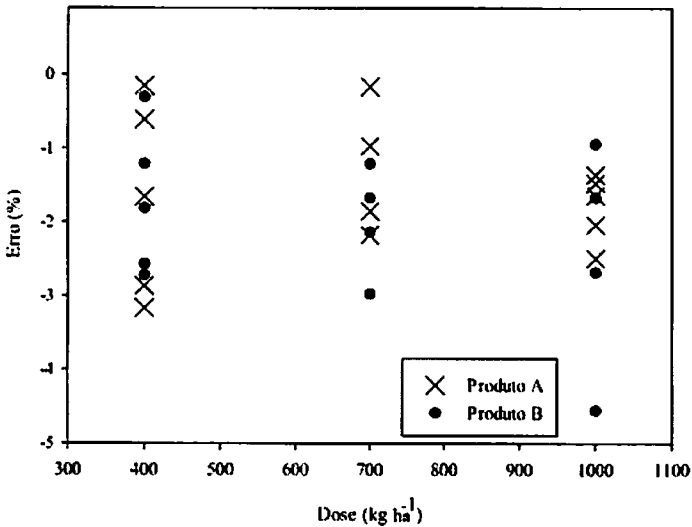


Gráfico 2 Valores percentuais dos erros de aplicação dos produtos A e B nas diferentes doses referentes ao Lado Direito de distribuição para a velocidade de 6,2 km.h⁻¹

Como podemos observar no Gráfico 2, o maior erro de aplicação encontrado foi de -4,56% referente à dose de aplicação de 1.000 kg.ha⁻¹ do produto B. O menor erro encontrado foi para a dose de 400 kg.ha⁻¹ para o produto A.

Tabela 5 Erro médio de aplicação (%) lado esquerdo do sistema de distribuição à taxa variável -

Produto	Velocidade (km/h)	Dose (kg ha ⁻¹)		
		400	700	1000
A	4,5	-1,75	-1,21	-1,20
	6,2	-1,38	-1,49	-1,69
B	4,5	-1,76	-1,83	-0,89
	6,2	-1,72	-0,96	-2,08

O maior erro médio observado no lado esquerdo de distribuição foi de -2,08% para o produto B, velocidade de 6,2 km.h⁻¹ na dose de 1.000 kg.ha⁻¹. Nestas mesmas condições, foi observado o maior erro médio no lado direito, porém, apesar de ser uma tendência, a mesma não é significativa como foi discutido anteriormente.

Os valores de erro em porcentagem das aplicações realizadas nos ensaios do lado esquerdo estão representados no Gráfico 3 e 4.

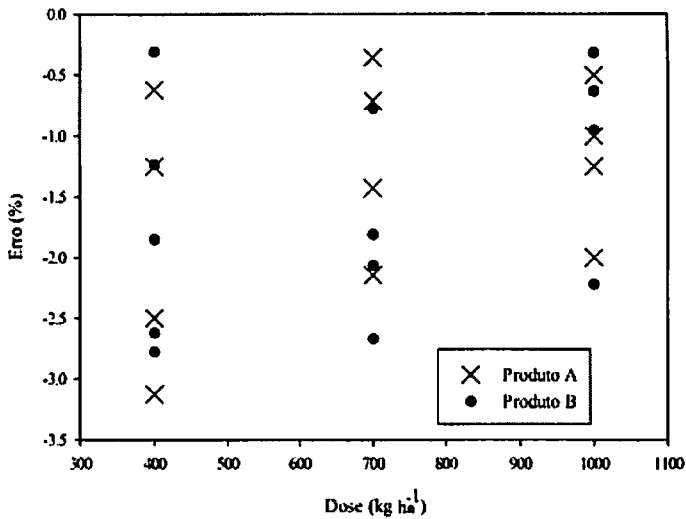


Gráfico 3 Valores percentuais dos erros de aplicação dos produtos A e B nas diferentes doses referentes ao lado esquerdo de distribuição para a velocidade de 4,5 km.h⁻¹

O maior erro apresentado para o lado esquerdo de distribuição na velocidade de 4,5 km.ha⁻¹ de acordo com o gráfico, foi de -3,16%, com o produto A na dose de 400 kg.ha⁻¹. O menor erro observado foi de -0,3 % para o produto B, dose de 700 kg.ha⁻¹.

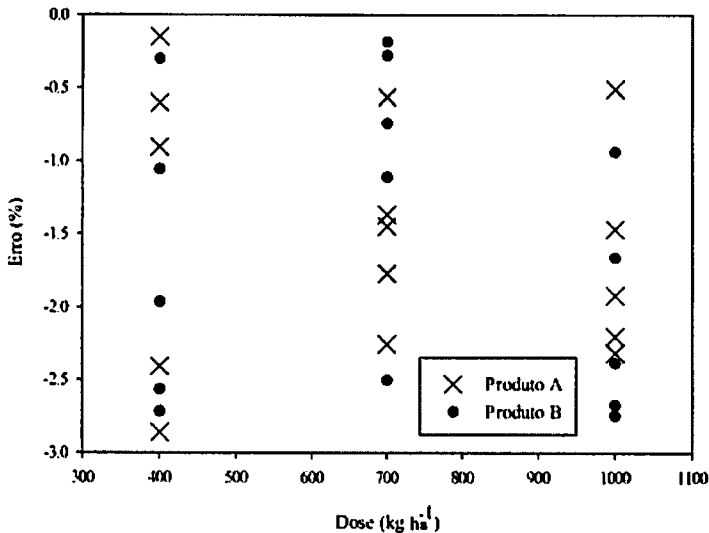


Gráfico 4 Valores percentuais dos erros de aplicação dos produtos A e B nas diferentes doses referentes ao lado esquerdo de distribuição para a velocidade de 6,2 km.h⁻¹

O maior erro observado no Gráfico 4 foi de -2,86% e o menor foi de -0,15%, ambos referentes ao produto A na dose de 400 kg.ha⁻¹.

Todos os valores de aplicação em todos os tipos de variações apresentaram subdosagem de -0,3 a -4,56 %, obtendo variação média de -1,59%; Barros (2010), em trabalho semelhante, utilizando uma máquina de distribuição de corretivos e fertilizantes à taxa variável que aplicava apenas um produto, encontrou valores que variaram entre -0,74 a -3,70%, obtendo variação média de -2,67%. Sendo assim, podemos afirmar que o sistema de aplicação à taxa variável aplicando dois produtos simultaneamente pode se considerar preciso, pois apesar de apresentar um erro absoluto maior, a média do erro observado foi menor do que o valor comparado.

Um fator no qual o mecanismo pode ter apresentado menor erro médio é devido ao sistema hidráulico independente, fazendo que ocorresse maior

estabilidade no fornecimento do fluxo de óleo para o sistema de distribuição à taxa variável.

5.5 Análises do ensaio de deposição transversal com bandejas

A análise de variância dos dados referentes às avaliações de distribuição transversal do produto aplicado encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 Resumo da análise de variância do alcance dos dois produtos testados, nas três diferentes doses, considerando os dois lados do sistema de distribuição à taxa variável

Causas da variação	GL	Quadrado Médio e significância de F
		Alcance
Produto (P)	1	1,291360*
Dose (D)	2	0,014322*
P x D	2	0,031274*
Lado(L)	1	0,034062*
L x P	1	0,019049*
L x D	2	0,028950*
L x D x P	2	0,038582*
Erro	24	0,000479
cv (%)		5,6
MédiaGeral		3,9196

ns: não significativo. *: significativo ao teste F a 5 % de probabilidade. cv: coeficiente de variação.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados do teste Scott-Knott, a 5% de probabilidade para a variável resposta alcance nos diversos tratamentos estudados.

Tabela 7 Médias de alcance nos diversos tratamentos estudados -

Produto	Lado	Dose (kg ha ⁻¹)		
		400	700	1000
A	Esquerdo	3,72aB	3,71aB	3,74aB
	Direito	3,72aB	3,73aB	3,76aB
B	Esquerdo	4,02bA	4,11aA	4,04 aA
	Direito	4,37aA	4,11aA	4,01 aA

Valores seguidos de mesma letra minúscula não diferem a 5% de probabilidade estatística pelo teste de Scott-Knott para desdobramento de "Lado" e valores seguidos de mesma letra maiúscula não diferem a 5% de probabilidade estatística pelo teste de Scott-Knott para desdobramento de "Produto".

A interação Lado x Doses x Produtos foi significativa ($p > 0,05$). Logo os efeitos conjuntos dos lados de aplicação, doses aplicadas e produtos utilizados interferem no alcance de distribuição do sistema de distribuição à taxa variável.

Os lados de distribuição da máquina apenas diferiram em uma mesma condição, para a dose de 400 kg.ha⁻¹ utilizando o Produto B. Um fator que pode ser atribuído a esta variação, é uma possível variação na horizontalidade de um dos discos de distribuição centrífuga, que pode causar diferença entre as deposições, como descrito por Serrano et al. (2007). Durante os ensaios não foi percebida nenhuma variação aparente do mecanismo, sendo que os discos de distribuição estavam sobre a mesma condição de rotação, ocorreu variação na distribuição quando se aplicou a menor dose de aplicação do experimento.

Outro fator observado foi a diferença do alcance de distribuição na variável Produto. O Produto A foi aplicado a uma distância média máxima de 3,76 m e o produto B 4,11 m, ambos sob a mesma condição de velocidade dos discos de distribuição do sistema de aplicação. Esta variação se dá pelo fato das diferentes propriedades físicas dos produtos utilizados, que de acordo com Molin et al. (2009), em um estudo sobre segregação de nutrientes, observaram alteração na formulação quando aplicados com máquinas de distribuição

centrífuga, sendo que produtos que apresentam maior densidade ou tamanho são lançados pelo distribuidor a maiores distâncias.

Em relação à distância de aplicação em ambos os produtos, essa foi satisfatória, pois em áreas onde se utiliza mecanização da cultura do cafeeiro há variação de espaçamento entre linhas variando de 3,5 a 4,0 m de distância. Sendo assim, cada lado de distribuição do sistema de aplicação deve aplicar a metade da distância do espaçamento presente na cultura, ou seja, o sistema de distribuição deve ter um alcance de distribuição de pelo menos dois metros para que o mesmo esteja apto para a aplicação de fertilizantes e corretivos na cultura do cafeeiro.

Nos Gráficos 5 6, 7 e 8, estão representados os valores de alcance em relação à dose no sistema de distribuição transversal.

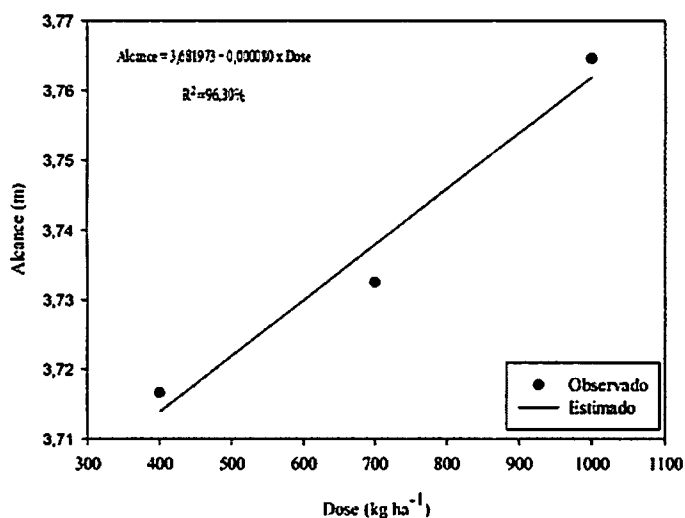


Gráfico 5 Variação do alcance em relação à dose do lado direito de distribuição do sistema para o produto A.

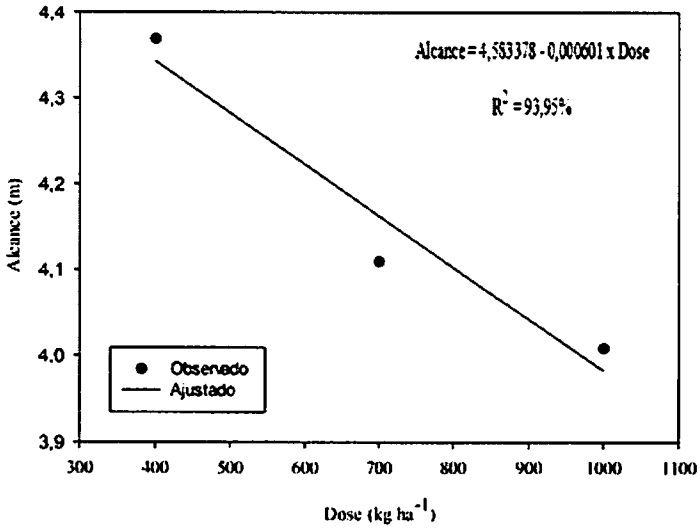


Gráfico 6 Variação do alcance em relação à dose do lado direito de distribuição do sistema para o produto B

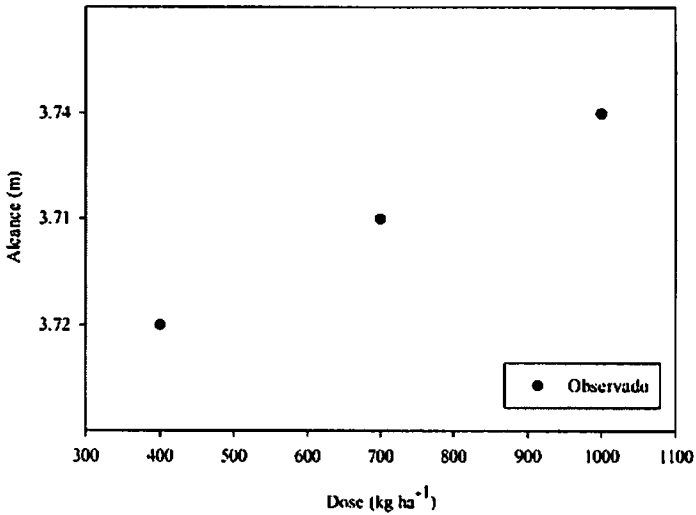


Gráfico 7 Variação do alcance em relação à dose do lado esquerdo de distribuição do sistema para o produto A

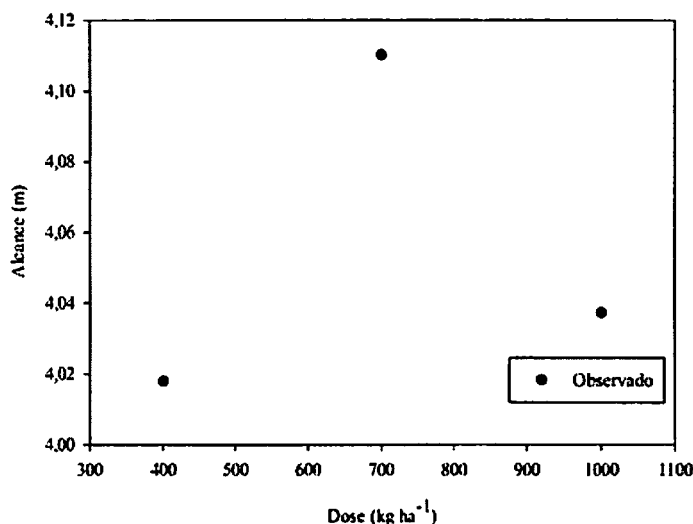


Gráfico 8 Variação do alcance em relação à dose do lado esquerdo de distribuição do sistema para o produto B

Para o lado direito de distribuição da máquina, houve variação significativa do alcance em relação à dose aplicada, porém a relação é inversa entre o Produto A e o Produto B. Para o primeiro, quanto maior a dose, maior o alcance e para o segundo, quanto menor a dose, maior o alcance. Esta variação pode ser devido às diferenças entre as propriedades físicas dos produtos utilizados. Werner et al. (2007) observaram em seu trabalho que a variação da aplicação de seu equipamento variava como se fosse em ciclos, e concluiu que essa dada variação foi devida à granulometria do produto que interferiu na sua fluidez na máquina.

5.6 Análises do ensaio de deposição longitudinal

A análise de variância dos dados referentes às avaliações de deposição longitudinal do produto aplicado encontra-se na Tabela 8.

Tabela 8 Análise de variância do ensaio de deposição longitudinal realizado com dois tipos de produto, doses de aplicação de 400, 700 e 1.000 kg ha⁻¹ e considerando os lados direito e esquerdo de distribuição do sistema à taxa variável

Causas da variação	GL	Quadrado Médio e significância de F
		Desvio em relação à dose programada
Produto (P)	1	6,1738 ^{ns}
Dose (D)	2	9,6435 ^{ns}
P x D	2	3,5515 ^{ns}
Lado(L)	1	2,1921 ^{ns}
L x P	1	4,9721 ^{ns}
L x D	2	2,6253 ^{ns}
L x D x P	2	2,5549 ^{ns}
Erro	24	1,6970
cv (%)		6,38
Média Geral		94,62

ns: não significativo. *: significativo ao teste F a 5% de probabilidade. cv: coeficiente de variação.

Nenhuma interação apresentou valores significativos ($p < 0,05$), sendo assim, independente do produto, dose ou lado, o sistema de distribuição à taxa variável se manteve estável em relação à deposição longitudinal.

Na Tabela 9, são apresentados os valores médios de variação de aplicação percentual do sistema de aplicação à taxa variável em relação às variáveis produto e lado.

Tabela 9 Média dos desvios em relação à dose programada obtidos no ensaio de deposição longitudinal

Produto	Lado	Dose (kg.ha ⁻¹)		
		400	700	1000
A	Esquerdo	6,92	6,14	4,70
	Direito	5,27	7,99	3,76
B	Esquerdo	4,35	4,63	4,07
	Direito	5,74	5,92	5,10

O desvio médio em relação à dose programada no controlador apresentou o valor máximo 7,99% e o mínimo de 3,76%.

Os Gráficos 9, 10 e 11 representam as variações ocorridas na aplicação longitudinal do produto A nas doses 400 kg.ha⁻¹, 700 kg.ha⁻¹ e 1000 kg.ha⁻¹, respectivamente.

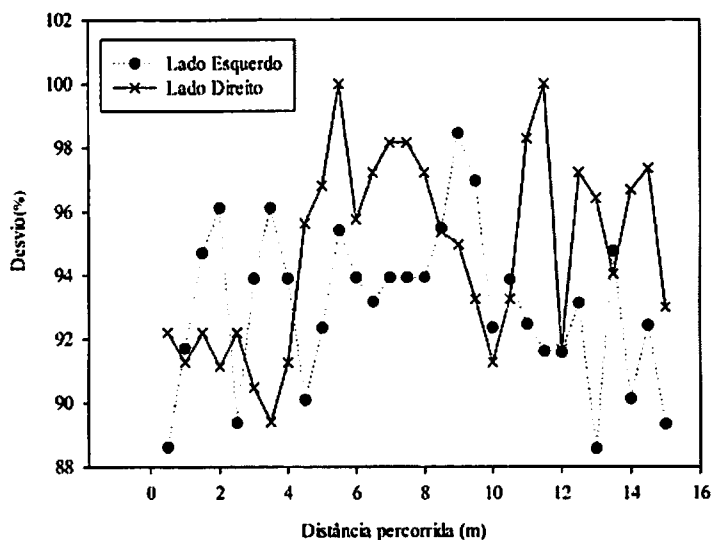


Gráfico 9 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 400 kg.ha⁻¹ em relação ao produto A

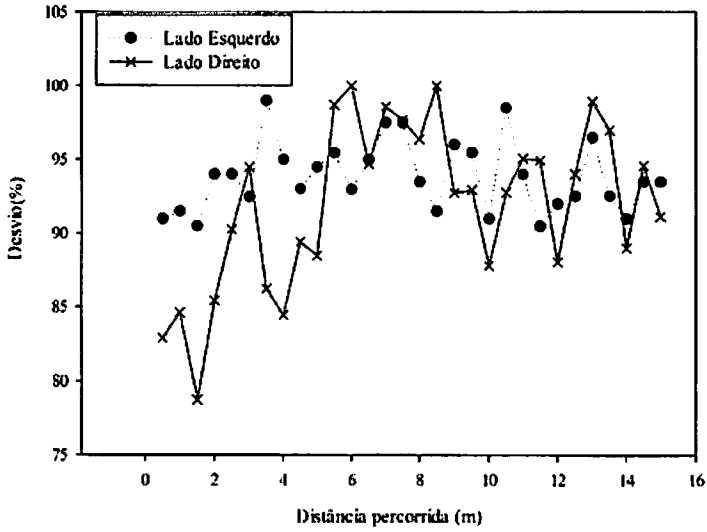


Gráfico 10 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 700 kg.ha⁻¹ em relação ao produto A

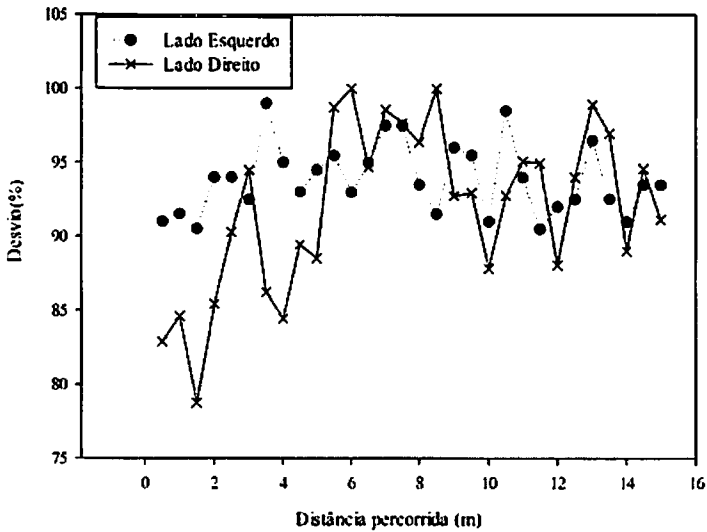


Gráfico 11 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 1.000 kg.ha⁻¹ em relação ao produto A

Os Gráficos 12,13 e 14 representam as variações ocorridas na aplicação longitudinal do produto B nas doses 400 kg.ha⁻¹, 700 kg.ha⁻¹ e 1.000 kg.ha⁻¹, respectivamente.

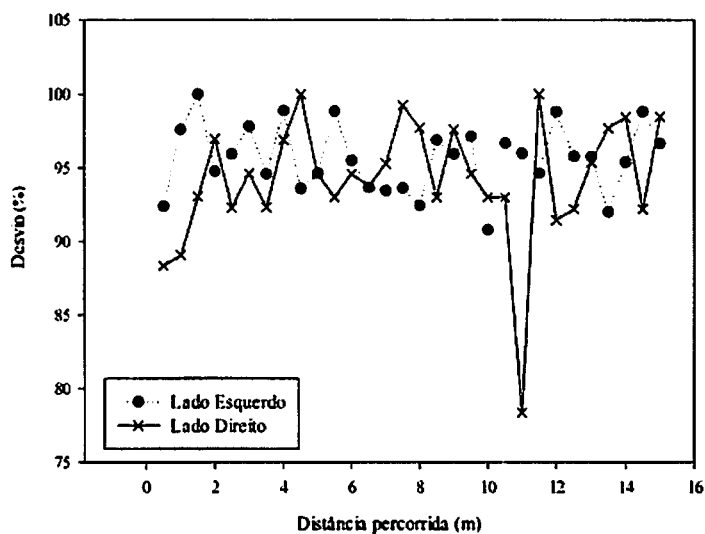


Gráfico 12 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 400 kg.ha⁻¹, em relação ao produto B

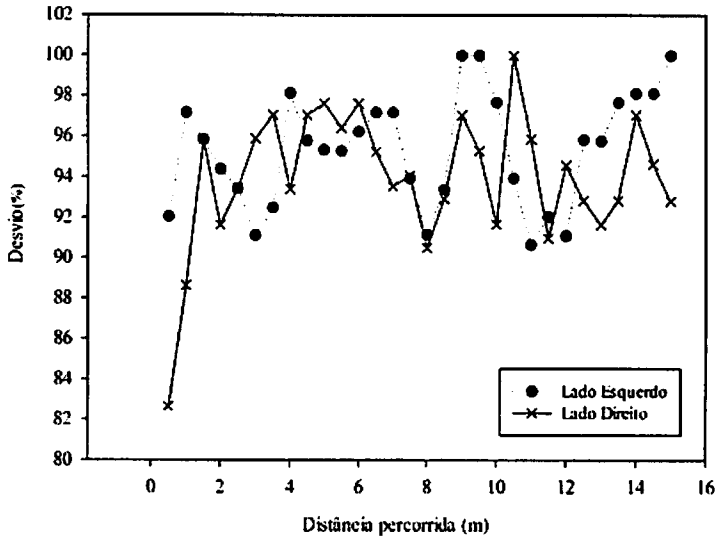


Gráfico 13 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 700 kg.ha⁻¹, em relação ao produto B

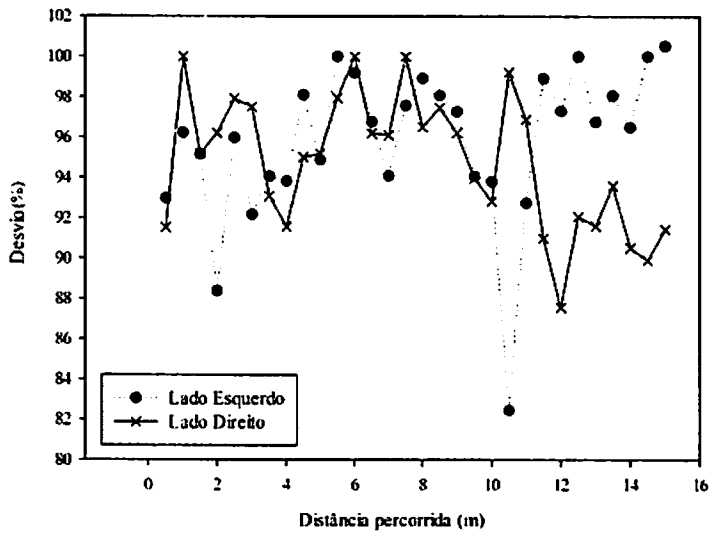


Gráfico 14 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 1.000 kg.ha⁻¹, em relação ao produto B

Como se pôde observar nos gráficos 9, 10, 11, 12, 13 e 14, o comportamento da aplicação ao longo da linha de deslocamento mostra a variação que ocorre entre os coletores, pontuando valores a cada 0,5m; deve-se lembrar que o valor de 100% não é a correta aplicação da dose, e sim a maior aplicação que ocorreu no ensaio. A maior variação ocorreu na dose de 400 kg.ha⁻¹ para o Produto B, sendo que o ângulo de repouso deste material é maior do que o Produto A, determinando uma maior dificuldade de escoamento do material no sistema de distribuição.

5.7 Análises do ensaio de regime de trabalho

As Tabelas 10, 11, 12 e 13 nos mostra as diferentes doses de aplicação de acordo com a prescrição de cada mapa de recomendação inserido no controlador e o quanto foi aplicado efetivamente.

Tabela 10 Doses recomendadas e doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável (Mapa 1)

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
1000	957,30	-4,27
900	875,00	-2,78
800	782,30	-2,21
700	687,50	-1,79
600	595,00	-0,83
500	475,30	-4,94
400	394,50	-1,38

Tabela 11 Doses recomendadas e doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável (Mapa 2)

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
400	387,20	-3,2
500	486,35	-2,73
600	576,78	-3,87
700	682,29	-2,53
800	786,48	-1,69
900	878,85	-2,35
1000	974,10	-2,59

Tabela 12 Doses recomendadas e doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável (Mapa 3)

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
100	96,02	-3,98
800	777,36	-2,83
600	578,58	-3,57
400	387,52	-3,12
0	0,00	0
400	387,00	-3,25
1000	961,00	-3,90

Tabela 13 Doses recomendadas e doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável (Mapa 4)

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Porcentagem aplicada (%)
400	386,20	-3,45
600	580,32	-3,28
800	774,80	-3,15
1000	970,20	-2,98
0	0,00	0
400	386,40	-3,40
1000	960,20	-3,98

Os Gráficos 15, 16, 17, e 18 nos mostram as doses aplicadas e os erros percentuais de aplicação à taxa variável nos pontos de coleta do ensaio.

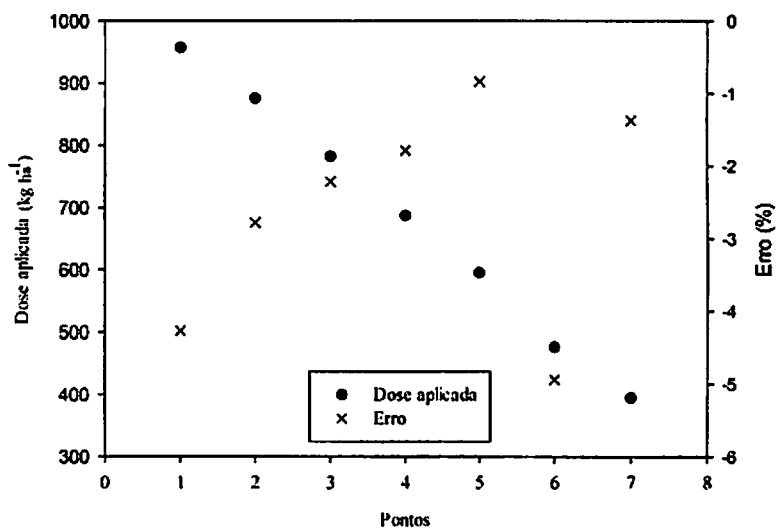


Gráfico 15 Doses aplicadas e valores percentuais dos erros de aplicação em taxa variável (Mapa 1)

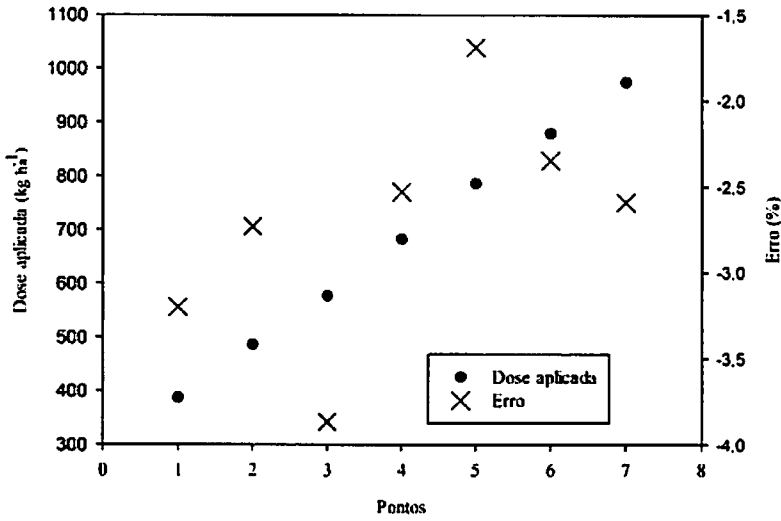


Gráfico 16 Doses aplicadas e valores percentuais dos erros de aplicação em taxa variável (Mapa 2)

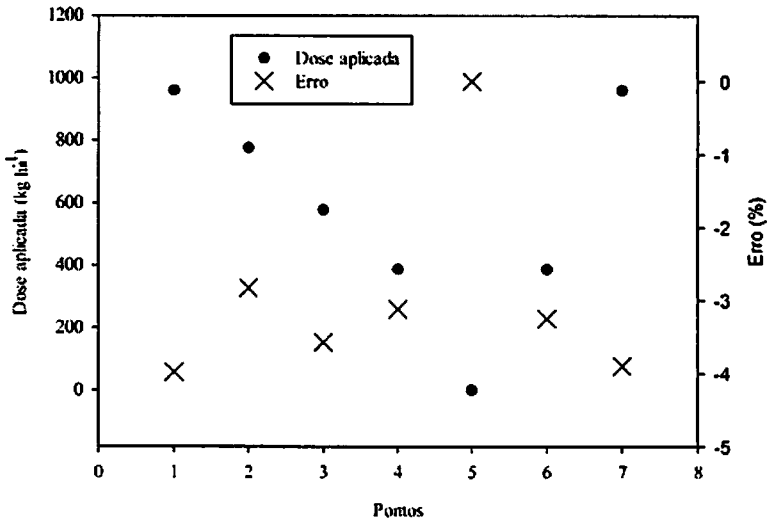


Gráfico 17 Doses aplicadas e valores percentuais dos erros de aplicação em taxa variável (Mapa 3)

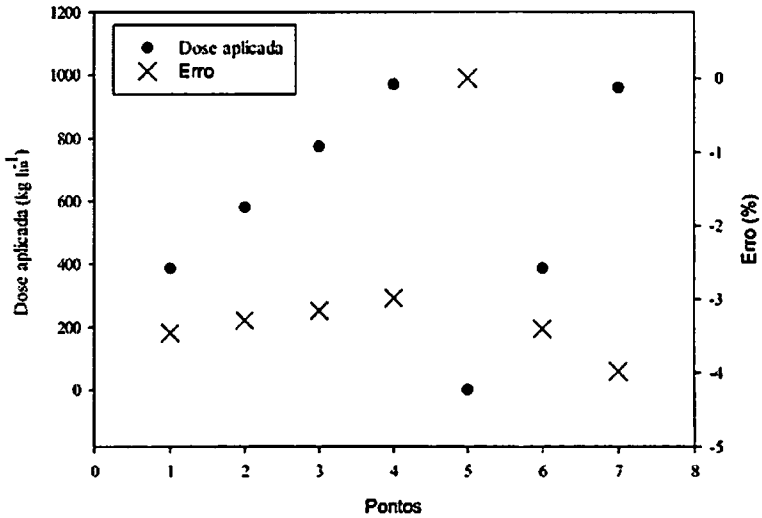


Gráfico 18 Doses aplicadas e valores percentuais dos erros de aplicação em taxa variável (Mapa 4)

Nos quatro mapas apresentados, o valor que possuiu maior valor de erro na aplicação foi de -4,94 %, sendo que houve pontos nos quais não apresentaram erro, porém os mesmos eram definidos com dose de 0 kg.ha⁻¹ no qual o sistema parou de aplicar. O ensaio apresentou um erro médio de aplicação de -2,79%. Barros (2010) e Cerri (2001), em trabalhos semelhantes, apresentaram erros de aplicação de -3,31% e 5,9% respectivamente. Estes dados demonstraram que o sistema, de forma geral, apresentou bons resultados na aplicação de fertilizantes e corretivos à taxa variável.

6 CONCLUSÕES

As adaptações efetuadas permitiram a aplicação a lanço de sólidos à taxa variável de acordo com as necessidades da cultura do café.

As variações de doses, velocidades e produtos não interferiram na precisão de aplicação do sistema, validando o uso do controlador em diferentes condições de campo.

A variação média da aplicação entre dose programada e dose aplicada, para o ensaio de distribuição transversal com lonas, foi de -1,59%.

Houve diferença no alcance de distribuição transversal dos fertilizantes e corretivos (alcance máximo) quando se utilizou diferentes produtos, porém os valores mínimos foram satisfatórios para as condições necessárias para a cultura do cafeeiro.

O sistema de distribuição à taxa variável se manteve estável em relação à deposição longitudinal independente da variação de doses, velocidades, produtos e lado de aplicação, apresentando erro máximo de -7,99% e mínimo de -3,76%.

A aplicação do sistema à taxa variável em condições reais de campo apresentou erro médio de -2,79%, sendo considerada de boa precisão, validando o uso do sistema na cultura do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F.T. et al. Avaliação da cafeicultura pela abordagem do custeio variável em propriedades nas principais regiões produtoras do Brasil. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 14, n. 3, p. 356-366, set./dez. 2012.
- 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. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/13441/9742>>. Acesso em: 8 jun. 2014.
- BALASTREIRE, L. A. et al. Agricultura de precisão: mapeamento da produtividade de uma cultura de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais... Jaboticabal: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.**
- BARROS, M. M. **Avaliação de um sistema de distribuição de fertilizantes à taxa variável para a cultura do café.** 2010. 61 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.
- BARROS, M. M. et al. Adaptação e avaliação de um sistema de aplicação de fertilizantes à taxa variável para a cultura do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 40., 2011, Cuiabá. **Anais... Jaboticabal: SBEA, 2011. 1 CD-ROM.**
- BONOTTO, J.B. et al. Distribuição longitudinal de fertilizantes por dosadores de semeadoras adubadoras em linhas. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.21, n.4, p.368-387, jul. 2013.
- BOTTEGA, E. L. et al. Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p.1-9, jan. 2013.
- CARVALHO FILHO, I. et al. Futuro da AP no Brasil. In: BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Agricultura de precisão. 2. ed.** Brasília: Binagri, 2011. p. 34-36. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/Boletim%20T%C3%A9cnico%20AP.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2014.

CERRI, D. G. P. **Desenvolvimento de um sistema de aplicação localizada de calcário a taxas variáveis**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. Inovação na indústria sucroalcooleira paulista: os determinantes da adoção das tecnologias de agricultura de precisão. **Revista Economia e Sociologia Rural**, Campinas, v. 48, n. 4, p. 543-565, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: segundo levantamento da safra de 2014**. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2014. 60 p.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. Impactos da agricultura de precisão na economia brasileira. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, MG, v. 10, n. 2, p. 178-204, 2012.

CRESTANA, S.; FRAGALLE, E.P. A trilha da quinta potência: um primeiro ensaio sobre ciência e inovação, agricultura e instrumentação agropecuária brasileiras. **Revista Eixo**, Brasília, v.1, n.1, p. 6-27, 2012.

FARRET, I. S. **Efeito da variação da regulação 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 regulação no perfil transversal de aplicação com distribuidores centrífugos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 7, p. 1886-1892, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n7/a13v38n7.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2014.

FERRAZ, G. A. S. et al. Agricultura de precisão no estudo de atributos químicos do solo e da produtividade de lavoura cafeeira. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 1, p. 59-67, jan./abr. 2012a.

FERRAZ, G. A. S. et al. Variabilidade espacial e temporal do fósforo, potássio e da produtividade de uma lavoura cafeeira. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, p. 410-150, fev. 2012b. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162012000100015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1 abr. 2014.

FERRAZ, G. A.S. et al. Viabilidade econômica do sistema de adubação diferenciado comparado ao sistema de adubação convencional em lavoura cafeeira: um estudo de caso. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.5, p. 906-915, set./out. 2011.

FERREIRA, D. F. **SISVAR sistema de análise de variância para dados balanceados**. Versão 4.0. Lavras: UFLA, 1999. Software.

FREGONEZZI, G.A.F.; PRETE, R.O.; ALMEIDA, L.H.C. Avaliação econômica da correção de solos pelo método tradicional e pela agricultura de precisão. **Synergismus Scyentifica**, Pato Branco, v.9, n.1, 2014. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/1652/1266>>. Acesso em: 12 jul. 2014.

GARCIA, A. P.; CAPPELLI, N. L.; UMEZU, C. K. Auger-type granular fertilizer distributor: mathematical model and dynamic simulation. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 1, fev.2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v32n1/16.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Metodo de ensayos de distribuidores de abono "a voleo": 5690/1. In: _____. **Maquinaria para siembra y abonado métodos de ensayo**. Madri, 1981. p. 95-114.

MARISPAN IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS. **Manual de instruções e catálogos de peças**. Batatais, 2013. Disponível em: <http://www.marispan.com.br/downloads/manual_fertinox_1200_inox.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2013.

MARQUES JÚNIOR, J. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas em áreas de cerrado sob o cultivo de café, em patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L.A. (Ed.). **O estado da arte da agricultura de precisão no Brasil**. Piracicaba: ESALQ, 2000. p. 105-115.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas, ensaios & certificação**. São Paulo: Shekinah, 1996. v. 1, 722 p.

MOLIN, J. P. et al. Segregação de fertilizantes aplicados a lanço. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 4, p. 614-622, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162009000400011&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 maio 2014.

MOLIN, J.P. et al. Test procedure for variable rate fertilizer on coffee. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 4, p. 569-575, out./dez. 2010.

SAUER DANFOSS. **Technical information: DH and DS orbital motors.** Disponível em: <http://powersolutions.danfoss.com/stellent/groups/publications/documents/product_literature/52010439.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2013.

SERRANO, J. M. et al. Avaliação de um distribuidor centrífugo de adubo na perspectiva de utilização em agricultura de precisão. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 30, n. 1, p. 79-86, jan. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2007000100008&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 17 jul. 2014.

SILVA, F. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e de produtividade na cultura do café. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 2, p. 401-407, mar./abr. 2007.

SILVA, F.M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, jan./fev. 2008.

UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L. Desenvolvimento e avaliação de um controlador eletrônico para equipamentos de aplicação de insumos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 225-230, mar. 2006.

VALE, A. R.; CALDERARO, R. A. P.; FAGUNDES, F. N. A cafeicultura em Minas Gerais: estudo comparativo entre as regiões Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária**, Uberlândia, v. 21, p. 1-23, jun. 2014. Edição especial. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/26933/14626>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

VILELA, P. S.; RUFINO, J. L. S. **Caracterização da cafeicultura de montanha de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Instituto Antônio Ernesto de Salvo, 2010. 300 p. Disponível em: <http://www.inaes.org.br/publica/Livro_cafeicultura_de_montanha.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2013.

WERNER, V. et al. Aplicação de fertilizantes a taxa variável em agricultura de precisão variando a velocidade de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 658-633, dez. 2007.

