



MURILO MACHADO DE BARROS

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO DE FERTILIZANTES À TAXA
VARIÁVEL PARA A CULTURA DO CAFÉ**

LAVRAS - MG

2010

MURILO MACHADO DE BARROS

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE
FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL PARA A CULTURA DO CAFÉ**

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 Automação, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador
Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato

Co-orientador
Dr. Jackson Antônio Barbosa

**LAVRAS – MG
2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Barros, Murilo Machado de.

Avaliação de um sistema de distribuição de fertilizantes à taxa variável para a cultura do café / Murilo Machado de Barros. – Lavras : UFLA, 2010.

61 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Carlos Eduardo Silva Volpato.

Bibliografia.

1. Agricultura de precisão. 2. Aplicação em doses variáveis. 3. Cafeicultura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.738916

MURILO MACHADO DE BARROS

**AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE
FERTILIZANTES À TAXA VARIÁVEL PARA A CULTURA DO CAFÉ**

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 Automação Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 04 de agosto de 2010.

Dr^a. Margarete Lorin Lordelo Volpato EPAMIG

Dr. Fábio Moreira da Silva UFLA

Dr. Carlos Eduardo Silva Volpato
Orientador

Dr. Jackson Antônio Barbosa
Co-orientador

LAVRAS – MG

2010

Dedico à minha família, namorada e amigos .

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor Carlos Eduardo Silva Volpato, pela orientação, confiança e dedicação.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, por suas colaborações no presente trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola Sebastião Igor de Lima, juntamente com as empresas Novatec Agricultura de Precisão e AGR Agricultura de Precisão, pela concessão dos equipamentos utilizados neste trabalho.

Ao grupo PEMI, pela disponibilização da sua propriedade para coleta de dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas colaboradores deste trabalho, Rodrigo Alencar Nunes, Gabriel Ferraz, Marcela Mazer Guidi, Diego José Alonso Carvalho e Lina Bufalino.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi construir e analisar um sistema de controle para aplicação de fertilizantes à taxa variável, para a cultura do cafeeiro. O trabalho de campo foi realizado na Fazenda Resfriado no município de Lavras-MG. No primeiro estágio, foi realizada a adaptação do sistema de aplicação à taxa variável a uma máquina na qual aplicava fertilizantes sólidos em doses fixas: utilizou-se de um sistema hidráulico composto de filtro, válvula eletro-hidráulica e motor hidráulico, alimentado pelo sistema de controle do hidráulico do trator, permitindo variação da velocidade da esteira da máquina, acarretando em variação da dosagem, de acordo com a indicação de um controlador eletrônico, o qual envia sinais elétricos à válvula eletro-hidráulica que controla o fluxo de óleo para o motor hidráulico. O segundo estágio foi a elaboração dos ensaios e suas aplicações. Realizaram-se três tipos de ensaios: o de deposição transversal, que teve como objetivos determinar o alcance máximo de distribuição, através de equações de regressão linear; observar e quantificar as variações entre as doses programadas e aplicadas, e o efeito das variações de marcha (velocidade) e doses, na precisão de aplicação do sistema, sendo os dois últimos objetivos analisados através do Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial; e para os valores significativos aplicou-se teste de Tukey a 5% de probabilidade. O ensaio de deposição longitudinal que teve como objetivo a determinação das características de distribuição do equipamento ao longo da linha de deslocamento da máquina, que foram analisados através de gráficos cartesianos com os valores de frequência relativa; outro fator analisado foi o comportamento de aplicação das doses nos dois lados de distribuição do sistema através do (DIC) e para os valores significativos foi aplicado teste de Tukey a 5% de probabilidade. O ensaio de regime de trabalho que teve como objetivo verificar o comportamento do sistema de distribuição em condições reais de campo, através da variação percentual das doses aplicadas e programadas. Observou-se que o valor de alcance máximo de aplicação foi de 3,65m; a variação de aplicação no ensaio de deposição transversal foi de -2,67%, não ocorrendo variação da precisão de aplicação quando eram variados as doses e marchas. Houve variação na aplicação do sistema entre os lados direito e esquerdo sendo de 12,16%; 18,69% e 19,71% para as doses de 300, 600, e 1000 kg.ha⁻¹, consecutivamente. A aplicação do sistema a taxa variável em condições reais de campo apresentou erro médio de -3,31%, sendo considerado de boa precisão, validando o uso do sistema na cultura do cafeeiro.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Aplicação em doses variáveis. Cafeicultura.

ABSTRACT

The aim of this work was build and evaluate a control system to apply fertilizers in variable rates to the coffee culture. It was realized on Resfriado Farm in Lavras-MG. As a first stage an adaptation of the variable rate application system was realized on a machine that applied solid fertilizers in fixed rates: it was used a hydraulic system compound by filter, valve electro-hydraulic and hydraulic engine, fed by the tractor hydraulic control system. It allows vary the machine conveyor so varying the rate according to the indication of an electronic controller. That controller sends electrical signals to the electro-hydraulic valve that control the oil flow to the hydraulic engine. The second stage was the elaboration of the tests and its applications. It was realized three types of tests: the transversal deposition, that aimed determine the maximum distribution range by a linear regress equation; observe and quantify the variations between the programmed doses and the applied doses, and the effect of the gear variation (velocity) and doses variations on the system application precision. These last two objectives was evaluated by the completely randomized design in a factorial scheme; and to the significant values was applied the Tukey test in 5% of probability. The longitudinal deposition test aimed determines the equipment distribution feature in a machine dislocation row. It was evaluated by Cartesian charts with the relative frequency values; other factor evaluated by completely randomized design in a factorial scheme and to the significant values was applied the Tukey test in 5% of probability, was the behavior of the doses application in both distribution sides of the system. The tests of the work regime aimed verify the behavior of the distribution system in field condition by varying the percental of the applied doses and the programmed doses. It was observed that the value of the maximum rate of application was 3,65m; the application variation on the transversal deposition test was -2.67%. There is no variation on the application precision when doses and gears were varied. There was variation between the right and left side on the application system of 12.16%, 18.69% and 19.71% to the doses of 300, 600, and 1000 kg.ha⁻¹, respectively. The application of the variable rate system in field condition presented an average error of -3.31%. It was considered a good precision that valid the system use to coffee culture.

Keywords: Precision Agriculture. Variable Rates Application. Coffe Culture.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	Adaptação do sistema de controle	10
2.2	Avaliação do desempenho operacional	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Cultura do cafeeiro	11
3.2	Agricultura de precisão	12
3.3	Sistema de Posicionamento Global – GPS	13
3.4	Eletrônica embarcada	17
3.5	Variabilidade espacial do solo	21
3.6	Cafeicultura e agricultura de precisão	23
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Caracterização da área	27
4.2	Adaptação do sistema mecânico	27
4.3	Calibração do sistema	30
4.4	Ensaio de campo	31
4.4.1	Ensaio de deposição transversal	32
4.4.2	Ensaio de deposição longitudinal	35
4.4.3	Ensaio de regime de trabalho	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1	Análise física do superfosfato simples	40
5.2	Análises do ensaio de deposição transversal	41
5.3	Análises do ensaio de deposição longitudinal	46
5.4	Análises do ensaio de regime de trabalho	51
6	CONCLUSÕES	54
	REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

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 a aproximadamente 50% do total de todos os países produtores. A produção de café no mundo encontra-se distribuída em mais de 50 países, sendo o Brasil, o Vietnã e a Colômbia os mais expressivos representantes da produção mundial.

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; sendo que o excesso de aplicação pode gerar gastos desnecessários e, além disso, pode ser prejudicial à lavoura; a falta, certamente, resultar em menor produtividade pela diferença de nutrientes. Outro fator a ser observado é o efeito sobre o meio ambiente onde dosagens excessivas, além de prejudicarem as culturas podem acarretar problemas de poluição dos lençóis freáticos. A dosagem 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.

Neste contexto, uma ferramenta importante a ser utilizada, é a Agricultura de Precisão (AP), pois permite otimizar o uso de insumos e reduzir custos em benefício do meio ambiente e da produção agrícola.

O fator pelo qual a Agricultura de precisão ainda não está implementada em larga escala na cafeicultura, é o fato de que sua produção é regionalizada e realizada em países com baixo desenvolvimento tecnológico.

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

2 OBJETIVOS

2.1 Adaptação do sistema de controle

Adaptar um sistema de controle de campo para aplicação de fertilizantes à taxa variável, considerando-se as características de produção do cafeeiro.

2.2 Avaliação do desempenho operacional

Avaliar o desempenho operacional do sistema controlador, trator, adubadora, em relação à distribuição de produtos à taxa variável, e criar parâmetros de avaliação para o sistema cafeeiro.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cultura do cafeeiro

O café ocupa posição de destaque na pauta de exportações do Brasil, e desde o início do século XX é um dos produtos mais representativos da economia brasileira com relevante participação no desenvolvimento nacional, contribuindo para os setores de indústria e serviço, além do próprio setor primário. As exportações de café verde e industrializado (solúvel e torrado e moído), garantem divisas ao país, gerando ainda impactos na indução do produto interno bruto (PIB) e na absorção de mão de obra. A contribuição da cafeicultura para o desenvolvimento humano deve-se à complexidade da cadeia produtiva, que requer em diferentes proporções, mão de obra não qualificada e qualificada (SEREIA; CAMARA; CINTRA, 2008).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2010), a previsão atual para a produção nacional de café beneficiado indica 47,04 milhões de sacas de 60 quilos. O resultado representa um acréscimo de 19,2%, ou de 7,57 milhões de sacas, quando comparado com a produção de 39,47 milhões de sacas obtidas na safra 2009. Tal crescimento é justificado pelo ano de bienalidade positiva, aliado às condições climáticas favoráveis até o mês de dezembro de 2009. O maior acréscimo se dará na produção de café arábica, estimada em 35,31 milhões de sacas, o que representa um ganho sobre a safra anterior de 22,3%, (6.440,9 mil sacas). Para a produção do robusta (conilon) a previsão aponta produção de 11,73 milhões de sacas, ou seja, crescimento de 10,7% (1.130 mil sacas).

No Brasil são mais de trezentos mil cafeicultores. Além do setor produtivo, a comercialização movimenta um considerável número de pessoas e

de dinheiro no país, sendo incalculável o número de profissionais que atuam nessa área. Existem aproximadamente 150 empresas com registro de exportação, e 1.700 indústrias de torrefação e moagem, 11 indústrias de café solúvel, e ainda cooperativas, maquinistas e corretores que atuam no mercado diariamente efetuando negócios com café (PEDROSO, 2008).

A cadeia agroindustrial brasileira de café, segundo relatos de Teixeira (2002), é um dos setores mais importantes da economia brasileira, pela sua expressiva participação na pauta de exportações e na geração de emprego e renda, representando, a médio e a longo prazo, um dos principais produtos estratégicos para o país.

3.2 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).

A agricultura de precisão é uma tecnologia que permite ao produtor realizar estudos minuciosos de sua cultura, visando à investigação dessa variabilidade. Tem como objetivo aumentar a eficiência baseando-se no maior controle das variáveis agrícolas produtivas, no manejo diferenciado de áreas (sítio-específico), na redução do impacto ambiental e na sustentabilidade em longo prazo (QUEIROZ; DIAS; MANTOVANI, 2000).

Já de acordo com Queiroz, Dias e Mantovani (2000), a agricultura de precisão tem por objetivo manusear pequenas áreas, dentro do campo de produção, atendendo as necessidades das culturas, e as condições ambientais, visando a reduzir o uso de produtos químicos e a aumentar a produtividade.

Saraiva (2003 citado por CAMARGO, 2005), descreve as etapas do processo de AP sob a ótica da informação. Em uma primeira etapa, o objetivo é identificar a variabilidade espacial da produção e dos diversos fatores de produção. Nesta etapa, vários dados são coletados utilizando vários tipos de equipamentos: coletores de dados e amostradores, monitores de produtividade em colhedoras, imagem de satélite, fotos aéreas, etc.

A segunda etapa é o processamento dos dados, em que se busca quantificar a variabilidade e avaliar sua relevância. Nesta fase, tenta-se relacionar a variabilidade dos fatores de produção, buscando relações de causa e efeito, com o objetivo de definição de estratégias de manejo que considerem esta variabilidade.

Como resultados da segunda etapa, obtêm-se os mapas de prescrição, que indicam e quantificam os insumos a serem aplicados em campo para cada ponto analisado, levando-se em conta o potencial de produção de cada um.

A terceira etapa consiste na atuação em campo, onde, munidas dos mapas de prescrição, as máquinas podem fazer a aplicação localizada do insumo nas quantidades prescritas. Para que essa aplicação localizada ocorra, é necessário que a máquina possua controladores que tenham a capacidade de variar a taxa de aplicação de insumos automaticamente, comandados por computador de bordo. Este computador de bordo recebe a informação sobre a localização da máquina utilizando um sistema de posicionamento (GPS), consulta o mapa de prescrição, e comanda os atuadores para aplicar as quantidades prescritas.

3.3 Sistema de Posicionamento Global – GPS

Goering e Han (1993) afirmaram que um dos problemas para a execução das atividades relacionadas com a Agricultura de Precisão referia-se às

limitações dos sistemas terrestres de navegação. Um sistema de navegação via satélite, denominado Sistema de Posicionamento Global (“Global Positioning System - GPS”), representava a mais promissora solução para o problema da navegação, da época.

O GPS foi projetado pelo Departamento de Defesa Americano - DoD e desenvolvido pelo “Massachusetts Institute of Technology” - MIT para uso em aplicações militares para a Marinha e Aeronáutica dos EUA. É um sistema de geoposicionamento por satélites artificiais, baseado na transmissão e recepção de ondas de rádio-frequência captadas pelos receptores, obtendo-se posicionamento em todo globo terrestre (ROCHA, 2002).

O sistema GPS é dividido em três segmentos: espacial, de controle, e do usuário.

O segmento espacial é caracterizado pela constelação de satélites. A constelação é composta por 24 satélites, sendo que 21 são suficientes para cobrir toda terra, e três são originalmente previstos como reserva. São distribuídos em seis planos orbitais espaçados igualmente, com quatro satélites em cada plano, numa altitude aproximada de 20.200 km. Os planos orbitais são inclinados 55° em relação ao equador, e o período orbital é de aproximadamente 12 horas siderais. Dessa forma, a posição dos satélites se repete, a cada dia, 4 minutos antes que a do dia anterior. Essa configuração garante que no mínimo quatro satélites GPS sejam visíveis, e estejam dispostos de tal maneira, a qualquer hora e em qualquer lugar do mundo (MONICO, 2007).

Os satélites transmitem dois sinais de rádio numa banda denominada L. O sinal L1, é transmitido com a frequência de 1575,42 MHz e comprimento de onda de 19 cm, transportando 2 códigos, o “Clear Access” ou “Coarse Acquisition” (C/A) de aquisição grosseira, e o código “Precise” (P) de precisão. O sinal L2 é transmitido com a frequência de 1227,60 MHz e comprimento de 24 cm, e transporta apenas o sinal (P), disponível somente para uso militar ou

para aparelhos receptores autorizados (QUEIROZ; DIAS; MANTOVANI, 2000; ROCHA, 2004).

Com o anúncio da modernização do sistema GPS em 1998 pelo DoD, entrou em funcionamento o código L2C, com frequência de 511,5 KHz a ser modulado na portadora L2 (MONICO, 2007).

O segmento de controle é constituído por cinco estações terrestres, sendo uma a principal, localizada em Colorado Springs, CO, USA e as demais, de monitoramento, espalhadas ao redor do globo em posições estratégicas, a fim de melhor observarem os sinais transmitidos pelos satélites. A estação principal capta os dados vindos das estações de monitoramento e calcula a órbita exata e os parâmetros de relógio de cada satélite. Os resultados são passados para as antenas de retransmissão que os passam aos satélites. Esta estação se comunica com os satélites e periodicamente corrige a órbita de cada um (KAWABATA NETO, 2005; KRUEGER, 2004).

O segmento do usuário é caracterizado pelos receptores de GPS de uso civil e militar. Atualmente, o mercado oferece uma grande variedade de receptores de GPS, com as configurações das mais diversas, podendo ser empregados em inúmeras aplicações.

Os usuários contam com dois serviços distintos: o “Precise Positioning Service” - PPS e o “Standard Positioning Service” - SPS. O SPS opera com a utilização do código C/A e o PPS é prioritário para o serviço militar dos Estados Unidos. Havendo interesse nacional e resguardada a segurança, é concedido também aos usuários civis (KRUEGER, 2004).

De acordo com Seeber (2003 citado por KRUEGER, 2004), o erro no posicionamento absoluto para usuários SPS, com o S/A desligado é, em média, de 13 m horizontal e 22 m vertical em 95% do tempo, e, na pior situação, de 36 m horizontal e 77 m vertical.

O serviço PPS tem acesso aos códigos C/A e P. O acesso ao serviço PPS é controlado atualmente pelo efeito de degradação Antispoofing AS, que é um mecanismo de degradação intencional de desligar o código P ou invocar um código de encriptação que dificulte o acesso ao código P aos usuários não autorizados. Novas técnicas permitem usar todos os sinais também quando o código P não é disponível (SEGANTINE, 2005). O código P é utilizado quando se usa dupla frequência. Embora criptografado, existem técnicas de correlação cruzada no receptor que permitem obter esse código (TOPCON, 2008 citado por MACHADO, 2008), mas não tão bom quanto para os militares, que conhecem a criptografia. O código P criptografado é acessível apenas por militares; novos sinais estão sendo especificados para uma versão modernizada do GPS. Estes sinais são: portadora L5 e os códigos L1C, L2C, e M exclusivo para uso militar (SILVA, 2007).

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de distância entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referências dos satélites (MONICO, 2007). Teoricamente, precisa-se apenas de três satélites para obter a posição de um ponto em três dimensões fixas. Apesar disso, quando se está no campo, o receptor somente apresenta a posição de navegação após a obtenção de sinais de quatro satélites, pois essa quarta medida é utilizada pelo fato do não sincronismo entre os relógios dos satélites e o do usuário. Os receptores dependem dos satélites para que eles consigam se ajustar corretamente. Então, o quarto satélite auxilia na determinação da posição do ponto numa quarta dimensão dada pela componente do tempo (MONICO, 2007). Para o seu funcionamento, o receptor de GPS opera de acordo com uma sequência de tarefas: seleção dos satélites e determinação da posição aproximada do satélite por meio do almanaque; rastreamento e aquisição do sinal de cada satélite

selecionado; medição e monitoramento das pseudodistâncias; recepção dos dados de navegação de cada satélite; fornecimento de informações de posição e velocidade; gravação de dados para um pós-processamento ou transmissão dos dados em tempo real a outro receptor via rádio modem; alimentação de comandos do usuário e visualização dos resultados via painel de controle ou microcomputador (KRUEGER, 2004).

Os principais componentes de um receptor GPS são a antena com pré-amplificador, seção de RF - radiofrequência, para identificação e processamento do sinal, microprocessador para controle do receptor, oscilador, painel de exibição e comandos, provisão de energia e memória para armazenar os dados.

3.4 Eletrônica embarcada

A tecnologia que é encontrada nos veículos automotores, especialmente nos veículos de passeio, caminhões (leves e pesados) e ônibus está sendo, gradativamente, incorporada aos equipamentos agrícolas disponíveis. Sistemas de controle de motor e transmissão, equipamentos de acompanhamento dos processos agrícolas em tempo real e até mesmo dispositivos de monitoração das ações do operador, estão sendo desenvolvidos e instalados em vários segmentos da agricultura. A tecnologia embarcada visa, entre outras coisas, a melhorar os índices de produção e reduzir as perdas no processo produtivo agrícola (GUIMARÃES; SARAIVA, 2002). Deste modo, há uma grande quantidade de informações geradas pelos módulos eletrônicos e que precisam ser distribuídas por uma rede, de forma rápida e confiável. Para tanto, de acordo com Strauss, Cugnasca e Saraiva (1998) e Strauss et al. (1999), o protocolo de comunicação, que é o meio necessário para que duas ou mais unidades eletrônicas de controle (ECU's) troquem informações, deve apresentar alguns requisitos mínimos, tais como: estar preparado para trabalhar em ambientes móveis, resistindo,

especialmente, a elevada vibração dos equipamentos; ser resistente a situações extremamente nocivas, como as condições climáticas adversas (exposição aos raios solares e à chuva) e a exposição a produtos químicos provenientes do próprio trabalho; ter cabeamento reduzido para facilitar a sua instalação e diminuir os problemas com manutenção; não requerer tempo elevado ou manobras complicadas para a conexão de um equipamento à rede, e ser imune às interferências eletromagnéticas. O protocolo que atende a todos estes requisitos é o CAN (Controller Area Network), o qual possui características bastante vantajosas em relação a outros protocolos, como, por exemplo, boa performance em aplicações com tempos críticos, com taxa de transmissão configurável (podendo chegar a 1Mbit/s).

O protocolo CAN é um protocolo de comunicação serial síncrono (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares). O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento, que, por sua vez, é um conjunto formado por fios, conectores e dispositivos de potência para promover a interconexão e permitir a comunicação de dados entre estes (GUIMARÃES, 2003). O protocolo CAN utiliza o conceito multimestre, em que todos os dispositivos instalados no barramento se alternam entre os estados de “mestre” e “escravo” durante as trocas de mensagens. Isso permite que somente um dispositivo, no caso o dispositivo “mestre”, consiga acessar o barramento e enviar os pacotes de dados, enquanto que os outros dispositivos recebem e reconhecem o pacote de dados enviados. Os pacotes de dados (mensagens) são enviados ao barramento utilizando multicast, caracterizado pelo envio de toda e qualquer mensagem para todos os módulos existentes na rede (LOPES, 2003).

Outra característica no protocolo CAN é a utilização de um método de arbitragem com conceito CSMA/CD with NDA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection with Non-Destructive Arbitration). Isto significa que

todos os módulos verificam o estado do barramento, analisando se outro módulo está ou não enviando mensagens com maior prioridade com o fim de evitar a colisão de dados durante as transmissões entre os dispositivos instalados na rede. No CSMA/CD-NDA, durante as transmissões, todos os dispositivos enviam suas mensagens, e caso ocorra uma disputa pelo barramento, o dispositivo que possuir um endereço com maior prioridade continua a transmissão da mensagem sem ter que reiniciá-la; enquanto que as transmissões dos dispositivos com prioridades menores são interrompidas e suas mensagens são armazenadas em um buffer para serem transmitidas, posteriormente, e os status são alterados para “escravos” (habilitados somente para recepção dos dados) (GUIMARÃES, 2003; LOPES, 2003).

As taxas de transmissões de dados do barramento CAN podem ser configuradas de acordo com o tipo de aplicação, variando de 10 Kbit/s a 1Mbit/s, característica que oferece ao usuário maior flexibilidade para configurar e programar a rede de dispositivos de acordo com as necessidades específicas de cada aplicação. Porém a taxa de transmissão é inversamente proporcional ao tamanho do barramento de acordo com a Figura 1. A maior taxa de transmissão especificada é de 1Mbps, podendo ter um comprimento máximo de 40 metros; caso o barramento possua um tamanho maior, podem ocorrer falhas de comunicações durante as transmissões.

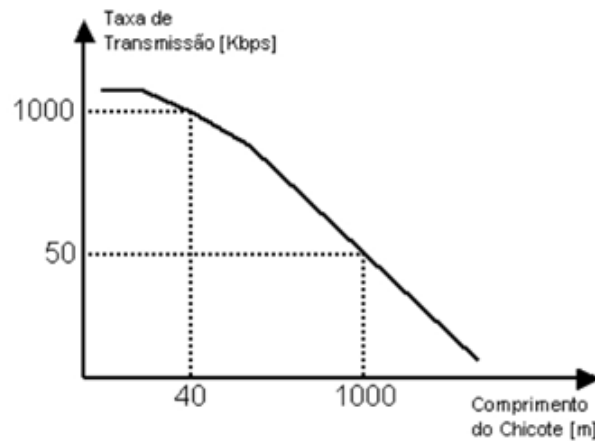


Figura 1 Taxa de Transmissão vs. Comprimento da Rede, baseado em ISO (1993 citado por GUIMARÃES, 2003)

Considerando-se fios elétricos como o meio de transmissão dos dados, existem três formas de se constituir um barramento CAN, dependentes diretamente da quantidade de fios utilizada. Existem redes baseadas em 1, 2 e 4 fios. As redes com 2 e 4 fios trabalham com os sinais de dados CAN_H (CAN High) e CAN_L (CAN Low). No caso dos barramentos com 4 fios, além dos sinais de dados, um fio com o VCC (alimentação) e outro com o GND (referência) fazem parte do barramento, levando a alimentação às duas terminações ativas da rede. As redes com apenas 1 fio têm este, o fio de dados, chamado exclusivamente de linha CAN. Considerando as redes com 2 e 4 fios, os dados enviados devem ser interpretados pela análise da diferença de potencial entre os fios CAN_H e CAN_L que são representados por bits Dominantes e bits Recessivos, como mostra a Figura 2:

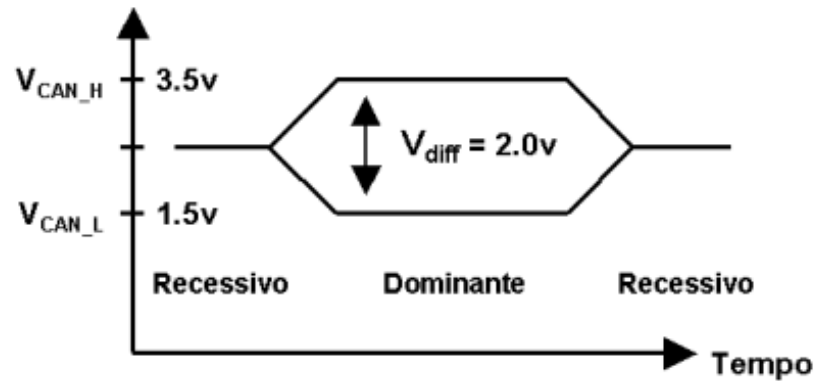


Figura 2 Níveis de Tensão no CAN conforme ISO11898 (GUIMARÃES, 2003)

O crescimento na utilização do protocolo CAN na área agrícola pode ser analisado através de suas vantagens e, principalmente, de sua flexibilidade, tanto de implementação como de configuração da rede. Cada vez mais o protocolo CAN está sendo utilizado em processos de controles distribuídos em tempo real.

3.5 Variabilidade espacial do solo

Conhecer a variabilidade espacial dos atributos do solo que controlam a produtividade das culturas é um fator indispensável à instalação de um programa de agricultura de precisão. Existem várias técnicas disponíveis para conhecer tal variabilidade, tais como: levantamento dos solos, amostragem do solo, utilização de sensores, técnicas de sensoriamento remoto ou, ainda, utilização de modelos de simulação (CORÁ; MARQUES JÚNIOR, 1998).

Os solos variam ao longo da paisagem em virtude da intensidade de manifestação de seus fatores e processos de formação. Quanto maior a variação desses fatores, principalmente a do material de origem e relevo, maior será a heterogeneidade dos solos em uma determinada área (SOUZA, 2006). E de

acordo com Dobermann e George (1994), as variações das características do solo também estão relacionadas com o efeito do manejo do solo.

Os atributos do solo, além de variarem no espaço, podem variar no tempo para cada posição no espaço. Esta variação, decorrente da ação de agentes naturais, assim como da ação do homem, deve se manifestar com maior intensidade em alguns atributos do que em outros (SLOT et al., 2001).

Áreas consideradas pedologicamente similares podem apresentar variabilidade distinta em atributos quando submetidas às diferentes práticas de manejo. O manejo pode alterar os atributos químicos, físicos, mineralógicos e biológicos, com impacto, principalmente, nas camadas superficiais do solo (MARQUES JÚNIOR et al., 2000). Fatores como declividade e posição topográfica influenciam a produtividade das culturas de maneira indireta, por influenciarem os atributos químicos e físicos do solo (SOUZA et al., 2004).

Para Miranda et al. (2005), a variabilidade de atributos de solo em uma área agrícola influencia diretamente a produtividade das culturas. Se for constatada a variabilidade espacial destes atributos e da produtividade das culturas, a localização das regiões de alto e baixo potencial produtivo pode trazer benefício pela adoção de estratégia de manejo localizado.

Bolfe, Gomes e Fontes (2007), afirmam que a variabilidade dos solos nas áreas agrícolas, geralmente, não é considerada pelas empresas agrícolas, que optam por técnicas nas quais considera o solo todo homogêneo. Essa prática comportamental pode influenciar na aplicação de insumos ou de irrigação abaixo ou acima da real necessidade, elevando os custos de produção e, ao longo dos anos aumentando o potencial de poluição de águas superficiais e subterrâneas.

As aplicações convencionais de fertilizantes atualmente realizadas pelos agricultores implicam em aplicações excessivas em determinadas áreas do campo e insuficientes em outras. O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade pode otimizar as aplicações localizadas de

corretivos e fertilizantes, melhorando, dessa maneira, o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso destes nutrientes (ROCHA; LAMPARELLI, 1998). De acordo com Bhatti et al. (1991), a adequação aos conceitos de agricultura de precisão exige o conhecimento detalhado das causas e da variabilidade dos fatores que possam afetar a produtividade das culturas. Deste modo, a utilização da agricultura de precisão requer o entendimento da natureza e magnitude da variabilidade espacial dos atributos do solo.

Molin et al. (2002) realizaram um trabalho de mapeamento de produtividade de café e sua correlação com os componentes de fertilidade do solo em duas áreas pilotos nos municípios de Gália-SP e Pompéia-SP e observaram que os componentes de correlação entre a produtividade e fertilidade do solo resultaram em baixos valores. As duas áreas apresentaram grande variação na produtividade (1,3 a 4,5 kg.ha⁻¹).

Conforme Queiroz et al. (1997), a modelagem geoespacial, por meio da geoestatística, permite a descrição quantitativa da variação espacial no solo e a estimativa não tendenciosa da variância mínima de valores das propriedades, em locais não amostrados, subsidiando a construção de mapas de valores e a identificação de esquemas de amostragens eficientes.

3.6 Cafeicultura e agricultura de precisão

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 café, pois são poucos os trabalhos publicados sobre a utilização dos conceitos de AP.

Balastreire et al. (2001) e Silva et al. (2007) também afirmam que ainda existem poucos trabalhos desenvolvidos nesta cultura.

De acordo, porém, com Pinto e Queiroz (2005), o café é uma cultura em que a agricultura de precisão pode trazer grandes benefícios para o produtor. Essa afirmação se baseia nos seguintes fatos: o café é uma cultura que apresenta uma elevada receita por unidade de área quando comparada com as culturas anuais como milho, soja, feijão dentre outras; tem seu preço associado à qualidade do produto, podendo a agricultura de precisão resultar na produção de um produto de melhor qualidade; além disso, ao identificar variabilidade espacial na qualidade dos frutos, o produtor poderá realizar um tratamento diferenciado em talhões com potencial de produzir café de melhor qualidade; é uma cultura perene; facilita o trabalho de coleta e análise da variabilidade espacial do sistema de produção do café, georreferenciando as plantas uma única vez; e é tradicionalmente cultivado por talhões com áreas relativamente pequenas, que podem ser tratados como zonas homogêneas para efeito de manejo.

As pesquisas com agricultura de precisão com a cultura do café 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.

Silva et al. (2007), caracterizam a variabilidade espacial de atributos químicos do solo e da produtividade da cultura do cafeeiro em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. Sendo que todas as variáveis estudadas apresentaram estrutura de dependência espacial, o que permitiu o seu mapeamento com a utilização de técnicas geoestatísticas. Os atributos químicos apresentaram valores baixos de alcance, com exceção das variáveis fósforo e

potássio, evidenciando a baixa continuidade espacial do solo sob cafeeiro. 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.

Alves et al. (2005), desenvolveram um trabalho com intuito de observar a existência da variabilidade espacial da qualidade de bebida do café-cereja, produzido em região de montanha. O trabalho foi desenvolvido durante a safra 2003/4, na fazenda Braúna, localizada no município de Araponga - MG. Considerou-se a densidade de plantio, variedade, idade das plantas e orientação das faces de exposição. A partir da amostra de cada subtalhão, foram realizadas as análises da qualidade de bebida dos frutos. Puderam, então, concluir que houve variabilidade das notas de qualidade nos subtalhões. Essas notas variaram de um mínimo de 70 a um máximo de 85, com uma média de 77 e desvio padrão igual a 3,09.

Campos et al. (2005), implementaram e avaliaram técnicas de processamento de imagens digitais e sensoriamento remoto para identificação da variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha, utilizando-se imagens aéreas falsa-cor, obtidas a 2.000 metros de altura de alta resolução. Nas condições em que o trabalho foi realizado, concluíram que o índice espectral banda verde normalizado (Vdn) em imagens aéreas falsa-cor, pode gerar relações significativas com a variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha.

Faulin et al. (2004), avaliaram um conjunto de amostras georreferenciadas de indicadores da maturação dos frutos de café, da cultivar Mundo Novo. Objetivam, além da constatação das diferenças espaciais entre os estágios de maturação, a identificação do tamanho do espaço necessário de café de campo para obter determinada quantidade de café beneficiado, para obter um coeficiente de transformação para realizar estimativas de produção, e a

estimação da densidade amostral necessária. Assim, observaram que a amostragem para a caracterização da distribuição espacial da maturação da lavoura de café mostra que os diferentes estágios de maturação que compõem a produção deste talhão apresentam comportamentos distintos. Observaram, ainda, que a qualidade dos mapas de produtividade de café seco e descascado não sofreu influência da variabilidade espacial, o que não justificaria obter amostras georreferenciadas neste talhão. O fator de transformação do café de campo para o café beneficiado, a partir das várias densidades amostrais, apresentou alta correlação entre os mapas de produtividade de café processado, utilizando amostras obtidas a partir das diferentes densidades amostrais e também de amostras compostas. De acordo com os resultados justifica-se a utilização da amostra composta para a transformação de dados de café de campo para café seco e descascado. Para a coleta de uma amostra composta poderia ser utilizado o critério de duas subamostras por hectare.

Molin et al. (2006), avaliaram a produtividade na cultura do café em relação à aplicação de fósforo e potássio em taxa variada. Para tanto foi conduzido um experimento em faixas (linhas da cultura) com dois tratamentos alternados (aplicação de P e K em taxa fixa adotada pelo produtor e em taxa variada) em um talhão de 6,4 ha, utilizando-se equipamentos apropriados para aplicação dos fertilizantes e mapeamento da colheita mecanizada. Os dados foram analisados pela estatística descritiva e geoestatística. A aplicação da técnica de krigagem possibilitou a estimação dos valores em locais não amostrados, e a elaboração dos mapas de aplicação de fertilizantes e de produtividade. A área que recebeu aplicação de fertilizantes em taxa variada apresentou 34% de aumento de produtividade ($880 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) em relação àquela que recebeu taxa fixa. A adubação em taxa variada proporcionou uma economia de 23% ($98 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de fertilizante fosfatado e um acréscimo de 13% ($53 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) de fertilizante potássico, se comparado à adubação em taxa fixa.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área

Os ensaios de campo foram realizados na Fazenda Resfriado, município de Lavras, no estado de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas de 21°14'S e 45°00'W, altitude média de 918 m, em uma área de 7,6 ha de cafeeiro cultivar Catuaí 99, espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,60 m entre plantas, população média de 4210 plantas por hectare, com idade de três anos.

4.2 Adaptação do sistema mecânico

A máquina adaptada é a adubadora da marca Minami, apresentado acoplamento semi-montado, equipada com esteiras, mecanismo dosador volumétrico de abertura variável, distribuidor centrífugo de dois discos horizontais, com aplicação direcionada à linha de plantio. Possui um volume de carga de 1,2 m³, largura total 1,50 m, comprimento 3,36 m, altura 1,40 m e bitola de 1,24 m. O sistema de movimentação da esteira e dos discos de distribuição é realizado através do sistema de tomada de potência (TDP), com rotação a 540 rpm.

O trator agrícola utilizado foi da marca John Deere[®], modelo 3029T, com potência máxima de 65 cv a 2200 rpm; seu sistema hidráulico suporta pressão máxima de 204 kgf/cm² e vazão na bomba do hidráulico de 68,8 L/min, e para o controle do hidráulico é fornecida uma vazão de 41,5 L/min.

O controle de vazão da máquina distribuidora foi realizado pelo controlador marca Raven[®], modelo Envizio Pro que possui sistema CAN e receptor DGPS submétrico.

Para a aplicação de fertilizante à taxa variável, verificou-se que a maneira mais eficaz seria variar a velocidade de movimentação da esteira da adubadora. Deste modo, isolou-se a movimentação da esteira do sistema da TDP do trator, desacoplando a coroa que recebia movimento do cardã como mostra a figura abaixo:

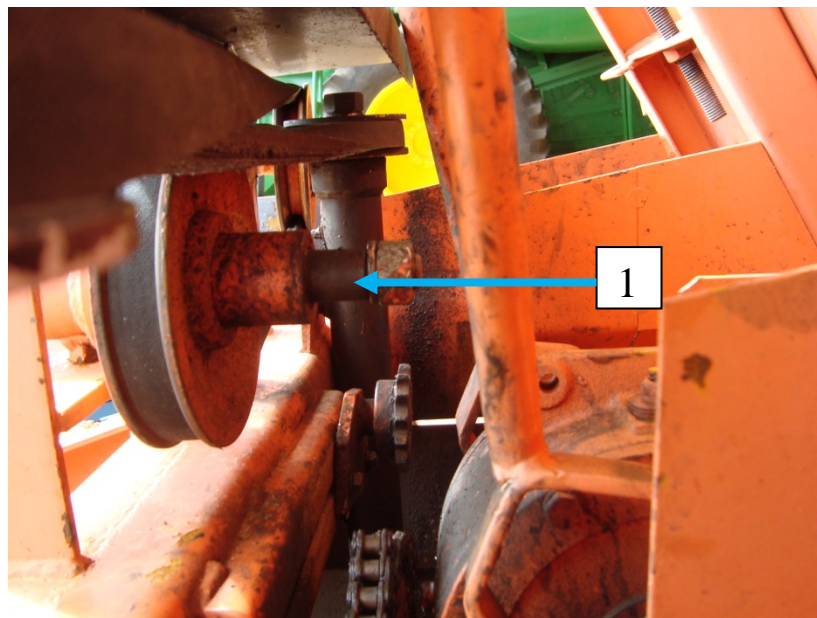


Figura 3 Sistema da movimentação da esteira isolado. Sendo (1) o local em que possuía a primeira coroa do sistema de transmissão da adubadora

Após o processo anterior, foi realizada a instalação de um sistema hidráulico, o qual tem por funcionalidade variar a velocidade da esteira, e possui motor hidráulico, válvula eletro-hidráulica e filtro, que recebem vazão de óleo através do controle do hidráulico do trator como mostram as Figuras 4 e 5:

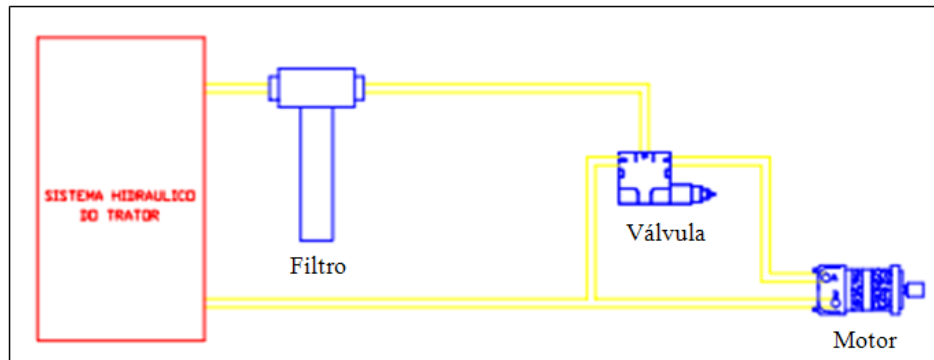


Figura 4 Instalação hidráulica para aplicação à taxa variável

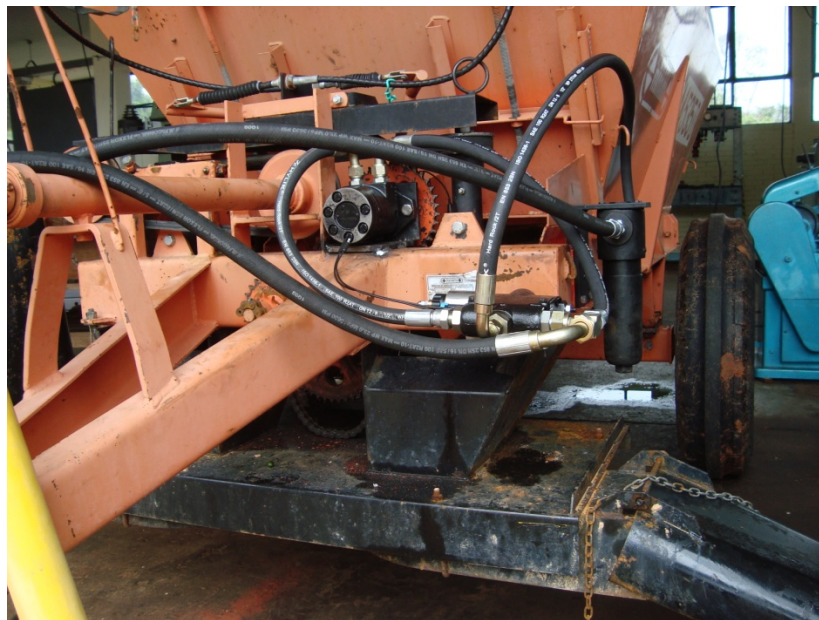


Figura 5 Sistema hidráulico instalado na adubadora

O funcionamento do sistema foi todo ordenado pelo controlador, que envia sinais elétricos para a válvula eletro-hidráulica, a qual recebe estes sinais e

controla o fluxo de óleo para o motor hidráulico, variando sua rotação e ocasionando variação da taxa de aplicação. A coroa que foi retirada para isolar a o movimento da esteira da TDP foi acoplada ao motor, aproveitando todo o sistema de transmissão da máquina. Logo após esta etapa, instalou-se um contador de pulsos acoplado a uma coroa a qual estava unida ao motor hidráulico. Sendo assim, o contador de pulsos envia sinais elétricos para o controlador, obtendo-se a informação de velocidade do sistema. Depois do ocorrido foi instalado ao trator o controlador, que era responsável por coordenar a aplicação de doses programadas manualmente ou em mapas de recomendação de aplicação.

4.3 Calibração do sistema

Para realizar a calibração do sistema, primeiramente definiu-se a abertura da comporta da máquina, 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 abaixo:

$$N.C = \frac{C.G \times P.C}{P.A} \quad (1)$$

Onde:

- a) N.C: Nova Constante;
- b) C.G: Constante granular utilizada anteriormente;
- c) P.C: Peso indicado pelo controlador;
- d) P.A: 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.

4.4 Ensaio de campo

Foram realizados três tipos de ensaio, o de deposição transversal, deposição longitudinal e o de regime de trabalho.

Durante o período de ensaio, foram caracterizadas as condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar, obtendo-se os dados a partir do aparelho de monitoração climático Kestrel[®]. Os ensaios eram realizados quando a velocidade do vento estivesse inferior a 2 m.s^{-1} e a umidade relativa do ar abaixo de 80%.

Utilizou-se para os ensaios a aplicação de Superfosfato Simples. Caracterizou-se o produto utilizado determinando sua granulometria de acordo com a norma ISO 5690/1 apresentado por Mialhe (1996), utilizando-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; 4,000 mm. O ângulo de repouso do material 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 procedeu-se à abertura da lateral de uma só vez, deixando o produto escoar; após o ocorrido, foi realizada a leitura

da altura do produto que permaneceu no compartimento, e, por relações trigonométricas, estipulou-se o ângulo de repouso. A densidade foi obtida utilizando um recipiente de dimensões conhecidas, e o material foi nele inserido até estar completamente cheio; com uma espátula, retirou-se o excesso do produto. Assim o material foi pesado em uma balança de precisão e a relação entre a massa, foi utilizado o método padrão ou 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 obtida pela equação:

$$U(\%) = \frac{\text{Massa de água}}{\text{Massa do material seco}} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- 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 a estufa.

4.4.1 Ensaio de deposição transversal

Este ensaio teve como objetivo caracterizar o alcance máximo de distribuição transversal de aplicação, pois lavouras cafeeiras aptas à utilização de máquinas possuem espaçamentos entre linhas variando de 3,5 m a 4,0 m; portanto, essa variável deve ser considerada para que o equipamento esteja

habilitado a trabalhar em condições reais de campo. Outros objetivos deste ensaio foram as verificações entre dosagens programadas e dosagens observadas, e ainda os efeitos das variações das velocidades e das dosagens de aplicação na precisão do sistema.

Inicialmente, foram locadas as bandejas que seguem o padrão da norma ISO 5690/1 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO, 1981), possuindo dimensões de 0,5 m X 0,5 m e profundidade de 0,30m, de acordo com a figura a seguir:

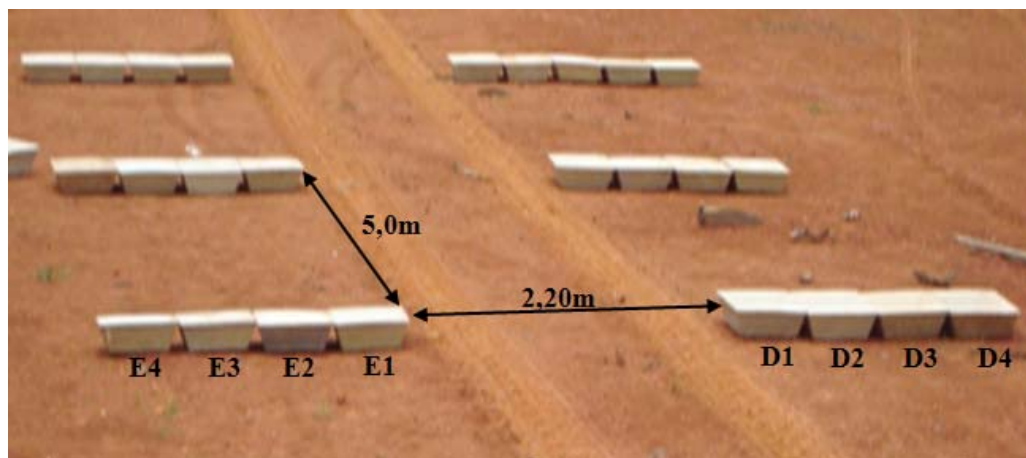


Figura 6 Distribuição transversal das bandejas de coleta

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 quatro bandejas do lado esquerdo (E1, E2, E3, E4), quatro bandejas do lado direito (D1, D2, D3, D4), e três linhas espaçadas uma da outra em 5,0m de distância.

Foram avaliadas três vazões distintas, correspondendo a 300, 600, e 1000 kg.ha⁻¹ e duas velocidades distintas, correspondendo a 6,5 e 9,0 km.h⁻¹, que representam as velocidades nas marchas 2B e 3B (reduzidas) numa rotação de 1800 rpm do motor e a TDP apresentando rotação de 540 rpm, sendo que em todas as doses foram realizados testes com todas as velocidades. Adotou-se uma distância de 20 m antes dos coletores para a estabilização do sistema. Em cada ensaio foram realizadas três repetições, e a cada repetição houve três passagens. Depois de realizadas as passagens, o material foi recolhido, e as bandejas que estavam posicionadas longitudinalmente uma da outra compuseram uma única amostra. Deste modo, as três bandejas na mesma posição nas três linhas foram somadas. Após este processo as amostras foram enumeradas e pesadas em balança eletrônica com resolução de 0,01 g, e dividindo os valores encontrados pelo número de passagens, e nesse caso dividindo também pelo número de linhas.

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 quatro valores de alcance: de 3,2; 4,2; 5,2; 6,2 m. Estes valores representam as distâncias em que foram dispostas as bandejas, e com o uso das equações estimaram-se 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 (E4 e D4) até a (E1 e D1), somando o valor do lado esquerdo com o direito. O valor de cada posição foi somado ao valor da posição anterior, sendo que na posição (E1 e D1) a amostra continha 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 seis

equações que foram realizadas entre as diferentes doses e diferentes marchas. Consideramos que o valor da dosagem estimada deva possuir uma variação em relação à dosagem requerida em até 15%, para ser aceito. Deste modo, calcularam-se os valores que representariam a dosagem aceita e foram inseridos nas equações, obtendo-se os valores de alcance máximo, e com isto calculou-se a média para a obtenção do valor de alcance máximo médio do sistema.

O efeito das variações de dosagens e das velocidades (mudança de marcha) no alcance máximo foi caracterizado através de equações de regressão linear, da mesma forma que as equações anteriores; a única mudança foi que, ao invés de se utilizarem valores médios, utilizaram-se os valores de cada repetição para cada condição. Desse modo, com os valores obtidos pelas equações que estão sob a mesma condição de variação, estimaram-se 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 aplicou-se o teste de Tukey a 5% através do programa Sisvar[®] (FERREIRA, 1999).

A verificação entre a dosagem programada e observada foi realizada pela variação percentual entre programada e observada através da coleta de todo material depositado nos coletores, sendo estes valores extrapolados para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para realizar as comparações e com estes valores foi criado um gráfico de dispersão para avaliação visual das variações. Com os dados de variações foi analisado se esses erros variam de acordo com a variação das dosagens e velocidade utilizando o programa Sisvar[®] para a realização do (DIC) em esquema fatorial.

4.4.2 Ensaio de deposição longitudinal

O ensaio de distribuição 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 duas linhas simples, no sentido de deslocamento da máquina, somando-se doze bandejas para cada lado; essas linhas estavam distantes uma da outra em 3,5m de centro a centro da bandeja, de acordo com a figura a seguir:



Figura 7 Distribuição longitudinal das bandejas de coleta

Foram realizadas cinco passagens nas doses de 300, 600 e 1000 kg.ha⁻¹. Após aplicação, cada amostra foi enumerada e pesada dividindo o valor encontrado pelo número de passagens.

Com os dados obtidos por pesagem do material, calculou-se a frequência relativa (em percentagem), tomando por base o maior valor obtido. 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 analisada por Delineamento Inteiramente Casualizado, e para os valores significativos utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o programa Sisvar[®].

4.4.3 Ensaio de regime de trabalho

Este ensaio teve como objetivo verificar o comportamento do sistema de distribuição em condições reais de campo. Para isso foram espalhadas pelo campo 16 pares de lonas com 2,0m de comprimento cobrindo os dois lados de distribuição da máquina, de acordo com a figura abaixo:



Figura 8 Lona utilizada para avaliar a aplicação, à taxa variável em cafeeiro

Deste modo, as doses eram variadas de acordo com o mapa de aplicação que foi inserido no controlador. O mapa foi criado por uma empresa terceirizada que utilizou células amostrais de 1ha obtendo cinco subamostras para cada ponto com profundidade de 0,20 m, na projeção da copa do cafeeiro; após a análise e interpretação dos dados, foi realizada a interpolação dos dados, gerando o mapa mostrado na figura a seguir:

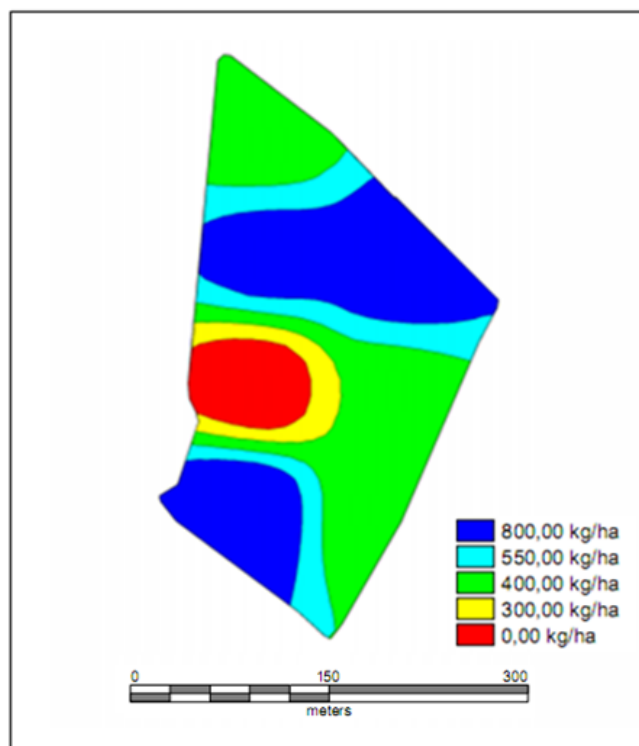


Figura 9 Mapa de aplicação de Superfosfato Simples em taxa variada

Após a passagem do sistema nos pontos demarcados, o material todo foi coletado, pesado e extrapolado para $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para comparação com a dose programada; obtiveram-se os valores de erros através de percentagem do quanto o material coletado diferiu da indicação do mapa. Com esses dados também criou-se um gráfico de dispersão para análise visual da variação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise física do superfosfato simples

A análise da granulometria apresentada pelo Superfosfato Simples durante os ensaios estão representados na Tabela 1.

Tabela1 Análise granulométrica do Superfosfato Simples utilizado nos ensaios – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Malha (mm)	Massa retida (g)	Porcentagem (%)
4,0	19	3,8
2,8	20	4,0
2,0	12	2,4
1,0	34	6,8
0, 710	20	4,0
0,5	18	3,6
0, 250	117	23,4
0, 125	133	26,6
< 0, 125	127	25,4
Total	500	100,0

A maior quantidade do material foi classificado como menor ou igual ao diâmetro de 0.250 mm representando 75,4% da amostra, o que caracteriza o material com pequeno diâmetro médio dos grânulos; assim, este material é muito susceptível à deriva.

O ângulo de repouso do material foi de 46,45° apresentando característica de escoamento média; 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. Sendo assim, o material utilizado é passível de apresentar problemas na

deposição da máquina, implicando em variação da dose de aplicação, pois seu valor é muito próximo ao considerado como de baixo escoamento.

A densidade apresentada pelo material foi de $1,17 \text{ g.cm}^{-3}$. A umidade apresentou valores em torno de 8% e devido a sua alta higroscopicidade, em algumas condições não foi possível a realização dos ensaios levando-se em conta a alta umidade do ar apresentada nos dias de ensaio

5.2 Análises do ensaio de deposição transversal

O resumo da análise de variância dos dados referentes as avaliações de distribuição transversal do produto aplicado encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 Resumo da análise de variância dos dados referentes à dose aplicada (kg.ha^{-1}), defasagem (erros da aplicação %) e alcance (m) para o ensaio de distribuição transversal do produto aplicado – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Fonte de Variação	GL	Dose Aplicada	Defasagem	Alcance
Dose nominal	2	59350,234*	0,688 ^{ns}	0,921 ^{ns}
Marchas	1	0,0 ^{ns}	0,797 ^{ns}	15,559*
Dose nominal*Marchas	2	3,302 ^{ns}	1,981 ^{ns}	1,441 ^{ns}
C.V		0,56	0,25	0,38
Média Geral		615,928	2,671	3,649

GL = Grau de Liberdade; e* = valor de F calculado significativo a 5%; e^{ns} = valor de F calculado não significativo; C.V. = coeficiente de variação (%).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade para a variável resposta Doses Aplicadas.

Tabela 3 Médias das doses aplicadas para as diferentes doses programadas de Superfosfato Simples ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Doses programadas	Doses Aplicadas
300	292,752 c
600	583,438 b
1000	971,595 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade para a variável resposta Alcance.

Tabela 4 Médias de alcance para as diferentes marchas na aplicação de Superfosfato Simples ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Marchas	Alcance (m)
2B	3,64 b
3B	3,66 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A interação doses x marchas não foi significativa ($p > 0,05$). Logo, os efeitos das doses nominais sobre dose aplicada, defasagem e alcance independem das diferentes marchas (ou vice-versa). Sendo assim, pode-se afirmar que, independente da velocidade e das doses de aplicação, o sistema se ajusta às condições determinadas, aplicando a dose requerida pelo controlador. Quanto à defasagem (erro de aplicação) pode-se afirmar que as diferentes doses e marchas não interferem no erro do sistema de aplicação; com isso, independente destas condições, a máquina não apresentará variações maiores de

erro. O alcance também não apresenta alteração devido a variação das doses de aplicação juntamente com a marcha.

Para a dose nominal, o teste foi significativo ($p < 0,05$) apenas para dose aplicada. Logo, as doses nominais apresentam efeitos diferentes sobre as doses aplicadas e efeitos semelhantes sobre a defasagem e o alcance.

As médias de doses aplicadas obtidas para a dose nominal $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ são significativamente superiores às doses nominais $600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, sendo que esta última apresenta a menor média referente às doses aplicadas.

Para a fonte de variação marchas, o teste foi significativo ($p < 0,05$) apenas para alcance. Logo, as marchas apresentam efeitos diferentes sobre o alcance e efeitos semelhantes sobre as doses aplicadas e defasagem. Deste modo, com a variação da marcha (velocidade), o alcance de aplicação da máquina aumentou em média $0,02 \text{ m}$ de acordo com os resultados do teste Tukey a 5% de probabilidade. O fato, porém, não contém relação direta com nenhum mecanismo do sistema de aplicação, pois independente da marcha utilizada, a rotação dos discos de distribuição é a mesma. Um fator que pode ter ocorrido no ensaio é a variação da densidade do material, pois o produto possui higroscopicidade alta e pode ter ocorrido variação das condições climáticas nos dias de ensaio, fazendo o material apresentar maior umidade, provocando aumento de sua densidade. O valor apresentado da densidade do produto é um valor médio de várias amostras coletadas ao longo dos dias dos ensaios. Deste modo, os ensaios em que o material possuía maior umidade, sofreu menos interferência entre a energia cinética de aplicação com o meio, sendo assim apresentando maior alcance de distribuição transversal.

Os valores de alcance máximo de aplicação transversal criados através das equações de regressão linear são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 Valores de Alcance Máximo de aplicação transversal de Superfosfato Simples – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Tratamentos	Equações	R ²	Alcance Máximo (m)
300 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -84,076x + 553,18$	0,9944	3,63
300 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -85,683x + 563,79$	0,9966	3,66
600 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -167,41x + 1103,3$	0,9948	3,63
600 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -170,9x + 1122,5$	0,9966	3,66
1000 kg.ha ⁻¹ marcha 1B	$y = -279,98x + 1846,4$	0,9947	3,64
1000 kg.ha ⁻¹ marcha 2B	$y = -282,3x + 1858,0$	0,9975	3,67
Alcance Máximo Médio = 3,65 m			

Os valores de alcance máximo de aplicação transversal de Superfosfato Simples variaram entre 3,63 e 3,67 m, apresentando alcance médio de 3,65m; com isso podemos afirmar que a máquina consegue aplicar o produto utilizado no teste até o seu valor médio de 3,65 m; após essa distância, a aplicação não estará dentro dos padrões definidos neste trabalho. Outro fator a ser levado em conta é que áreas onde se utiliza mecanização da cultura do cafeeiro possuem variação de espaçamento entre plantas variando de 3,5 a 4,0 m de distância; a máquina, porém, só consegue aplicar até a distância máxima de 3,65 m. Este fator pode ser corrigido aumentando-se a velocidade angular dos discos de aplicação, o que pode ser realizado de duas formas: a primeira é realizar uma ampliação no mecanismo de transmissão entre a TDP do trator e o de movimentação dos discos de distribuição da máquina de aplicação de produtos sólidos; a segunda forma seria a utilização de mais um motor hidráulico no sistema, fazendo que o controlador possa comandar, além da movimentação da esteira, a movimentação dos discos de aplicação.

A Tabela 6 apresenta os valores de doses recomendadas e das doses efetivamente aplicadas pelo sistema de aplicação à taxa variável.

Tabela 6 Doses Recomendadas e Doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável de Superfosfato Simples – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
300	290,159	-3,28
300	291,429	-2,86
300	292,698	-2,43
300	293,333	-2,22
300	297,778	-0,74
300	291,111	-2,96
600	577,778	-3,70
600	585,397	-2,43
600	582,222	-2,96
600	590,473	-1,59
600	582,222	-2,96
600	582,540	-2,91
1000	972,311	-2,77
1000	976,521	-2,35
1000	974,686	-2,53
1000	964,343	-3,57
1000	972,311	-2,77
1000	969,400	-3,06

Os valores de erro em percentagem das aplicações realizadas nos ensaios estão representados no Gráfico 1.

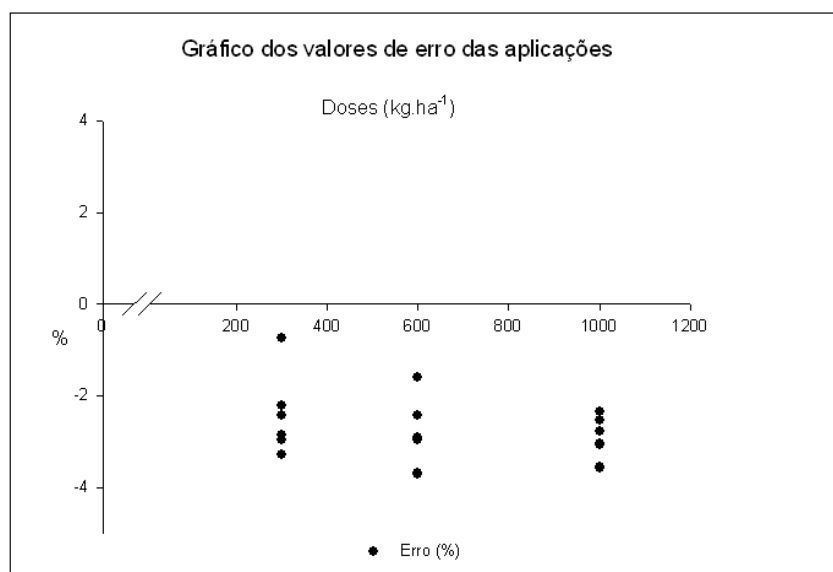


Gráfico 1 Valores percentuais dos erros de aplicação de Superfosfato simples do sistema – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Todos os valores de aplicação apresentaram subdosagem e variaram de -0,74 a -3,70 %, obtendo variação média de -2,67%; Molin et al. (2001), em uma avaliação semelhante para máquina de aplicação à taxa variável, utilizando uréia, encontrou valores que variaram entre 18,4 a 26,7%. Deste modo, podemos afirmar que uma variação média de -2,67%, o sistema de aplicação à taxa variável pode se considerar preciso.

5.3 Análises do ensaio de deposição longitudinal

O resumo da análise de variância dos dados referentes às avaliações de deposição longitudinal do produto aplicado encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7 Resumo da análise de variância dos dados referentes aos lados de aplicação nas três doses programadas para o ensaio de distribuição longitudinal do produto aplicado – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Doses Programadas (Kg.ha ⁻¹)	F calculado	Coefficiente de Variação (%)
300	26,031*	5,51
600	145,926*	3,37
1000	313,768*	2,48

e* = valor de F calculado significativo.

Para a fonte de variação Lado o teste foi significativo ($p < 0,05$), em todas as doses programadas. Logo, o lado de aplicação apresenta efeitos diferentes sobre as doses aplicadas.

Nas Tabelas 8, 9 e 10 são apresentados os resultados do teste Tukey, a 5% de probabilidade para a fonte de variação Lado.

Tabela 8 Médias das doses aplicadas para os diferentes lados de aplicação de Superfosfato Simples na dose programada de 300 kg.ha⁻¹ – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Lado	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)
Direito	80,83 b
Esquerdo	90,66 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios significativos para a dose de 300 kg.ha⁻¹ apresentou para o lado direito média de 80,33 kg.ha⁻¹ e 90,66 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, apresentando um valor inferior para o lado direito de 12,16%.

Tabela 9 Médias das doses aplicadas para os diferentes lados de aplicação de Superfosfato Simples na dose programada de 600 kg.ha⁻¹ – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Lado	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)
Direito	151,50 b
Esquerdo	179,83 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para os valores médios significativos de aplicação entre os lados na dose de 600 kg.ha⁻¹ verifica-se média de 151,50 kg.ha⁻¹ para o lado direito e 179,83 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, apresentando uma variação de 18,69% entre os lados.

Tabela 10 Médias das doses aplicadas para os diferentes lados de aplicação de Superfosfato Simples na dose programada de 1000 kg.ha⁻¹ – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Lado	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)
Direito	249,19 b
Esquerdo	298,31 a

Médias seguidas de mesma letra na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores médios significativos para a dose de 1000 kg.ha⁻¹ apresentou média de 249,19 kg.ha⁻¹ para o lado direito e 298,31 kg.ha⁻¹ para o lado esquerdo, observando uma variação entre os lados de 19,71%.

Em todas as doses aplicadas, o lado esquerdo apresentou maior aplicação em relação ao lado direito. Werner et al. (2007), observaram em seu trabalho que a variação longitudinal da aplicação de seu equipamento variava como se fosse em ciclos, e concluiu que essa dada variação foi devida a granulometria do produto que interferiu na sua fluidez na máquina. O produto

utilizado neste estudo também apresentou valores de ângulo de repouso considerados ruins para o escoamento, fazendo com que qualquer imperfeição que haja na angulação da máquina interfira na aplicação causando variação na aplicação.

Os Gráficos 2, 3 e 4 representam as variações ocorridas na aplicação longitudinal do produto nas doses $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, $600 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente.

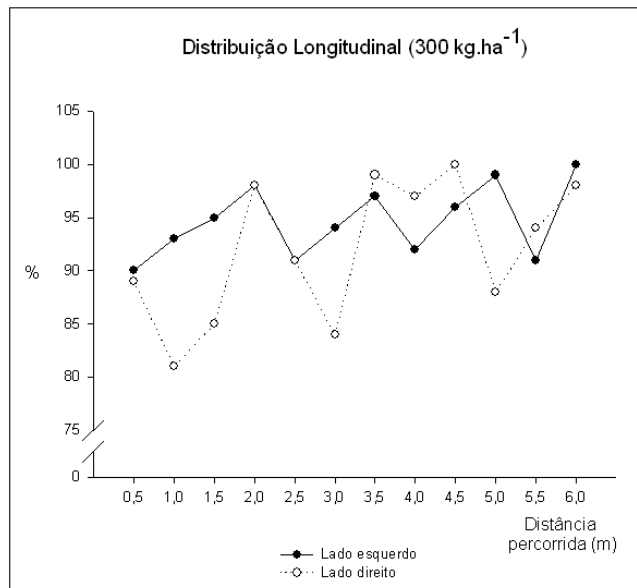


Gráfico 2 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de $300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ - Fazenda Resfriado, Lavras - MG - 2009

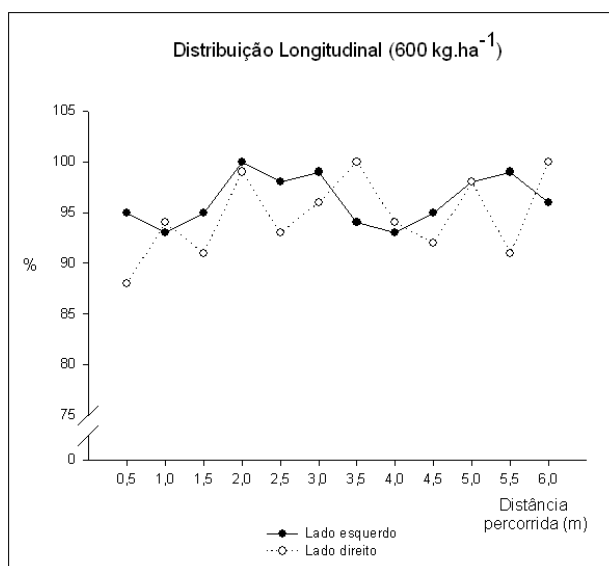


Gráfico 3 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 600 kg.ha⁻¹ - Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

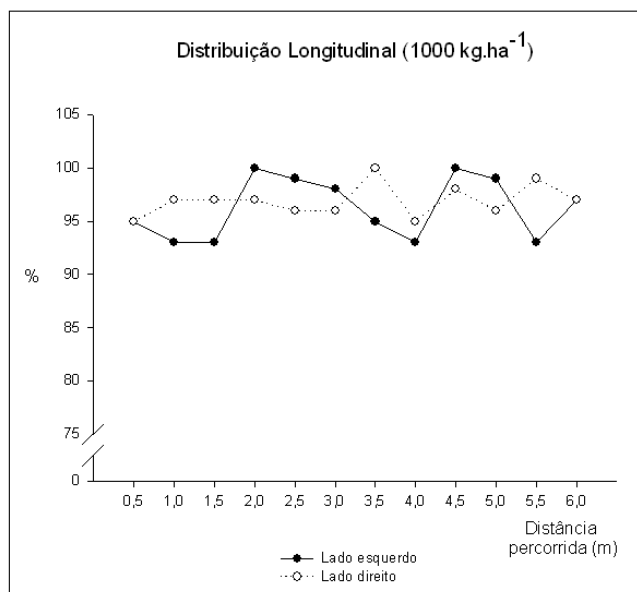


Gráfico 4 Valores percentuais da aplicação longitudinal na dose de 1000 kg.ha⁻¹ - Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Como se pôde observar nos gráficos 2, 3 e 4, o comportamento da aplicação ao longo da linha de deslocamento mostra a variação que ocorre entre os coletores, pontuando valores de 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 dose em que ocorreu maior variação foi a de 300 kg.ha⁻¹, e o fator que pode ter contribuído para essa discrepância é a baixa velocidade da esteira para aplicar uma menor dose; assim, a máquina poderia estar perto do seu limite inferior de aplicação, levando o sistema a utilizar baixa vazão de óleo e provocando maior vibração no sistema.

5.4 Análises do ensaio de regime de trabalho

A Tabela 11 nos mostra as diferentes doses de aplicação de acordo com a prescrição do mapa de recomendação inserido no controlador para Superfosfato Simples e o quanto foi aplicado efetivamente.

Tabela 11 Doses Recomendadas e Doses efetivamente aplicadas pelo sistema de distribuição à taxa variável de Superfosfato Simples – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
400	371	-7,82
550	530	-3,77
800	784	-2,04
300	293	-2,39
0	0	0,00
300	254	-3,30
550	533	-3,19
800	773	-3,49
400	378	-5,82
550	563	-2,31
800	789	-1,39
400	388	-3,09
400	391	-2,30

Continua...

Tabela 11, conclusão.

Dose Recomendada (kg.ha ⁻¹)	Dose Aplicada (kg.ha ⁻¹)	Erro (%)
400	387	-3,36
400	393	-1,78
400	374	-6,95

O Gráfico 5 nos mostra os erros percentuais de aplicação à taxa variável nos pontos de coleta do ensaio.

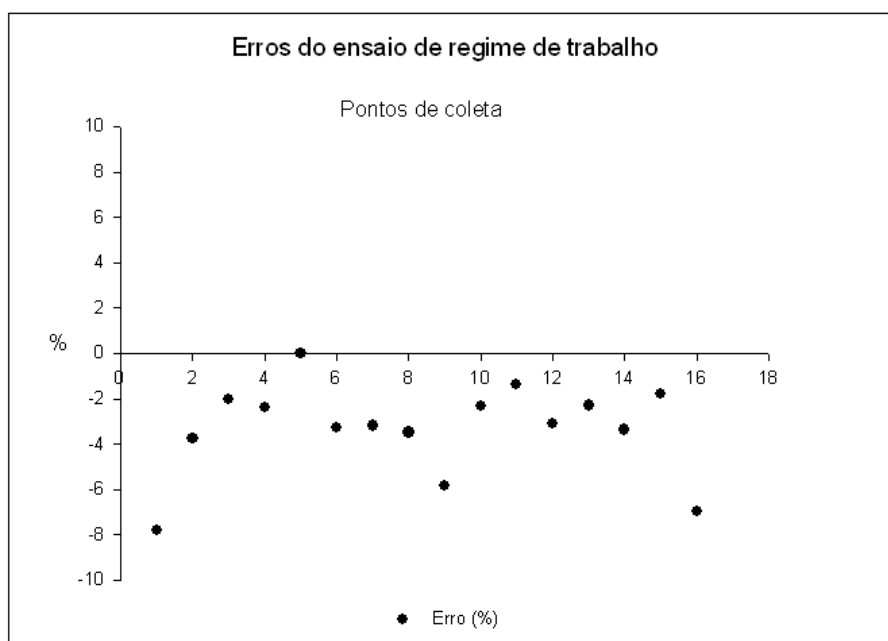


Gráfico 5 Valores percentuais dos erros de aplicação em taxa variável – Fazenda Resfriado, Lavras - MG – 2009

Nos 16 pontos de amostra, o valor que possuiu maior valor de erro na aplicação é de -7,82 % sendo que houve um ponto no qual não apresentou erro, o ensaio apresentou um erro médio de aplicação de -3,31%. Cerri (2001), em trabalho semelhante, apresentou erros de aplicação variando entre 3 a -2,9%; no presente trabalho, todos os erros que ocorreram foram de dosagem menor que a esperada. Esses dados demonstraram que o sistema, de forma geral, apresentou bons resultados na aplicação de Superfosfato Simples, à taxa variável.

6 CONCLUSÕES

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

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

O limite de aplicação entre linhas do cafeeiro (alcance máximo), para este sistema, é de 3,65m, utilizando Superfosfato Simples nas mesmas condições físicas apresentadas no trabalho.

A variação média da aplicação entre dose programada e dose aplicada para o ensaio de distribuição transversal foi de -2,67%.

Em todas as doses utilizadas no ensaio longitudinal, o lado direito da máquina aplicou menos que o esquerdo, sendo a variação de 12,16%; 18,69% e 19,71% para as doses de 300, 600, e 1000 kg.ha⁻¹, consecutivamente.

A aplicação do sistema à taxa variável em condições reais de campo apresentou erro médio de 3,31%, sendo considerada de boa precisão, validando o uso do sistema na cultura do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

AGRIANUAL. **Participação do Brasil deve ficar estável**. São Paulo: FNP Consultoria, 2007. 216 p.

ALVES, E. A. et al. **Mapeamento da qualidade do café cereja em uma fazenda da região das matas de Minas Gerais**. Brasília: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/siap2005/artigos/>>. Acesso em: 5 jan. 2010.

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.

BHATTI, A. U. et al. Identifying and removing spatial correlation from yield experiments. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 55, n. 6, p. 1523-1528, June 1991.

BOLFE, E. L.; GOMES, J. B. V.; FONTES, H. R. Variabilidade espacial de atributos do solo como subsídio para produção integrada de frutas em perímetro irrigado no nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2007. p. 67-74.

CAMARGO, W. P. **Desenvolvimento de um ambiente web para interação entre participantes de projetos de agricultura de precisão**. 2005. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

CAMPOS, D. C. et al. **Seleção de índices espectrais para estimativa da variabilidade da produtividade na cafeicultura de montanha em imagens aéreas**. Brasília: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/siap2005/artigos/>>. Acesso em: 5 jan. 2010.

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.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**: segunda estimativa da safra de 2010. Brasília: Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, 2010. 18 p.

CORÁ, J. E.; MARQUES JÚNIOR, J. Mecanização e agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA, 1998. p. 31-37.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T. Field-scale soil fertility variability in acid tropical soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 15., 1994, Acapulco. **Transactions...** Acapulco: Acibia, 1994. p. 610-627.

FAULIN, G. D. C. et al. Estudo da espacialidade da maturação de café (*Coffea arabica* L.) visando a confecção de mapas de produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 1., 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP/ESALQ, 2004. 1 CD-ROM.

FERREIRA, D. F. **SISVAR Sistema de Análise de Variância para Dados Balanceados**. Versão 4.0. Lavras: UFLA, 1999. Software.

GOERING, C. E.; HAN, S. **A field information system for SSCM**. Warrendale: SAE International, 1993. 13 p.

GUIMARÃES, A. A. **Análise da norma ISO11783 e sua utilização na implementação do barramento do implemento de um monitor de semeadora**. 2003. 114 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Digitais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

GUIMARÃES, A. A.; SARAIVA, A. M. As aplicações agrícolas e o protocolo CAN: uma aplicação a um monitor de semeadora. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AGROINFORMÁTICA, 3., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBI Agro, 2002. p. 35-42.

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.

KAWABATA NETO, M. **Utilização do modulo cretalink para a transmissão, em tempo real, de sinais de correção para sistemas GPS diferenciais (DGPS).** 2005. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2005.

KRUEGER, C. P. **Normas técnicas, geodésia e posicionamento por satélite: módulo II.** Curitiba: UFPR, 2004. 111 p.

LOPES, W. C. **Análise de desempenho do protocolo CAN para aplicação na área agrícola utilizando redes de petri coloridas.** 2007. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

MACHADO, T. M. **Avaliação de desempenho de receptores de GPS em modo estático e cinemático.** 2008. 115 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

MARQUES JÚNIOR, D. et al. Variabilidade espacial de propriedades químicas e físicas de latossolos em áreas de cerrado sob cultivo de café, em Patrocínio, MG. In: BALASTREIRE, L. A. **O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil: mapeamento da produtividade e de atributos de solos e de plantas.** Piracicaba: ESALQ, 2000. cap. 3, p. 105-112.

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

MIRANDA, N. O. et al. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 242-249, mar./abr. 2005.

MOLIN, J. P. et al. Avaliação do desempenho de distribuidora de produtos sólidos a lanço em doses variáveis de uréia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz de Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

_____. Mapeamento da produtividade de café e sua correlação com componentes de fertilidade do solo em duas áreas pilotos. In: BALASTREIRE, L. A. **Avanços na agricultura de precisão no Brasil no período de 1999-2001**. Piracicaba: ESALQ, 2002. p. 58-65.

_____. Taxa variada de P e K em um cafezal e sua influência na produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2006, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: USP/ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: UNESP, 2007. 476 p.

ODA, M. L. **Aplicação de métodos geoestatísticos para identificação de dependência espacial na análise de dados de um experimento em delineamento sistemático “tipo leque”**. 2005. 72 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

PEDROSO, S. A. **A lavoura, história e agronegócios no Brasil**. Disponível em: <<http://www.nucleoestudo.ufla.br/necaf/homepagenecaf.html>>. Acesso em: 5 nov. 2008.

PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M. Cafeicultura de precisão. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3., 2005, Brasília. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2005. Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/siap2005/palestras.htm>>. Acesso em: 2 maio 2010.

QUEIROZ, D. M. de; DIAS, G. P.; MANTOVANI, E. C. Agricultura de precisão na produção de grãos. In: BORÉM, A. B. et al. **Agricultura de precisão**. Viçosa, MG: UFV, 2000. p. 1-42.

QUEIROZ, J. E. et al. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. R.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. (Org.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 69-111.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: UFJF, 2020. 220 p.

_____. Uso eficiente do GPS de navegação no cadastro de feições lineares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2004. p. 1-7.

ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Geoprocessamento. In: SILVA, F. M. **Mecanização e agricultura de precisão**. Viçosa, MG: UFV, 1998. cap. 1, p. 1-30.

SEGANTINE, P. C. L. **GPS Sistema de Posicionamento Global**. São Carlos: Suprema, 2005. 381 p.

SEREIA, V. J.; CAMARA, M. R.; CINTRA, M. V. Competitividade internacional do complexo cafeeiro brasileiro e paranaense. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 557-578, 2008.

SILVA, T. M. L. S. **Análise de erros em receptores de GNSS**. 2007. 65 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica e de Computadores) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial das características químicas do solo e produtividade de milho em um argissolo vermelho-amarelo distrófico arênico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 1013-1020, jan./fev. 2003.

_____. 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.

_____. 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.

SLOT, M. H. et al. Spatial variability in Palustrine wetlands. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 527-535, Jan. 2001.

SOUZA, C. K. **Variabilidade espacial de atributos de solo e produtividade em área cultivada com café orgânico e convencional**. 2006. 65 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1763-1771, nov./dez. 2004.

STAFFORD, J. V.; AMBLER, B.; BOLAM, H. C. Cut width sensors to improve the accuracy of yield mapping systems. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 1., 1997, Warwick. **Proceedings...** Oxford: Bios Scientific, 1997. p. 519-528.

STRAUSS, C.; CUGNASCA, C. E.; SARAIVA, A. M. Protocolos de comunicação para equipamentos agrícolas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE AUTOMAÇÃO, 8., 1998, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CONAI, 1998. p. 147-150.

STRAUSS, C. et al. Applications of the CAN and ISO11783 protocols to a planter monitor. In: _____. **Progress in simulation, modeling, analysis and synthesis of modern electrical and electronic devices and systems**. Athens: World Scientific and Engineering Society, 1999. p. 211-216.

TEIXEIRA, T. D. Política estratégica para a cafeicultura brasileira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: EMBRAPA Café, 2002. p. 169-176.

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.