

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação do efeito de nível do reservatório na vazão de fertilizante
em dosador volumétrico helicoidal**

Attilio Kandrotas Bercht

Trabalho de conclusão apresentado como requisito
para obtenção de título de Engenheiro Agrônomo

**Piracicaba
2017**

Attilio Kandrotas Bercht
Engenheiro Agrônomo

**Avaliação do efeito de nível do reservatório na vazão de fertilizante
em dosador volumétrico helicoidal**

Orientador:
Prof. Dr. Casimiro Dias Gadanha Júnior

Trabalho de conclusão apresentado como requisito
para a obtenção de título de Engenheiro Agrônomo

Piracicaba
2017

DEDICATÓRIA

A minha família e amigos que me prestaram apoio durante a realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me guiar e proporcionar as boas vivências, oportunidades e amizades.

Aos meus pais Roque e Thelma por me apoiarem, me educarem e me ensinar a ter valores na vida.

Ao meu irmão Matheus pelo companheirismo de vida e apoio prestado.

A minha família que me apoiou, incentivou e me acolheu sempre que necessário.

Ao Prof^o. Dr. Casimiro Dias Gadanha Júnior pelos ensinamentos oferecidos com muita didática e paciência, além do ótimo convívio tido com os alunos participantes do Grupo de Extensão e Pesquisa em Tecnologia de Aplicação (GEPTA).

Aos funcionários do Departamento de Engenharia de Biosistemas, em especial Áureo Santana de Oliveira, Juarez Renó do Amaral, Francisco de Oliveira, Agnaldo Ferraz Degaspari e José Geraldo Gomes que me auxiliaram na condução do trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo João Carlos Silva Ferreira pela ajuda e dicas para manipulação e análise dos dados.

Ao Rafael, Adrian e Tânia, amigos que estiveram presentes no laboratório do GEPTA e trabalhamos juntos na condução deste e outros projetos.

Aos amigos Murilo Nadaletto, Rodrigo Spechoto, Giovane Assoni, Wilton Mourão Filho e João Baptistella pelo companheirismo durante a graduação.

A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" que me proporcionou conhecimento, vivências e amizades inestimáveis.

EPÍGRAFE

"Ama-se mais o que se conquista com esforço."

Benjamin Disraeli

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Análise física do fertilizante	16
4.2. Análise entre relações de transmissão.....	17
4.3. Comparação de vazões entre reservatórios por relação de transmissão.....	22
4.3.1. Relação de transmissão 3,00: movida 18 x motora 6	22
4.3.2. Relação de transmissão 1,50: movida 12 x motora 8	22
4.3.3. Relação de transmissão 1,00: movida 12 x motora 12	23
4.3.4. Relação de transmissão 0,67: movida 8 x motora 12	23
4.3.5. Relação de transmissão 0,33: movida 6 x motora 18	24
5. CONCLUSÕES	24
REFERÊNCIAS.....	25

RESUMO

Avaliação do efeito de nível do reservatório na vazão de fertilizante em dosador volumétrico helicoidal

Dentro do aspecto de melhoria do solo e sua fertilidade, a distribuição de insumos é um dos aspectos visados para uso eficiente destes recursos necessários para produção. A avaliação dos mecanismos dosadores tem a importância de apontar variações indesejáveis na dosagem do fertilizante aplicado. Dentre os mecanismos dosadores, o dosador volumétrico helicoidal é o mais utilizado. Contudo, o objetivo do trabalho foi avaliar a vazão do fertilizante em função do nível do depósito em um mecanismo dosador helicoidal. A avaliação foi feita em um adubador cultivador, modelo CAC, da marca Tatu-Marchesan, com 4 reservatórios, que utiliza do mecanismo dosador volumétrico helicoidal para dosagem do fertilizante, utilizando uréia de liberação lenta (45-00-00) e foi realizada avaliação em 5 relações de transmissão (3,00, 1,50, 1,00, 0,67 e 0,33). O reservatório foi dividido em intervalos de 5 níveis de fertilizante e utilizando uma balança conectada a um sistema de aquisição de dados foi determinada a vazão de escoamento do reservatório para os diferentes níveis. Não houve diferença significativa nas vazões de diferentes níveis do reservatório, independentemente da relação de transmissão. Por outro lado, os reservatórios apresentaram diferentes vazões entre si, variando conforme a relação de transmissão utilizada.

Palavras-chave: dosador volumétrico helicoidal, vazão de fertilizante.

ABSTRACT

Evaluation of fertilizing hopper level effect on auger-type metering device

Evaluation of the effect of fertilizing hopper level on auger-type metering device. With regards to the subject of soil improvement and its fertility, the distribution of agricultural inputs is one of the aspects relevant to the efficient use of these resources during agricultural production. The evaluation of the metering devices is important in pointing out undesirable variations in the applied fertilizer dosage. Among the metering devices, the auger-type is the most common. With this in mind, the objective of this paper was to evaluate the fertilizer flow as a function of the fertilizing hopper level in an auger-type metering device. The evaluation was done in a field cultivator/broadcast fertilizer machine, model CAC, of Tatu-Marchesan brand, featuring 4 fertilizing hoppers which use an auger-type metering device, and using slow release nitrogen urea (45-00-00), which was evaluated in 5 transmission ratios (3.00, 1.50, 1.00, 0.67 and 0.33). The fertilizing hoppers were divided in 5 ranges of fertilizer levels. Using a weighing-machine connected to a data acquisition system, the flow rate was determined for each of the different hopper levels. This analysis indicated no significant difference in the fertilizer flow rate for the different hopper levels, independently of the transmission ratio. In contrast, different fertilizer hoppers presented different flow rates, varying according to the transmission ratio used.

Keywords: auger-type metering, fertilising flow rate.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura como atividade econômica competitiva tem como objetivo constante aumentar sua capacidade produtiva para atender a demanda em alimentos e fibra. O uso de diversas ferramentas foram incrementadas na atividade agrícola para alavancar sua produtividade, sendo exemplos o melhoramento genético de plantas cultivadas, uso de corretivos e fertilizantes, irrigação, desenvolvimento de maquinários, dentre outras. O incremento de tecnologia em cada um desses aspectos, foi também o que manteve o constante crescimento da produtividade e eficiência do processo produtivo ao longo do tempo.

Dentro do aspecto de melhoria do solo e sua fertilidade, sabendo de sua importância para o desenvolvimento das culturas, o avanço em maquinários para a distribuição correta e planejada de insumos tem importância crucial para seu melhor aproveitamento. As máquinas usadas para a distribuição de fertilizantes possuem diferentes mecanismos dosadores e de distribuição que visam em geral a distribuição uniforme e em dosagem adequada do fertilizante na lavoura. Balastreire e Coelho (2000), classifica os mecanismos dosadores em gravitacional e volumétrico. Os mecanismos dosadores volumétricos utilizados para a distribuição de fertilizantes são do tipo rotores dentados, disco horizontal rotativo, rotor vertical impulsor, correias ou correntes, cilindros acanalados ou helicoidais.

O dosador volumétrico helicoidal é o mais utilizado. Este mecanismo dosador pode ser regulado com o uso de diferentes passo do helicóide ou relações de transmissão (SIQUEIRA, 2008) que irão alterar a velocidade de rotação do eixo, resultando em diferentes taxas de passagem do fertilizante.

A avaliação dos mecanismos de distribuição tem importância fundamental para apontar variações indesejáveis na dosagem do fertilizante aplicado e também para o desenvolvimento de alternativas que possam incrementar a qualidade de distribuição destes insumos. O objetivo do trabalho foi avaliar a vazão do fertilizante em função do nível do depósito em um mecanismo dosador helicoidal.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Csizmazia e Andersson (2000), o fertilizante sólido é o mais consumido mundialmente. Os mecanismos desenvolvidos para dosar fertilizantes sólidos são diretamente afetados pelas características físicas e as vezes químicas do material utilizado. Segundo Klenin et al. (1985) a mudança em tamanho das partículas do fertilizante, higroscopicidade, capacidade de dispersão e aglutinação, densidade, entre outras propriedades influenciam no funcionamento das máquinas projetadas para dosagem e distribuição. Entretanto, todos os mecanismos dosadores podem ser afetados por essas características do fertilizante, sendo necessária a avaliação específica para cada mecanismo.

Dos equipamentos utilizados para a distribuição de fertilizantes o mecanismo dosador volumétrico helicoidal ou "rosca sem fim" é o mais encontrado. De acordo com o levantamento feito por Francetto et al. (2012) o dosador helicoidal foi encontrado em 94,44 % dos 558 modelos de semeadoras adubadoras avaliadas. Esse mecanismo é composto por um eixo com um helicóide que posicionado na base do reservatório de fertilizante transporta o adubo até o orifício de saída onde o fertilizante é direcionado para o mecanismo distribuidor e depois para o solo. A regulação deste mecanismo é feito através da utilização de helicóides com passos diferentes (implicando no volume deslocado de adubo) ou através da variação de rotação do eixo que movimenta o helicóide, que é ajustado alterando a relação de transmissão (mudando a combinação entre rodas denteadas utilizadas) (SIQUEIRA, 2008).

Diversos trabalhos foram realizados para caracterizar o funcionamento do mecanismo dosador (volumétrico helicoidal) em função da eficiência volumétrica do helicóide, oscilações na inclinação do helicóide, dimensionamento do helicóide, velocidade de rotação, abertura de saída entre outros fatores que possam alterar a qualidade de distribuição do fertilizante, tanto em condições estáticas como em condições que possam simular a operação do equipamento em campo.

Este mecanismo dosador tem como característica a liberação do fertilizante em pulsos, podendo ocasionar desuniformidade ao longo da linha, conforme citado por Siqueira (2008).

Ibrahim et al. (2008) avaliando mecanismo dosador helicoidal constatou diferentes resultados de eficiência volumétrica, utilizando em seu ensaio três helicóides com capacidades volumétricas de 24,27, 39,19 e 50,56 cm³, 12 velocidades de rotação do helicóide, dois fertilizantes (uréia e super fosfato) e três aberturas entre o reservatório e o helicóide (16, 32 e 48 cm²), sendo que todos os fatores influenciaram na eficiência volumétrica do mecanismo dosador. O autor também reporta a relação direta entre a taxa de descarga do fertilizante e o volume de deslocamento do helicóide e a rotação do eixo.

Para avaliar a constância de aplicação do mecanismo dosador quando submetido a inclinações, Reynaldo (2013) avaliou 19 mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos do tipo rosca helicoidal de 5 diferentes marcas comercializados pelos principais fabricantes nacionais, com passos de $\frac{3}{4}$, 1, $1\frac{3}{4}$ e 2 polegadas em 5 diferentes ângulos (-15, -5, 0, 5 e 15°) de nivelamento longitudinal e transversal. Seus resultados demonstraram que todos os dosadores obtiveram variações significativas quando submetidos a inclinações, ainda que as inclinações transversais resultassem numa menor variação de vazão, as diferenças ainda foram significativas. Entretanto, relata também que os mecanismos com os menores passos de rosca apresentaram as maiores variações de dosagem, quando submetida às inclinações longitudinais e transversais.

Ferreira et al. (2010), avaliaram o mesmo mecanismo dosador, na configuração por transbordo (equipados com uma janela transversal ao movimento da helicóide, posicionada ao final desta, com a finalidade de evitar a pulsação na dosagem) e por gravidade, alterando a inclinação longitudinal do dosador (-10, -5, 0, 5 e 10°), variando a velocidade rotação do seu eixo (55 e 73 rpm) e utilizando um fertilizante granulado e uma mistura farelada. Seus resultados também comprovaram que as inclinações alteram significativamente a dosagem de fertilizantes em ambas as configurações, sendo que o dosador de fertilizante na configuração por transbordo apresenta melhor desempenho quando comparado ao de gravidade. Porém, a uma inclinação de 10°, em todas as condições, a diferença de vazão foi significativa.

Camacho-Tamoyo (2009) avaliando 4 dosadores (espiral flutuante, rotor horizontal, rosca sem fim e rotor acanalado) com 4 diferentes materiais entre corretivos e fertilizantes relatou que a descarga é diretamente dependente da

velocidade de giro dos dosadores e também influenciado pelo tamanho de partícula, ângulo de repouso, densidade aparente e pela umidade relativa do produto dosado em todos os dosadores testados.

Contudo, os trabalhos apontaram fatores que podem influenciar na distribuição do mecanismo dosador, em geral visando compreender as possíveis irregularidades que podem ocorrer no funcionamento do mecanismo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação foi realizada no Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ - USP) utilizando um adubador-cultivador da marca Tatu-Marchesan, modelo CAC, montado, acionado pela tomada de potência (TDP), com 4 reservatórios, com mecanismo dosador volumétrico helicoidal para fertilizante. O helicóide ou "rosca sem fim" utilizado tinha o comprimento do passo de 2" ou 5,08 cm. A relação de transmissão é definida pelo uso de rodas denteadas na árvore motriz e árvore movida (Figura 1) que definem diferentes velocidades de rotação da árvore de acionamento do helicóide, resultando em diferentes velocidades de rotação do helicóide (Tabela 1). Das 37 possibilidades de relações de transmissão que a máquina oferece, foram selecionadas 5 relações para a avaliação das vazões. Estas 5 relações de transmissão foram obtidas com o uso das rodas denteadas com número de dentes de 18 e 6; 12 e 8; 12 e 12; 8 e 12; e 6 e 18 na árvore movida e motriz respectivamente, fornecendo as relações de transmissão de 3,00; 1,50; 1,00; 0,67 e 0,33.

Tabela 1. Relação entre as relações de transmissão utilizadas e as rotações por minuto do helicóide.

Rotação por minuto da Tomada de potência	Relação de transmissão da caixa de redução	Relação de transmissão das rodas denteadas	Rotação por minuto do helicóide
540	11,51	3,00	15,6
		1,50	31,3
		1,00	46,9
		0,67	70,0
		0,33	142,2

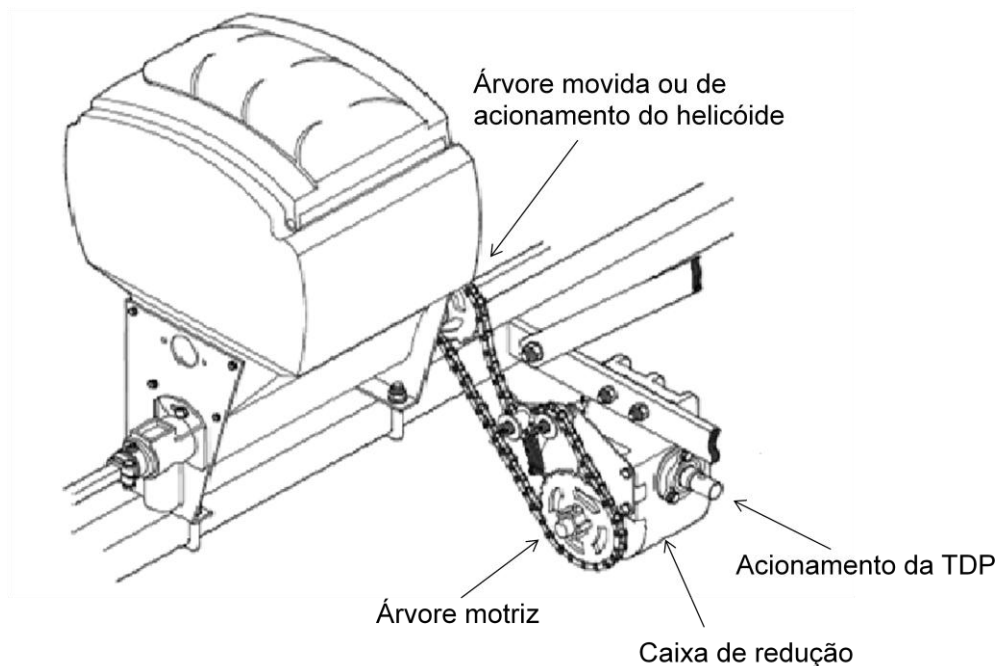


Figura 1. Esquema de acionamento do mecanismo dosador (adaptado do manual de instruções).

O equipamento foi acionado por um trator da marca Massey Ferguson, modelo 296 com 115 cv e o fertilizante utilizado foi a uréia de liberação lenta (45-00-00).

Para a caracterização do fertilizante utilizado foram realizadas análises granulométrica e de ângulo de repouso. Para a determinação granulométrica foram utilizadas 5 peneiras com aberturas de 4,00 mm (ABNT nº 5); 2,38 mm (ABNT nº 8); 2,00 mm (ABNT nº 10); 1,19 mm (ABNT nº 16) e 0,50 mm (ABNT nº 35), sendo dispostas em ordem decrescente e agitando-as por 5 minutos (Figura 2). O ângulo de repouso foi determinado pela medição da inclinação formada pela superfície de deposição natural do adubo. Para isso foi utilizado uma estrutura de madeira, em forma de um quadro, com uma de suas laterais sendo transparente (vidro), sendo o fertilizante despejado através de um funil posicionado no canto superior com velocidade constante até formar um amontoado suficiente para se medir o ângulo de repouso (Figura 3).



Figura 2. Conjunto de peneiras e agitador utilizado para análise granulométrica do fertilizante.

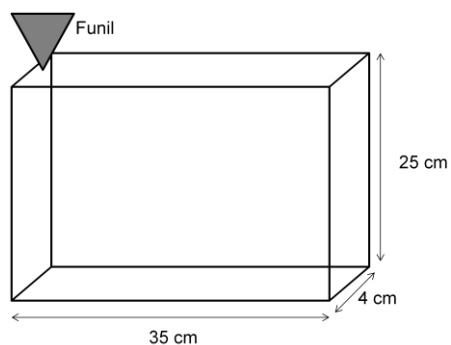


Figura 3. Mecanismo utilizado para determinação do ângulo de repouso do fertilizante.

O ângulo de repouso foi calculado pela relação trigonométrica entre o ângulo de repouso e as medidas (realizadas com régua) do cateto oposto (distância vertical) e cateto adjacente (distância horizontal). A equação utilizada para determinação do ângulo de repouso foi:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Co}{Ca}$$

Em que:

$\operatorname{tg} \alpha$ é o ângulo de repouso ($^{\circ}$);

Co é cateto oposto, ou a medida do eixo x (cm);

Ca é cateto adjacente, ou a medida do eixo y (cm).

Para a avaliação de vazão, os reservatórios de fertilizante foram completados com 45 Kg de uréia de liberação lenta (quantidade que

completava o volume do reservatório) e o acionamento da TDP foi mantido à 540 rpm, sendo monitorado com auxílio de um tacômetro manual (Figura 4).



Figura 4. Tacômetro manual utilizado para monitoramento da rotação da TDP.

O fertilizante, após passar pelo mecanismo dosador foi coletado em um recipiente posicionado sobre uma balança. Esta balança é composta de chapas de aço de 3/8" medindo de aproximadamente 40x50 cm, montadas em sanduíche, com uma célula de carga com as seguintes características:

- Capacidade 200 kgf;
- Sensibilidade 2mV/V;
- Modelo: GL-200;
- Fabricante ALFA Instrumentos.

A célula de carga foi conectada a um circuito eletrônico com um amplificador de sinal e microcontrolador, o qual comunica-se via USB, ao software de aquisição de dados desenvolvido em Delphi, através de uma comunicação serial virtual (Figura 5).

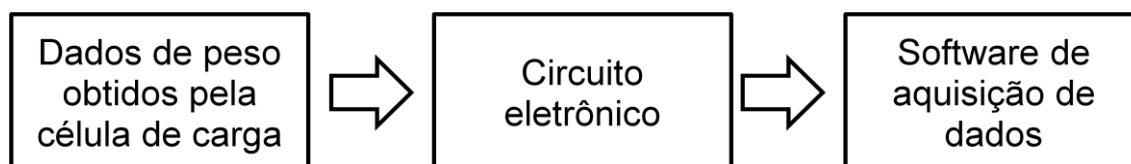


Figura 5. Fluxograma da coleta de dados de vazão.

À medida que o adubo era depositado no recipiente de coleta (continuamente), eram registrados valores de peso. Sendo assim, obteve-se um valor de peso para cada segundo em que o adubo era depositado no recipiente de coleta (Figura 6).



Figura 6. Coleta do fertilizante em célula de carga para determinação da vazão.

Os dados de peso do fertilizante contido no reservatório e intervalo de tempo, foram usados para a determinação da vazão de liberação do fertilizante. A coleta do fertilizante foi realizada individualmente para cada reservatório da adubadora, sendo considerados os reservatórios como 1, 2, 3 e 4, da esquerda para a direita quando o observador está atrás do equipamento. A média das vazões foram calculadas para cada 7 Kg de fertilizante escoados do reservatório (quantidade de fertilizante contida em cada nível), sendo analisado os dados coletados entre 44 e 9 Kg no reservatório, formando assim o intervalo de 5 níveis de fertilizante no reservatório, conforme esquema da figura 7.

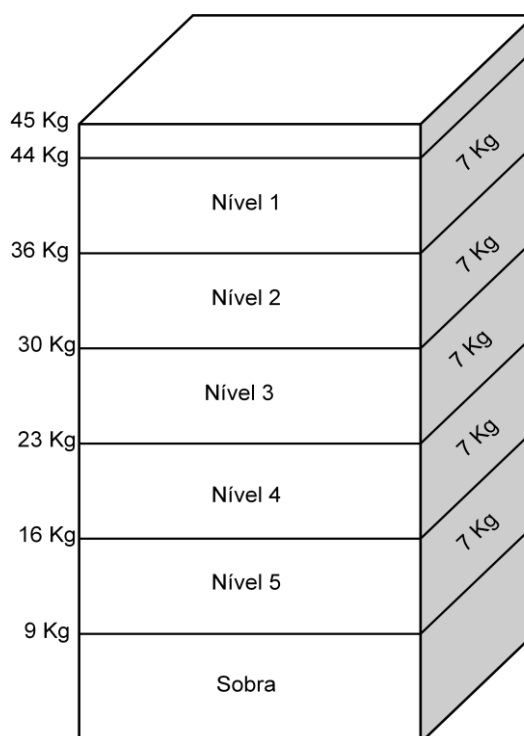


Figura 7. Esquema do reservatório com os 5 níveis de avaliação da vazão.

Para análise estatística, dentro de cada relação de transmissão foi utilizado um fatorial 4x5 com 3 repetições, sendo 4 caixas e 5 níveis e as médias foram comparadas pelo teste de Tuckey a 5% de significância. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2000)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise física do fertilizante

Na tabela 2 está representado os resultados da análise granulométrica realizada com o fertilizante. Nota-se que a maior parte do fertilizante ficou retida na peneira de 2,38 mm.

Tabela 2. Análise granulométrica do fertilizante.

	Peneiras	% de fertilizante retida
ABNT 5	4,00 mm	1,5%
ABNT 8	2,38 mm	94,5%
ABNT 10	2,00 mm	3,5%
ABNT 16	1,19 mm	0,6%
ABNT 35	0,50 mm	0,0%

Na tabela 3 estão representados os valores de ângulo de repouso apresentados pelo fertilizante

Tabela 3. Ângulo de repouso do fertilizante.

Repetição	Ângulo de repouso (°)	Média (°)
1	34,29	
2	34,38	34,12
3	33,69	

4.2. Análise entre relações de transmissão

A comparação dos resultados das análises estatísticas (ANOVA) realizado para cada relação de transmissão separadamente, mostra que para todas as relações de transmissão avaliadas houve uma diferença significativa na vazão entre os reservatórios ($p < 0,05$). Entretanto, a média das vazões não se diferenciaram quando comparadas entre níveis distintos de fertilizante do reservatório, assim como não houve interação entre os fatores nível de fertilizante e reservatório à um nível de 5% de significância (Tabelas 4, 5, 6, 7 e 8). Essa análise permite eliminar a hipótese de que o efeito de uma maior carga de fertilizante reservatório possa interferir na vazão do mecanismo dosador volumétrico helicoidal.

Tabela 4. Análise de variância da relação de transmissão 3,00: movida 18 x motora 6.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
Reservatório	3	3,314605	1,104868	4,294	0,0102
Nível	4	0,940651	0,235163	0,914	0,4652
Reservatório* Nível	12	2,442013	0,203501	0,791	0,6567
Erro	40	10,291389	0,257285		
Total	59	16,988658			
CV (%) =	8,92				
Média geral	5,6895355*				Número de observações: 60

*Valor de vazão representado em gramas por segundo.

Tabela 5. Análise de variância da relação de transmissão 1,50: movida 12 x motora 8.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
Reservatório	3	21,013385	7,004462	115,794	0,0000
Nível	4	0,313869	0,0788467	1,297	0,2875
Reservatório* Nível	12	0,061756	0,00513	0,086	1,0000
Erro	40	2,419632	0,060491		
Total	59	23,809642			
CV (%) =	2,06				
Média geral	11,9522666*				Número de observações: 60

*Valor de vazão representado em gramas por segundo.

Tabela 6. Análise de variância da relação de transmissão 1,00: movida 12 x motora 12.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
Reservatório	3	29,879043	9,959681	43,815	0,0000
Nível	4	0,462131	0,115533	0,508	0,7299
Reservatório* Nível	12	0,142462	0,011872	0,052	1,0000
Erro	40	9,092572	0,227314		
Total	59	39,576209			
CV (%) =	2,71				
Média geral	17,5723686*				Número de observações: 60

*Valor de vazão representado em gramas por segundo.

Tabela 7. Análise de variância da relação de transmissão 0,67: movida 8 x motora 12.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
Reservatório	3	87,992244	29,330748	266,278	0,0000
Nível	4	0,588108	0,147027	1,335	0,2738
Reservatório* Nível	12	0,293636	0,024470	0,222	0,9963
Erro	40	4,406039	0,110151		
Total	59	93,280027			
CV (%) =	1,27				
Média geral	26,1353871*				Número de observações: 60

*Valor de vazão representado em gramas por segundo.

Tabela 8. Análise de variância da relação de transmissão 0,33: movida 6 x motora 18.

FV	GL	SQ	QM	Fc	p
Reservatório	3	291,52573	97,175242	52,554	0,0000
Nível	4	0,486510	0,121627	0,066	0,9917
Reservatório* Nível	12	0,079764	0,006647	0,004	1,0000
Erro	40	73,962783	1,849070		
Total	59	366,05478			
CV (%) =	2,68				
Média geral	50,6729039*				Número de observações: 60

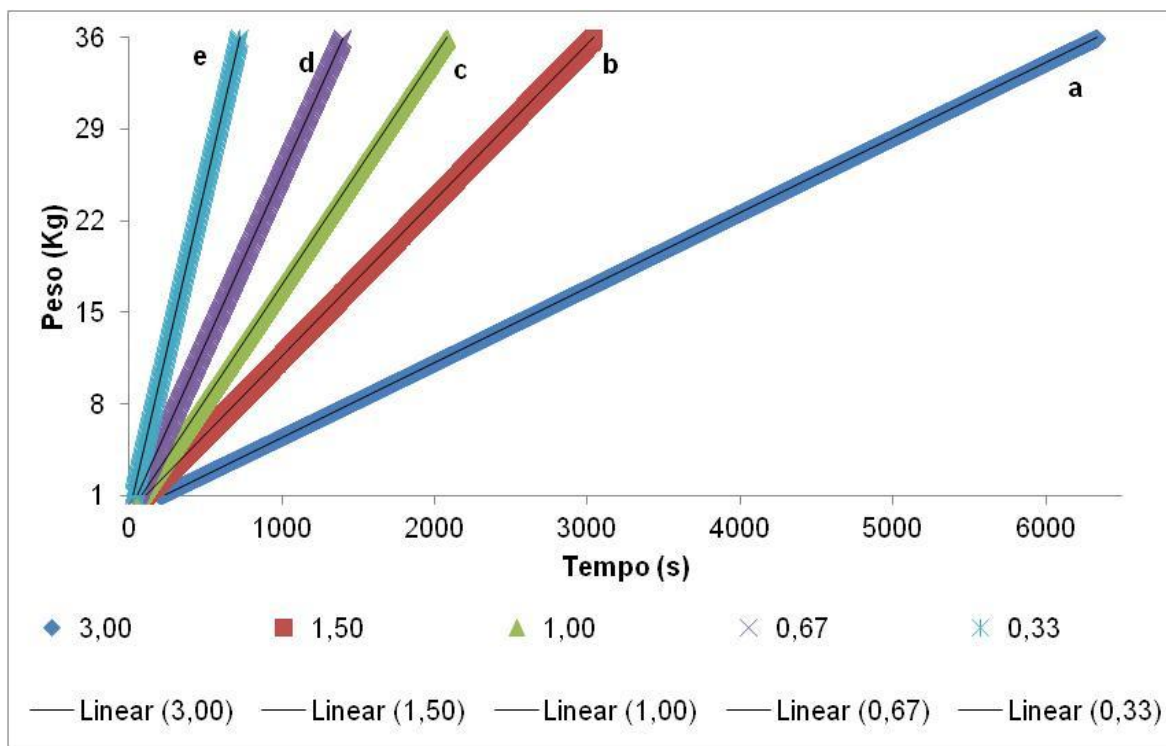
*Valor de vazão representado em gramas por segundo.

A tabela 9 apresenta os valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação, o quais foram calculados utilizando o conjunto total de dados da vazão de cada relação de transmissão, indiferentemente do nível de fertilizante no reservatório. Observa-se que a medida que a relação de transmissão utilizada é menor, implicando em uma maior vazão do fertilizante, o coeficiente de variação diminui. Esse fato pode ser atribuído à característica do mecanismo dosador helicoidal de liberar o fertilizante em pulsos, como citado por Siqueira (2008). Enquanto que a vazão média aumenta com o uso de relações de transmissão menores, a amplitude das oscilações (pulsos) não aumentam em mesma proporção, diminuindo o coeficiente de variação.

Tabela 9. Média, desvio padrão e coeficiente de variação de cada relação de transmissão.

	Relação de Transmissão				
	0,33	0,67	1,00	1,50	3,00
Média (g.s ⁻¹)	50,67	26,14	17,57	11,95	5,69
Desvio padrão	2,76	3,31	2,91	2,24	1,95
Coeficiente de variação (%)	5,44	12,68	16,55	18,71	34,35

Na figura 8 podemos observar a massa de fertilizante coletada em função do tempo de coleta para cada uma das 5 relações de transmissão avaliadas. As curvas da massa de fertilizante coletado em função do tempo possuem tendência linear para todas as relações de transmissão utilizadas, mostrando que não houve variação da vazão independentemente da carga de fertilizante no reservatório.



*a ($y = 0,0057x - 0,2393$; $R^2 = 1$); b ($y = 0,0119x - 0,2892$; $R^2 = 1$); c ($y = 0,0175x - 0,3636$; $R^2 = 1$); d ($y = 0,026x - 0,4443$; $R^2 = 1$); e ($y = 0,0505x - 0,4857$; $R^2 = 1$).

Figura 8. Dados de fertilizante coletado do reservatório (kg) em função do tempo (s) para cada relação de transmissão.

A figura 9 apresenta as vazões ao longo do escoamento do reservatório para as 5 relações de transmissão utilizadas. É possível observar que o mecanismo dosador proporciona uma média de vazão constante ao longo do escoamento do reservatório, porém com oscilações em curtos espaços de tempo, caracterizando assim uma liberação do fertilizante em pulsos.

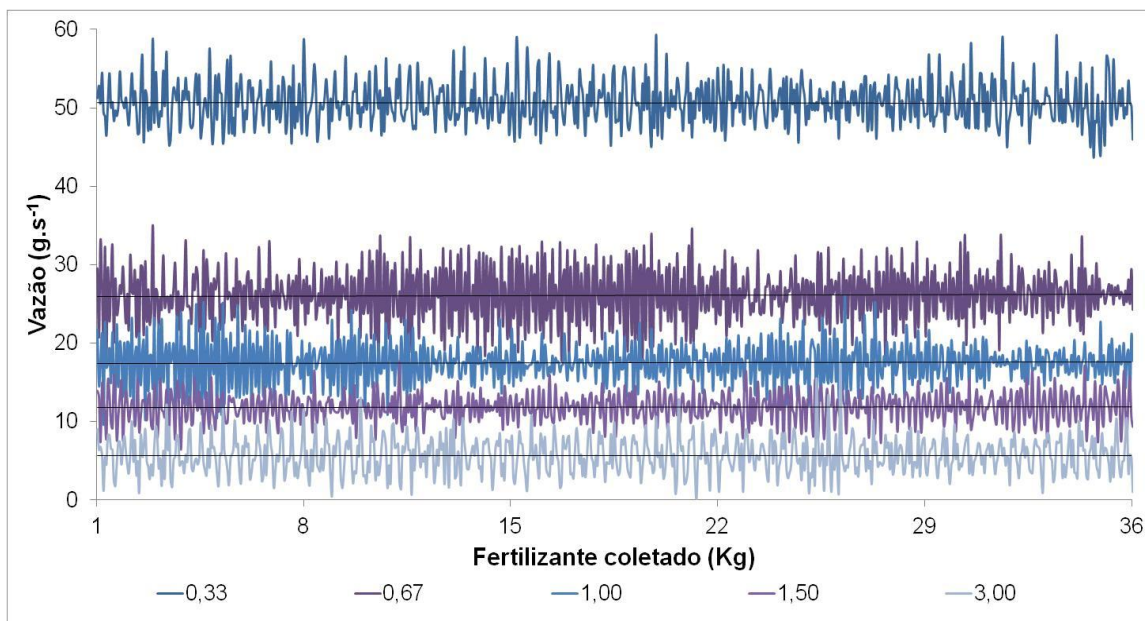


Figura 9. Dados de vazão obtidos em cada segundo durante descarga do fertilizante em diferentes relações de transmissão.

A figura 10 representa as vazões médias obtidas para cada nível nas diferentes relações de transmissão avaliadas. Pode-se observar a variação mínima de vazão entre diferentes níveis de uma mesma relação de transmissão e o aumento da vazão conforme o uso de uma menor relação de transmissão, por implicar em uma rotação maior do helicóide.

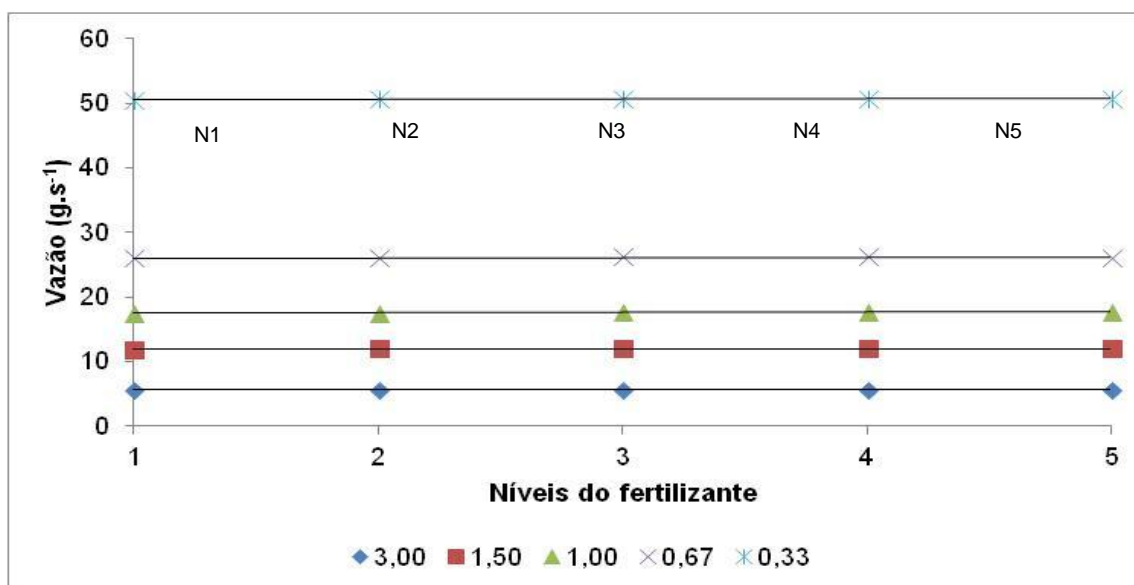


Figura 10. Médias de vazão obtidas em cada nível do fertilizante no reservatório nas 5 diferentes relações de transmissão.

4.3. Comparação de vazões entre reservatórios por relação de transmissão

Para uma análise das diferenças entre os reservatórios, as análises de Tuckey foram realizadas para cada relação de transmissão separadamente.

O mesmo comportamento entre vazão de cada reservatório foi observado nas relações de transmissão 1,50 e 0,67, onde as vazões obtidas do reservatório 1 foi significativamente menor que as vazões dos demais reservatórios, as vazões do reservatório 4 foi superior ao reservatório 1 e inferior aos reservatórios 3 e 2, e as vazões dos reservatórios 3 e 2 não se diferenciaram significativamente entre si (Tabelas 11 e 13).

Para as demais relações de transmissão, houveram padrões diferentes quantos às diferenciações de média de vazões obtidas nos reservatórios. Entretanto, de maneira geral o reservatório 1 apresentou vazões maiores durante as avaliações, assim como o reservatório 3 apresentou vazões maiores.

4.3.1. Relação de transmissão 3,00: movida 18 x motora 6

O reservatório 1 apresentou vazões médias 10,95% menores que o reservatório 3, apresentando uma diferença significativa (Tabela 10).

Tabela 10. Teste Tuckey para a fonte de variação Reservatório.

Tratamentos	Médias	Resultados
Reservatório 1	5,363	a
Reservatório 2	5,645	ab
Reservatório 4	5,728	ab
Reservatório 3	6,023	b

*Comparação a 5% de significância.

4.3.2. Relação de transmissão 1,50: movida 12 x motora 8

O reservatório 1 apresentou vazões médias significativamente menores que os demais reservatórios, sendo essas vazões 4,84%, 11,07% e 11,25% menores que do reservatório 4, 3 e 2, respectivamente. O reservatório 4 apresentou vazão 6,54% e 6,74% menor que os reservatórios 3 e 2 respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11. Teste Tuckey para a fonte de variação Reservatório.

Tratamentos	Médias	Resultados
Reservatório 1	11,113	a
Reservatório 4	11,678	b
Reservatório 3	12,496	c
Reservatório 2	12,522	c

*Comparação a 5% de significância.

4.3.3. Relação de transmissão 1,00: movida 12 x motora 12

O reservatório 4 apresentou vazões médias 7,12% e 9,07% menores que os reservatórios 2 e 3 respectivamente, assim como o reservatório 1 apresentou vazões médias 5,99% e 7,95% menores do que os mesmos reservatórios (Tabela 12).

Tabela 12. Teste Tuckey para a fonte de variação Reservatório.

Tratamentos	Médias	Resultados
Reservatório 4	16,781	a
Reservatório 1	16,986	a
Reservatório 2	18,068	b
Reservatório 3	18,454	b

*Comparação a 5% de significância.

4.3.4. Relação de transmissão 0,67: movida 8 x motora 12

O reservatório 1 apresentou vazões médias significativamente menores que os demais reservatórios, sendo essas vazões 5,97%, 10,59% e 10,95% menores que do reservatório 4, 3 e 2, respectivamente. O reservatório 4 apresentou vazão 4,92% e 5,31% menor que os reservatórios 3 e 2 respectivamente (Tabela 13).

Tabela 13. Teste Tuckey para a fonte de variação Reservatório.

Tratamentos	Médias	Resultados
Reservatório 1	24,284	a
Reservatório 4	25,825	b
Reservatório 3	27,160	c
Reservatório 2	27,273	c

*Comparação a 5% de significância.

4.3.5. Relação de transmissão 0,33: movida 6 x motora 18

O reservatório 1 apresentou vazões médias 8,08%, 9,62% e 10,76% menores que os s reservatórios 2, 4 e 3 respectivamente. Enquanto que o reservatório 2 apresentou vazão 2,92% menor que o reservatório 3 (Tabela 14).

Tabela 14. Teste Tuckey para a fonte de variação Reservatório.

Tratamentos	Médias	Resultados
Reservatório 1	46,973	a
Reservatório 2	51,104	b
Reservatório 4	51,975	bc
Reservatório 3	52,639	c

*Comparação a 5% de significância.

5. CONCLUSÕES

- O nível de fertilizante no reservatório não influenciou na vazão de fertilizante para o dosador volumétrico helicoidal independentemente da relação de transmissão utilizada.
- O adubador pode apresentar diferenças de vazão entre os reservatórios, podendo essa variação chegar a até 11,25%. Portanto, para regulação do equipamento a nível de campo, a amostragem para determinação de uma taxa média de aplicação não deve ser realizada em um único reservatório.
- Quanto maior a relação de transmissão, implicando em uma vazão menor do mecanismo dosador helicoidal, maior o coeficiente de variação. Esse fato pode resultar em uma oscilação maior da taxa do fertilizante aplicado ao longo de uma linha da cultura.

REFERÊNCIAS

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas Agrícolas**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2005. 310 p.

BALASTREIRE, L.A.; COELHO, J. L. D. **Aplicação mecanizada de fertilizantes e corretivos**. ANDA, 2000.

CAMACHO-TAMAYO, J. H.; BARBOSA, A.M.; PÉREZ, N.M.; LEIVA, F.R.; RODRÍGUEZ, G.A. **Operational characteristics of four metering systems for agricultural fertilizers and amendments**. Engenharia Agrícola, v. 29, n. 4, p. 605-613, 2009.

CSIZMAZIA, Z.; ANDERSSON B. **Some physical properties of fertilizer particles**. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, Debrecen University, Hungary. IAMFE-AAB UK 2000: the 11th International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments, Writtle College, Chelmsford, UK, 10-14 July 2000. Aspects of Applied Biology. No. 61, 219-226, 2000.

DALACORT, R.; STEVAN JR, S.L. **Gestão da distribuição agrícola de sementes e fertilizantes: Técnicas e tecnologias para redução de falhas de distribuição**.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR** (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FERREIRA, M. F. P.; DIAS, V. de O.; Oliveira, A.; Alonço. A. dos S.; Baumhardt, U.B. **Uniformidade de vazão de fertilizantes por dosadores helicoidais em função do nivelamento longitudinal**. Engenharia na agricultura, v. 18, p. 297-304, 2010.

FRANCETTO, T. R. DAGIOS, R. F.; FERREIRA, M. F.; ALONÇO, A. S. **Mecanismos dosadores de sementes e fertilizantes presentes nas semeadoras-adubadoras de precisão no Brasil**. CLIA/CONBEA 2012. Londrina - PR, 2012. 4 p.

IBRAHIM, M.M; Z.E. ISMAIL; M.A. EL-SAADANY; O.A. FOU DA. **The Engineering Parameters Affecting The Auger-Type Metering Devices For Fertilizing Distribution**. Misr Journal of Agricultural Engineering v.25, n-3, p. 641-654, Mansoura, 2008.

KLENIN, N.L.; POPOV, I.F.; Sakum V.A. **Agricultural machines**. Amerind Pub. Co. N.Y. 129-153, 186-189, 1985.

REYNALDO, É.F. **Avaliação de mecanismos dosadores de fertilizantes sólidos tipo helicoidais em diferentes ângulos de nivelamento**

longitudinal e transversal. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO, 2013.

SILVA, D. R. G.; LOPES, A. S. **Princípios básicos para formulação e mistura de fertilizantes.** Departamento de Ciência do Solo/DCS. Universidade Federal de Lavras/UFLA 2011. 26 p.

SILVA, M.R. da. **Classificação de semeadoras- adubadoras de precisão para o sistema plantio direto conforme o índice de adequação.** 2003. 82f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SIQUEIRA, R. **Milho: Semeadoras-adubadoras para sistema plantio direto com qualidade.** In: XXVII CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO. 2008.