

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

GERMANO ANTONIO VIEGAS OLIVEIRA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO POR PULVERIZADORES DE
BARRAS EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO, ALTURA E PRESSÃO DE
OPERAÇÃO DAS PONTAS HIDRÁULICAS**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
NOVEMBRO DE 2017**

GERMANO ANTONIO VIEGAS OLIVEIRA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO POR PULVERIZADORES DE
BARRAS EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO, ALTURA E PRESSÃO DE
OPERAÇÃO DAS PONTAS HIDRÁULICAS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.**

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Coorientadores: Tiago Mencaroni Guazzelli

Anderson Candido da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
NOVEMBRO DE 2017**

GERMANO ANTONIO VIEGAS OLIVEIRA

**MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO POR PULVERIZADORES DE
BARRAS EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO, ALTURA E PRESSÃO DE
OPERAÇÃO DAS PONTAS HIDRÁULICAS**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Viçosa como parte das
exigências para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.**

Orientador: Marconi Ribeiro Furtado Júnior

Coorientadores: Tiago Mencaroni Guazzelli

Anderson Candido da Silva

APROVADO:

Prof. Marconi Ribeiro Furtado Júnior

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades que já tive.

Agradeço a todos os meus familiares especialmente minhas avós Isa e Lídia por todo tempo e amor a mim dedicado.

Agradeço aos meus irmãos Isabela, Sara e Enzo pelo carinho e pela amizade.

Agradeço à Lívia pelo companheirismo e toda ajuda.

Agradeço à Universidade Federal de Viçosa, aos docentes e funcionários por me ajudarem a realizar meu sonho de ser Engenheiro Agrônomo.

Agradeço aos companheiros da República Alambique e Mecanização Agrícola por todo suporte.

Por fim agradeço meu orientador Marconi por toda paciência, compreensão, orientação e dedicação.

RESUMO

MODELAGEM DA DISTRIBUIÇÃO DE LÍQUIDO POR PULVERIZADORES DE BARRAS EM FUNÇÃO DO ESPAÇAMENTO, ALTURA E PRESSÃO DE OPERAÇÃO DAS PONTAS HIDRÁULICAS

Uma adequada aplicação de defensivos agrícolas está condicionada ao atingimento do alvo com a concentração adequada e deposição uniforme, de modo que a área aplicada receba a mesma quantidade de defensivo. Pontas hidráulicas de pulverização são dispositivos utilizados em barras de pulverizadores, posicionados de forma equidistante. Para obtenção de uma faixa uniforme de aplicação é necessário posicionar as pontas hidráulicas num espaçamento que propicie a sobreposição de faixas geradas por cada dispositivo ao longo da barra, de acordo com a pressão e altura de trabalho. Este trabalho teve por objetivo a modelagem da qualidade de distribuição de líquido de pulverizadores hidráulico de barras, em função do espaçamento, da altura e da pressão de operação de pontas hidráulicas. Foram avaliadas cinco pontas hidráulicas de uso comum em pulverizadores de barras, em relação à qualidade de distribuição que elas proporcionam no momento em que são combinadas numa barra de pulverização. Para isso, foi feita uma caracterização das pontas, avaliando-se a vazão, o ângulo de abertura, a faixa teórica aplicada, o perfil de distribuição e a homogeneidade de distribuição das gotas formadas pela ponta. A qualidade foi expressa em termos da uniformidade de distribuição de líquido, quando as pontas estão operando em associação na barra de pulverização, e da homogeneidade das gotas produzidas pelas pontas nas condições avaliadas no experimento. A alteração da pressão teve efeito linear e positivo na vazão, no ângulo efetivo, na faixa efetiva de aplicação em todas as pontas. Na homogeneidade do espectro de gotas formado, a pressão teve efeito linear positivo na maioria das pontas, exceto para a ponta Jacto JSF-110 015. De acordo com o modelo ajustado, razões de altura/espaçamento menores que um, produzem elevados coeficientes de variação na distribuição de líquidos. Por meio do modelo gerados conclui-se que para as pontas Jacto JSF-110 015, Jacto JSF-110 02, Jacto JSF-110 03, Jacto JSF-110 04 e Jacto JSF-110 05, quanto menor a razão altura/espaçamento maior o coeficiente de variação, o que culmina numa pior qualidade de distribuição e que quanto maior for a pressão de trabalho maior a amplitude relativa (SPAN), ou seja, menor a uniformidade de formação das gotas.

Palavras-chave: amplitude relativa, ponta hidráulica, uniformidade de distribuição

SUMÁRIO

1. Introdução.....	7
2. Objetivos	8
3. Material e métodos	9
3.1. Caracterização das pontas utilizadas	9
3.1.1. Determinação da vazão das pontas.....	9
3.1.2. Ângulo efetivo de abertura das pontas	10
3.1.3. Faixa efetiva aplicada pelas pontas	10
3.1.4. Perfil de distribuição das pontas.....	10
3.1.5. Homogeneidade do espectro de gotas formado pelas pontas	11
3.2. Sobreposição de faixas das pontas	12
3.3. Uniformidade de distribuição de líquido.....	12
3.4. Modelagem da uniformidade de distribuição de líquido.....	13
4. Resultados e discussão	14
4.1. Caracterização das pontas utilizadas	14
4.1.1. Determinação da vazão das pontas.....	14
4.1.2. Ângulo efetivo de abertura das pontas	14
4.1.3. Faixa efetiva aplicada pelas pontas	15
4.1.4. Perfil de distribuição das pontas.....	17
4.1.5. Homogeneidade do espectro de gotas formado pelas pontas	18
4.2. Sobreposição de faixas das pontas	18
4.3. Uniformidade de distribuição de líquido.....	19
4.4. Modelagem da uniformidade de distribuição de líquido.....	21
5. Conclusões	22
6. Referências bibliográficas	23

1. Introdução

A utilização correta de defensivos agrícolas é crucial para elevar a produtividade das culturas e garantir alimento para a população mundial a preços mais favoráveis, sendo na atualidade o recurso largamente utilizado para a redução dos problemas fitossanitários. A utilização de tais insumos permite um controle eficiente e satisfatório de pragas, doenças e plantas invasoras, reduzindo o custo de produção e a demanda por mão de obra (GHINI e BETTIOL, 2000; OOMS et al., 2002; SÁNCHEZ-HEROMSILLA et al., 2013). Entretanto, a falta de critérios no uso de defensivos pode proporcionar uma série de fatores desfavoráveis, como a poluição do solo, da água e do ar, além do risco de contaminação humana por contato direto ou por ingestão de resíduos dessas substâncias juntamente com os alimentos (RASMUSSEN et al., 2015; BLANKSON et al., 2016).

A eficiência da aplicação de defensivos agrícolas está condicionada a uma série de fatores, principalmente na aplicação via líquida, pois nesse caso são lançadas gotas na atmosfera e os fatores climáticos, como temperatura e velocidade do vento, podem desfavorecer a chegada dessas até o alvo, devido a evaporação e a deriva. Nota-se, atualmente, uma preocupação majoritária com qual molécula química utilizar para efetuar determinado controle fitossanitário e pouca atenção dispensada em relação às técnicas de aplicação, o que culmina em baixa eficiência de controle em detrimento das perdas de produto na atmosfera (CUNHA e RUAS, 2006; DUJESHWER et al., 2015). O emprego correto das técnicas de aplicação visa garantir que o defensivo agrícola atinja o alvo com a concentração adequada para realizar o controle fitossanitário, além de atenuar as perdas por evaporação e reduzir o potencial de deriva das gotas que conduzem o defensivo (WISE et al., 2010; ZHAO et al., 2014).

Além de garantir que as gotas atinjam o alvo com a concentração adequada de defensivo, é necessário também ocorra de forma uniforme, de modo que a área aplicada receba a mesma quantidade de produto (CUNHA e RUAS, 2006). Nesse sentido é necessário se conhecer a altura de aplicação, espaçamentos entre pontas, e pressão de operação que irão culminar na melhor uniformidade de distribuição de líquido por pulverizadores hidráulicos de barra.

Pulverizadores hidráulicos de barras são equipamentos agrícolas para aplicação de defensivos que apresentam princípio hidráulico de formação de gotas, sendo a calda pressurizada e direcionada para dispositivos com orifícios de seção reduzida, denominadas de pontas hidráulicas de pulverização. Essas pontas hidráulicas são dispostas de forma equidistante nas barras do pulverizador, num espaçamento tal que propicie a sobreposição das

faixas de aplicação de cada uma delas e alcance dessa maneira a uniformidade adequada de aplicação ao longo das barras.

A uniformidade de aplicação da calda ao longo da barra de pulverização é frequentemente analisada através do coeficiente de variação (CV), um parâmetro estatístico que expressa em porcentagem a razão entre o desvio-padrão e a média dos valores de uma amostra. Para a determinação do coeficiente de variação da distribuição de calda ao longo de uma barra de pulverização é necessário utilizar uma bancada de testes específica, constituída basicamente de uma mesa inclinada, onde são dispostas canaletas para a coleta do volume pulverizado pelas pontas da barra de pulverização, tal como descrito por Balsari et al. (2007). Menores valores de coeficiente de variação indicam maior uniformidade de distribuição ao longo da barra de pulverização, sendo comum adotar-se um limite máximo de 7% para esse parâmetro em condições de operação recomendadas pelo fabricante, valor esse que proporciona uma uniformidade de distribuição suficiente para proporcionar uma aplicação satisfatória e eficiente de defensivos agrícolas (OOMS et al., 2003; FERGUSON et al., 2015; FERGUSON et al. 2016).

A qualidade e eficiência da aplicação de defensivos são também influenciadas pela uniformidade de formação de gotas das pontas hidráulicas, pois de acordo com as características do produto aplicado, é necessário produzir um tamanho de gotas específico que favoreça o transporte, a deposição e a absorção/contato do produto com o alvo. A amplitude relativa, também conhecida como valor SPAN, mede a homogeneidade das gotas produzidas pelas pontas de pulverização por meio do quociente da diferença dos diâmetros de gotas correspondentes a 90 e 10% do volume, pelo diâmetro correspondente a 50% do volume do espectro de gotas formado pela ponta. Maiores valores SPAN indicam menor homogeneidade das gotas formadas pela ponta e desse modo é um parâmetro crucial para a seleção de pontas e garantia da qualidade da aplicação (VIANA et al., 2010; MACIEL et al., 2016).

2. Objetivos

Criar um modelo para estimativa da qualidade de distribuição de líquido, representada pela uniformidade de distribuição, em função do espaçamento, da altura e da pressão de operação das pontas de pulverização em pulverizadores hidráulicos, assim como determinar a equação que permita avaliar a homogeneidade das gotas formadas.

3. Material e métodos

O experimento foi realizado na Mecanização Agrícola pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV, localizada no município de Viçosa, Minas Gerais. Foi avaliada a distribuição de líquido por pulverizadores hidráulicos de barras, em função do espaçamento, da altura e da pressão de operação das pontas.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial e com três repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação entre os fatores espaçamento entre pontas (3 níveis), altura das pontas (3 níveis) e pressão de operação das pontas (3 níveis), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Relação dos fatores dos níveis a serem utilizados no experimento.

Fatores	Níveis		
	1	2	3
Espaçamento	0,3 m	0,5 m	0,7 m
Altura	0,3 m	0,5 m	0,7 m
Pressão	2 bar	3 bar	4 bar

Foram selecionadas cinco pontas do tipo leque, de mesmo material de construção e de mesmo ângulo de abertura do jorro, com ampla utilização em pulverizadores hidráulicos de barras, sendo estas: Jacto JSF-110 015, Jacto JSF-110 02, Jacto JSF-110 03, Jacto JSF-110 04 e Jacto JSF-110 05.

As pontas utilizadas são pintadas, pelo fabricante, por cores diferentes de acordo com a norma ISO 10625 que divide os grupos de pontas em detrimento da vazão nominal, medida na pressão de operação a 3 bar. Sendo assim, a ponta Jacto JSF-110 015 é da cor verde, a ponta Jacto JSF-110 02 é da cor amarela, Jacto JSF-110 03 é da cor azul, a ponta Jacto JSF-110 04 é da cor vermelha e a ponta Jacto JSF-110 05 é da cor marrom.

3.1. Caracterização das pontas utilizadas

3.1.1. Determinação da vazão das pontas

A vazão nominal indicada pelos fabricantes de pontas hidráulicas é obtida na pressão de 3 bar e em detrimento do experimento englobar pressões distintas, foi realizada a determinação da vazão das pontas nas pressões de operação de 2, 3 e 4 bar com a intenção de melhor caracterizar as pontas utilizadas. Essa determinação foi realizada coletando-se com uma proveta o volume aplicado pela ponta em 2 minutos, sendo realizadas três repetições para cada combinação entre pressão/ponta e os valores expressos em $L \text{ min}^{-1}$.

3.1.2. Ângulo efetivo de abertura das pontas

O ângulo de abertura do jorro é uma medida também relacionada com a pressão de trabalho, sendo caracterizado pelos fabricantes na pressão nominal de trabalho, que corresponde à pressão de 3 bar. Dessa forma, tornou-se necessária a caracterização do ângulo de abertura das pontas utilizadas no experimento, nas pressões que foram utilizadas. Neste trabalho foi utilizado o chamado ângulo efetivo, que é o ângulo com uma defasagem de 5° na vertical em relação a barra de pulverização. Essa caracterização foi realizada no experimento por meio de imagens, obtidas com câmera fotográfica em cada pressão de operação das pontas. As imagens obtidas foram analisadas no programa AutoCAD® 2015, com licença estudantil gratuita fornecida pela Autodesk®, onde foi possível determinar o ângulo de abertura das pontas em cada pressão.

3.1.3. Faixa efetiva aplicada pelas pontas

A faixa efetiva aplicada pelas pontas corresponde a largura de trabalho que cada uma fornece no momento da aplicação. Essa faixa é dependente do ângulo de abertura e da altura de operação da ponta, podendo ser estimada pela Equação 1.

$$f = 2 H \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

em que:

f = faixa efetiva aplicada pela ponta (m);

H = altura de operação da ponta (m); e,

θ = ângulo efetivo de abertura da ponta (°).

A estimativa da faixa efetiva foi realizada para cada ponta utilizada no experimento, levando-se em consideração os ângulos efetivos de abertura obtidos em cada pressão e as alturas de operação avaliadas no experimento (0,3; 0,5 e 0,7 m).

3.1.4. Perfil de distribuição das pontas

O perfil de distribuição determina o padrão da deposição volumétrica da ponta ao longo da sua faixa de distribuição e é um fator característico de cada ponta de pulverização. Foi utilizada uma bancada de testes padrão, constituída por 60 canaletas de 5 cm de largura, que coletam o líquido pulverizado e o direcionam provetas graduadas, onde é feita a leitura do volume depositado em cada canaleta ao longo da faixa de aplicação.

3.1.5. Homogeneidade do espectro de gotas formado pelas pontas

Indica a variação dimensional das gotas produzidas por determinada ponta. Para a aplicação de defensivos é desejável trabalhar com gotas mais homogêneas possível, pois nessa condição obtém-se melhor eficiência no tratamento fitossanitário. A pressão de operação das pontas hidráulicas exerce elevada influência nessa homogeneidade, razão pela qual foi determinada a homogeneidade das gotas formadas pelas pontas nas pressões utilizadas no experimento.

A homogeneidade foi caracterizada pela amplitude relativa, ou valor SPAN, calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{SPAN} = \frac{D_{v0,9} - D_{v0,1}}{D_{v0,5}} \quad (2)$$

em que:

SPAN = amplitude relativa (adimensional);

$D_{v0,9}$ = diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 90% do volume total (μm);

$D_{v0,1}$ = diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 10% do volume total (μm); e,

$D_{v0,5}$ = diâmetro da gota abaixo da qual concentra-se 50% do volume total (μm).

O diâmetro e o volume médio das gotas para o cálculo do SPAN foram obtidos por meio de um analisador a laser de partículas da marca Malvern Instruments Ltda., modelo Spraytec, com lente focal de 750 mm (Figura 1). O equipamento tem como princípio difração laser que mede as distribuições de tamanho das partículas por medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra. Partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e partículas pequenas dispersam a luz em ângulos grandes. Os dados sobre a intensidade da dispersão angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão, com base na teoria de difusão da luz de Mie. O tamanho das partículas é indicado como o diâmetro de uma esfera de volume equivalente (Malvern).



Figura 1. Analisador de partículas utilizado no experimento. (Fonte: www.malvern.com)

3.2. Sobreposição de faixas das pontas

A uniformidade de distribuição é um fator diretamente relacionado à sobreposição de faixas apresentadas pelas pontas ao longo da barra de pulverização, utilizando-se na prática valores de sobreposição superiores a 30% para se atingir uniformidade de aplicação satisfatória. A sobreposição foi calculada pela Equação 3.

$$s = \frac{f-e}{f} 100 \quad (3)$$

em que:

s = sobreposição das faixas (%);

f = faixa de aplicação da ponta (m); e,

e = espaçamento entre pontas (m).

3.3. Uniformidade de distribuição de líquido

Assim como na obtenção de dados para determinação do perfil de distribuição, também foi utilizada a bancada de testes padrão e específica para a determinação da uniformidade de distribuição (Figura 2). Tal bancada é constituída por 60 canaletas de 5 cm de largura, que coletam o líquido pulverizado e o direcionam provetas graduadas, onde é feita a leitura do volume depositado em cada canaleta. A barra de pulverização da bancada é composta por cinco bocais com espaçamento ajustável para acoplamento das pontas, mecanismo para ajuste da altura e sistema para monitorar/controlar a pressão de pulverização.



Figura 2. Bancada para testes de distribuição a ser utilizada no experimento.

A uniformidade de distribuição foi expressa através do coeficiente de variação (CV) do volume coletado nas provetas da bancada de testes, calculado de acordo com a Equação 4.

$$CV = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (v_i - \frac{\sum v_i}{n})^2}}{\frac{\sum v_i}{n}} \cdot 100 \quad (4)$$

em que:

CV = coeficiente de variação (%);

V_i = volume individual coletado em cada proveta (mL); e,

n = número de provetas amostradas.

3.4. Modelagem da uniformidade de distribuição de líquido

Foram modeladas equações que permitam estimar o coeficiente de variação (CV) e a amplitude relativa (SPAN) das pontas avaliadas, em função do espaçamento, altura e pressão de operação. Os modelos matemáticos foram cunhados nos preceitos estatísticos de análise por regressão múltipla, sendo os modelos escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t, adotando um nível de 1% de probabilidade, no coeficiente de determinação. Para a realização dos procedimentos estatísticos foi utilizado o programa computacional R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

4. Resultados e discussão

4.1. Caracterização das pontas utilizadas

4.1.1. Determinação da vazão das pontas

A pressão de operação apresentou efeito linear, positivo e significativo na vazão das pontas, conforme apresentado na Figura 3. Este resultado era o esperado de acordo com a equação de Bernoulli, visto que não há alteração nas características do fluido, na aceleração da gravidade, no referencial de altura e nem na área do orifício por onde há a saída do líquido. O valor médio das vazões das pontas foi semelhante aos valores apresentados pelo fabricante Jacto.

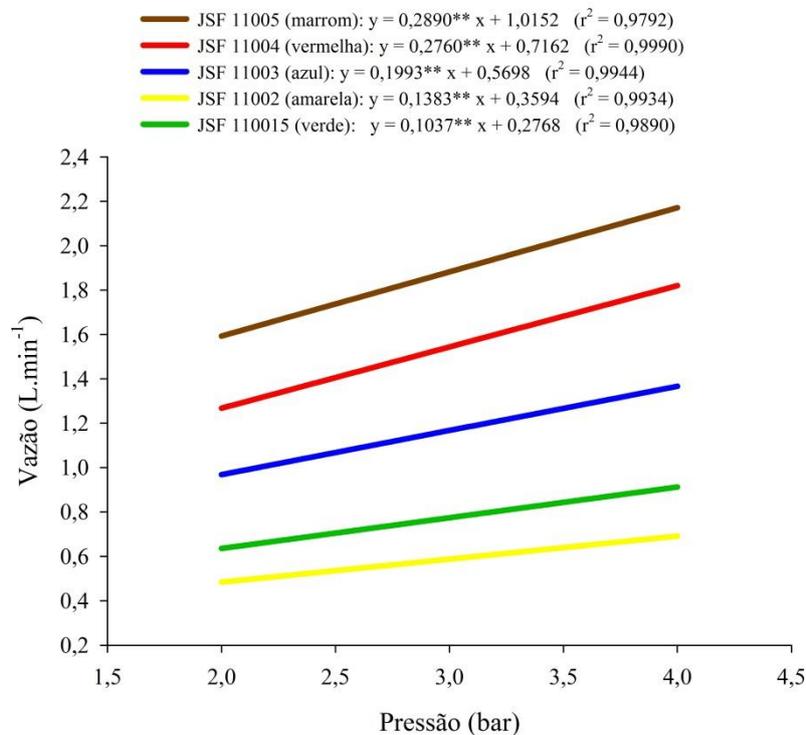


Figura 3. Equações ajustadas para descrever a vazão das pontas em função da pressão de trabalho. ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

4.1.2. Ângulo efetivo de abertura das pontas

A pressão de operação apresentou efeito linear, positivo e significativo no ângulo de abertura do leque formado pelas pontas, conforme apresentado na Figura 4. O aumento da pressão proporciona acréscimo na velocidade e na energia cinética do fluido, fazendo com que o mesmo eleve sua aceleração no momento em que deixa o orifício oblongo das pontas, formando um leque mais pronunciado. Ao estudar o desempenho de pontas hidráulicas

submetidas a diferentes pressões, Rodrigues et al. (2012) verificaram aumento significativo no ângulo do leque formado pela ponta Jacto JA-2 ao aumentar a pressão de 414 para 620 kPa assim como neste trabalho.

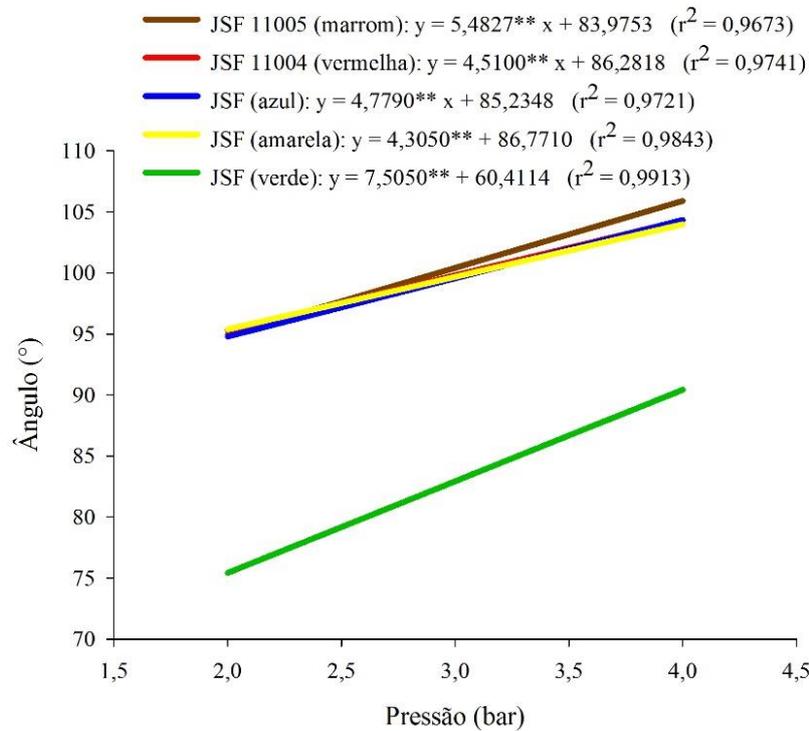


Figura 4. Equações ajustadas para descrever o ângulo de abertura das pontas em função da pressão de trabalho. ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

4.1.3 Faixa efetiva aplicada pelas pontas

A pressão de operação e altura das pontas apresentou efeito linear, positivo e significativo na faixa teórica aplicada pelas pontas, conforme apresentado na Figura 5. A faixa teórica aplicada é aumentada quando há a elevação da pressão e da altura. Isto acontece porque, quando se eleva a pressão, o ângulo do leque formado aumenta, como descrito no Item 4.1.2, e a faixa teórica aplicada é diretamente proporcional ao ângulo do leque formado e à altura da ponta.

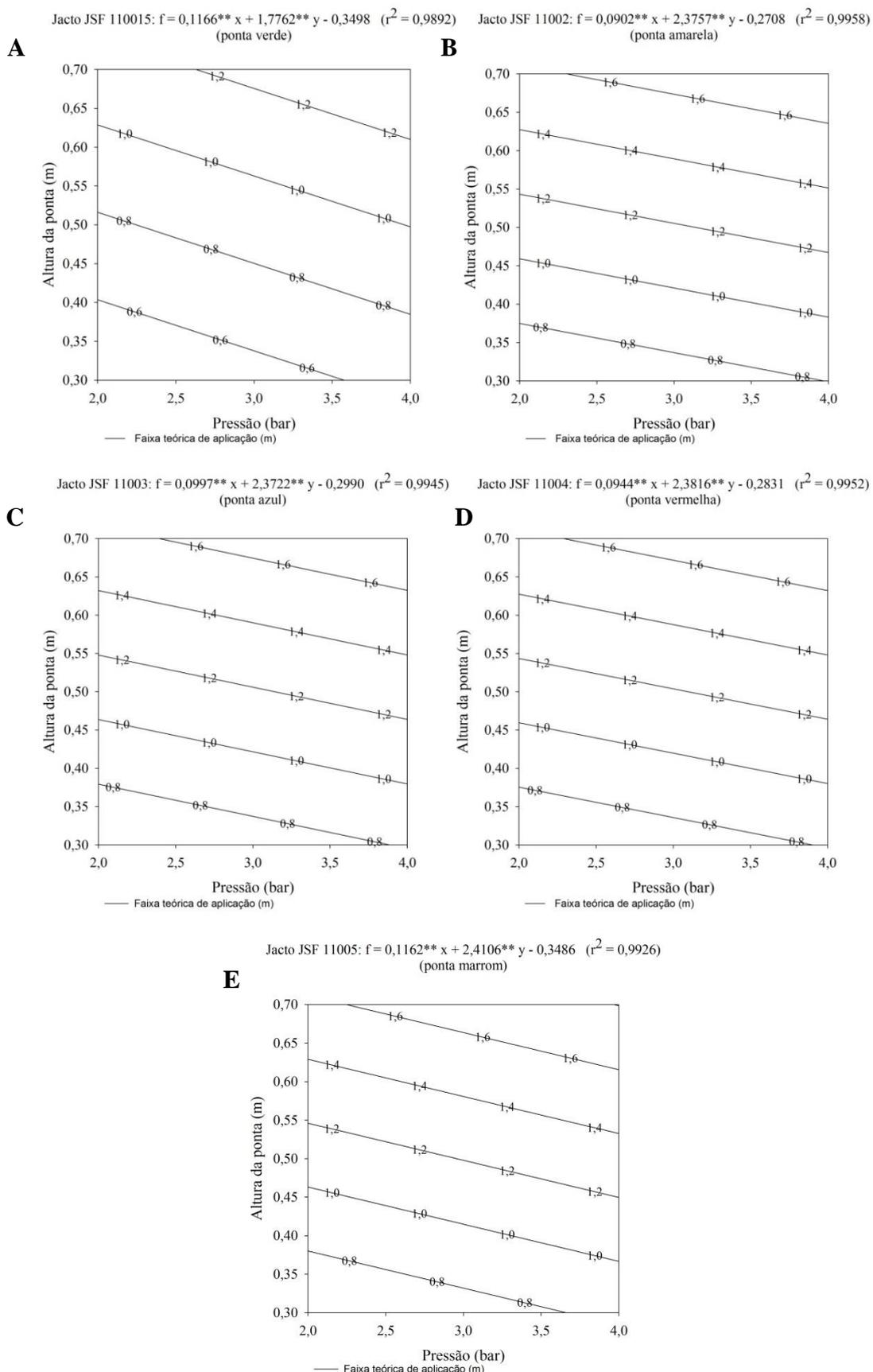


Figura 5. Equações ajustadas para descrever as faixas teóricas de aplicação das pontas em função da altura e pressão de trabalho. (A) Ponta Jacto JSF 110015; (B) Ponta Jacto JSF 11002; (C) Ponta Jacto JSF 11003; (D) Ponta Jacto JSF 11004; (E) Ponta Jacto JSF 11005. ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

4.1.4. Perfil de distribuição das pontas

Todas as pontas apresentaram perfil de distribuição triangular, característico das pontas leques, conforme apresentado na Figura 6. Com o aumento da pressão o perfil se alonga, visto que a faixa teórica de aplicação aumenta com a elevação da pressão, como também observado por Cunha & Ruas (2006) em pontas de jato plano duplo com indução de ar.

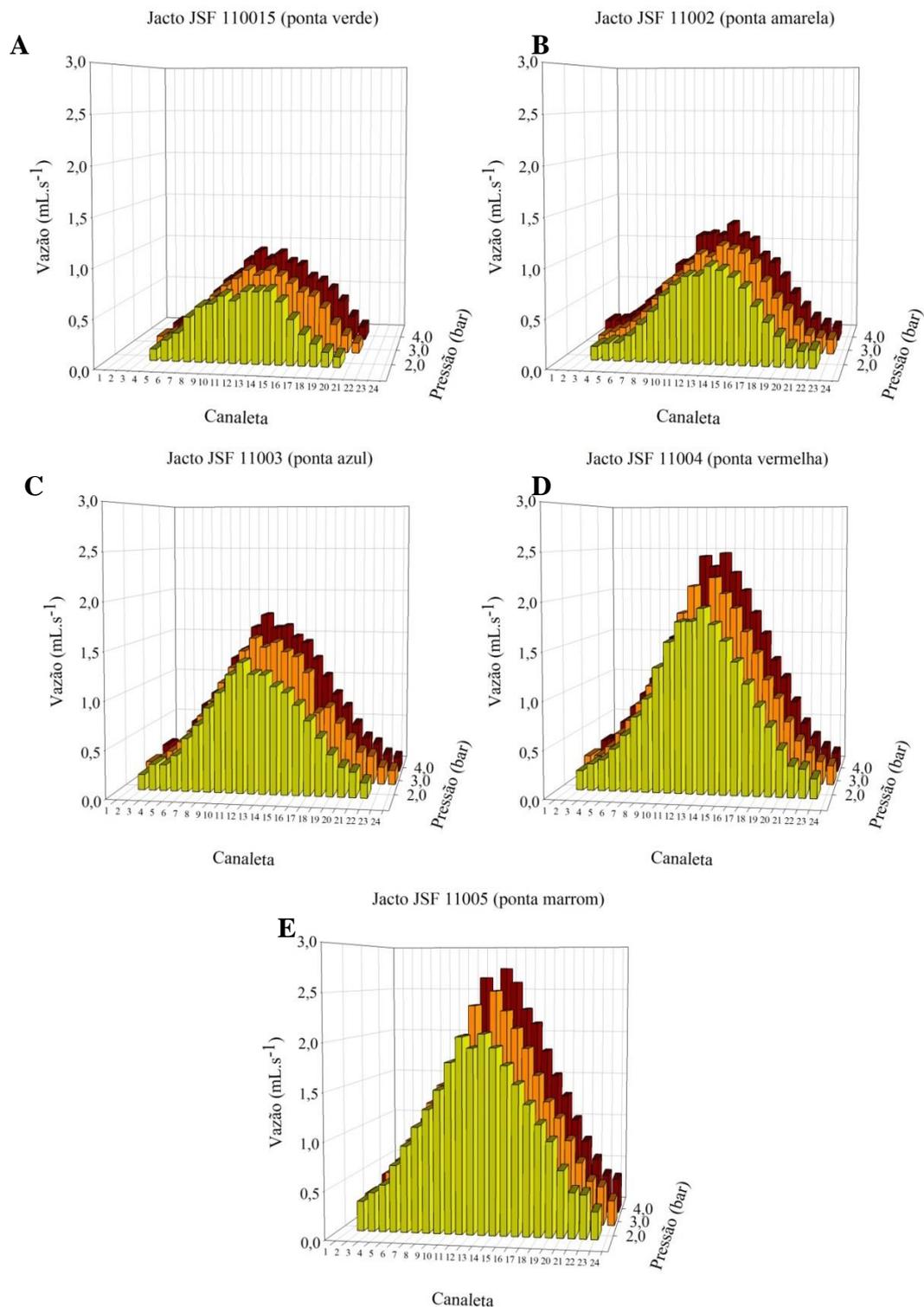


Figura 6. Perfil médio de distribuição volumétrica das pontas ao longo da faixa de distribuição representado pela vazão (mL.s⁻¹) no eixo das ordenadas e as canaletas estão 17
dispostas no eixo das abcissas. (A) Ponta Jacto JSF 110015; (B) Ponta Jacto JSF 110 02; (C) Ponta Jacto JSF 110 03; (D) Ponta Jacto JSF 110 04; (E) Ponta Jacto JSF 110 05.

4.1.5. Homogeneidade do espectro de gotas formado pelas pontas

A pressão de operação apresentou efeito linear, positivo e significativo na amplitude relativa (SPAN), conforme apresentado na Figura 7. O aumento da pressão causa uma redução no diâmetro das gotas, porém a redução do $DV_{0,90}$ reduz numa taxa menor que o $DV_{0,10}$ e o $DV_{0,50}$. Essas diferenças nas taxas de redução fazem com que o numerador da equação para determinar o SPAN seja proporcionalmente maior que o denominador com o aumento da pressão.

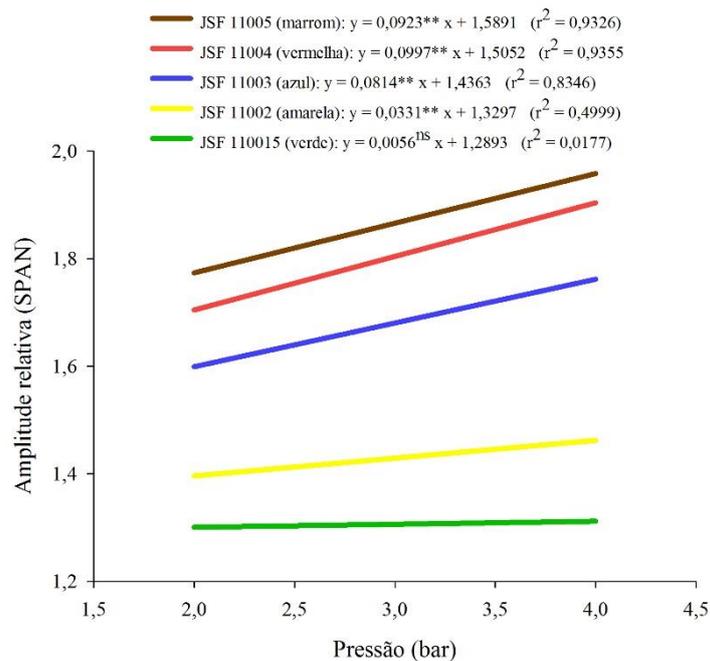


Figura 7. Equações ajustadas para descrever a amplitude relativa (SPAN) das pontas em função da pressão de trabalho. ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

4.2. Sobreposição de faixas das pontas

No Quadro 1 são apresentados os percentuais de sobreposição das pontas, de acordo com a pressão, altura e espaçamento de trabalho. A sobreposição é dependente do espaçamento e da faixa de aplicação das pontas, sendo calculada como a diferença percentual entre o valor da faixa e do espaçamento. Dessa forma, valores aproximados de faixa e espaçamento das pontas produzem uma sobreposição elevada entre pontas adjacentes, superando o percentual indicado para as aplicações e evitando deposição desuniforme de líquido ao longo da barra do pulverizador.

Os valores negativos de sobreposição apresentados pelas pontas, principalmente na menor pressão de trabalho, são decorrentes da faixa de trabalho ser menor que o espaçamento entre as pontas, o que condiciona o aparecimento de regiões que não recebem líquido durante a aplicação.

Tabela 2. Percentual de sobreposição das faixas de aplicação das pontas, de acordo com a variação na pressão, altura e espaçamento de operação.

			Percentual de Sobreposição de Faixas (%)				
Altura (m)	Espaçamento (m)	Pressão (bar)	JSF 11004	JSF 11004	JSF 11003	JSF 11002	JSF 110015
0,3	0,3	2	53,77	54,1	53,76	54,35	34,96
0,3	0,3	3	59,03	58,5	58,21	58,06	44,04
0,3	0,3	4	61,95	60,88	60,96	60,81	50,1
0,3	0,5	2	22,96	23,5	22,93	23,92	-8,39
0,3	0,5	3	31,71	30,84	30,34	30,11	6,73
0,3	0,5	4	36,58	34,8	34,93	34,69	16,83
0,3	0,7	2	-7,86	-7,1	-7,89	-6,51	-51,75
0,3	0,7	3	4,39	3,18	2,48	2,15	-30,57
0,3	0,7	4	11,21	8,72	8,9	8,56	-16,43
0,5	0,3	2	72,26	72,46	72,26	72,61	60,98
0,5	0,3	3	75,42	75,1	74,92	74,84	66,42
0,5	0,3	4	77,17	76,53	76,57	76,49	70,06
0,5	0,5	2	53,77	54,1	53,76	54,35	34,96
0,5	0,5	3	59,03	58,5	58,21	58,06	44,04
0,5	0,5	4	61,95	60,88	60,96	60,81	50,1
0,5	0,7	2	35,28	35,74	35,26	36,09	8,95
0,5	0,7	3	42,64	41,91	41,49	41,29	21,66
0,5	0,7	4	46,73	45,23	45,34	45,14	30,14
0,7	0,3	2	80,19	80,33	80,18	80,44	72,13
0,7	0,3	3	82,44	82,22	82,09	82,03	76,02
0,7	0,3	4	83,69	83,23	83,27	83,21	78,61
0,7	0,5	2	66,98	67,22	66,97	67,4	53,55
0,7	0,5	3	70,73	70,36	70,15	70,05	60,03
0,7	0,5	4	72,82	72,06	72,11	72,01	64,36
0,7	0,7	2	53,77	54,1	53,76	54,35	34,96
0,7	0,7	3	59,03	58,5	58,21	58,06	44,04
0,7	0,7	4	61,95	60,88	60,96	60,81	50,1

4.3. Uniformidade de distribuição de líquido

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam a uniformidade de distribuição da ponta JSF 11004 operando com pressão de 3 bar e alturas de 0,3; 0,5; e 0,7 m, respectivamente. É possível identificar que, para todos espaçamentos avaliados, a uniformidade fica prejudicada na

medida em que se reduz a altura de trabalho das pontas; esse efeito pode ser observado para todas as pontas estudadas. Tal fenômeno pode ser explicado pela redução da faixa de trabalho das pontas, o que culmina na redução do volume aplicado transversalmente e prejudica a qualidade da distribuição. Esse comportamento é observado em todas as pontas estudadas.

Ponta: JSF 11004; pressão: 3 bar e altura de 0,3 m

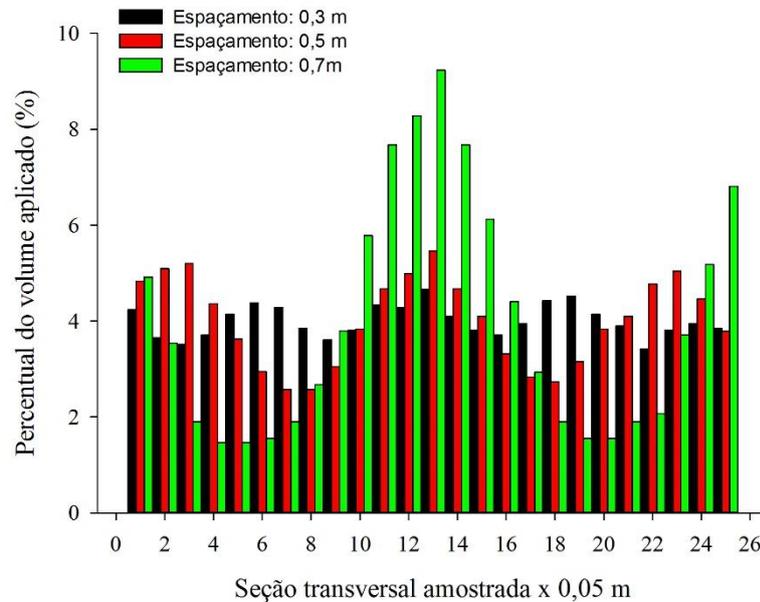


Figura 8. Uniformidade de distribuição volumétrica da ponta Jacto JSF 11004, na pressão de 3 bar e altura de 0,3 m, em porcentagem do volume aplicado no eixo das ordenadas e a seção transversal representado em 0,05 m dispostas no eixo das abcissas.

Ponta: JSF 11004; pressão: 3 bar e altura de 0,5 m

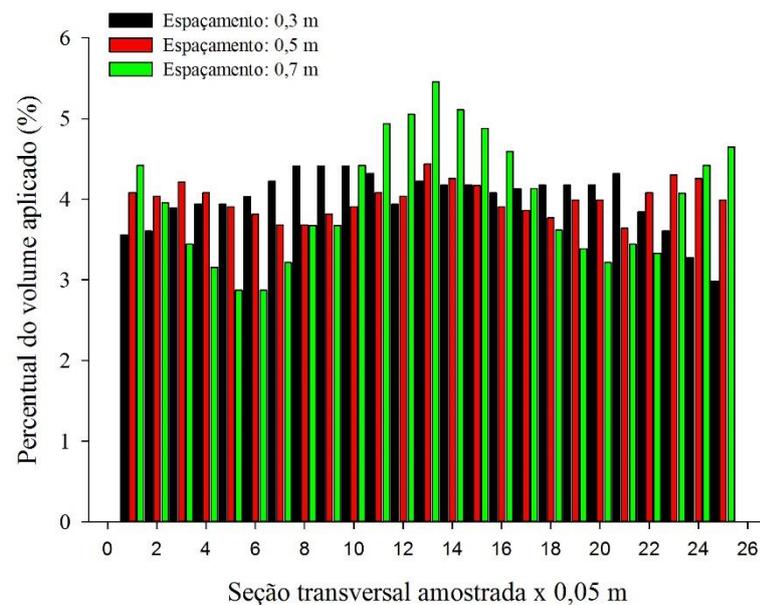


Figura 9. Uniformidade de distribuição volumétrica da ponta Jacto JSF 11004, na pressão de 3 bar e altura de 0,5 m, em porcentagem do volume aplicado no eixo das ordenadas e a seção transversal representado em 0,05 m dispostas no eixo das abcissas.

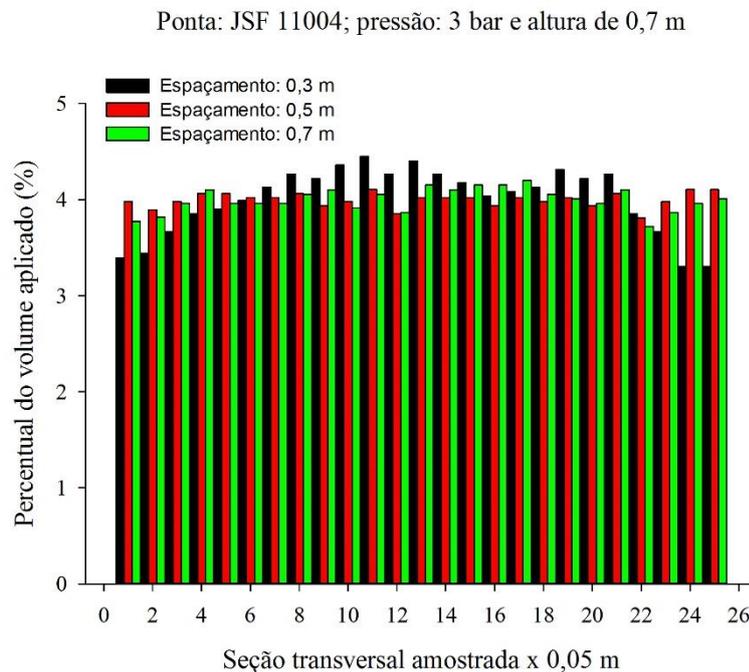


Figura 10. Uniformidade de distribuição volumétrica da ponta Jacto JSF 11004, na pressão de 3 bar e altura de 0,7 m, em porcentagem do volume aplicado no eixo das ordenadas e a seção transversal representado em 0,05 m dispostas no eixo das abcissas.

4.4. Modelagem da uniformidade de distribuição de líquido

Conforme discutido nos itens anteriores, a uniformidade de distribuição das pontas decresce com a redução do quociente entre a altura e o espaçamento das pontas, pois se criam lacunas entre as mesmas e observa-se pouca ou nenhuma distribuição de líquido nessas regiões. Para ajuste de modelo foi criado um fator de variação, o coeficiente y_{ae} , que é a razão entre a altura e o espaçamento.

De acordo com o modelo ajustado e a sua respectiva superfície de resposta, ambos apresentados na Figura 11, é possível identificar que valores de y_{ae} (altura/espaçamento) menores que 1 são responsáveis por produzir elevados coeficientes de variação em todas as pontas em estudo, caracterizando-as como de baixa uniformidade de distribuição de líquido ao longo da faixa aplicada. O Comitê Europeu de Normalização admite uma adequada aplicação com coeficiente de variação de menor que 7,0% (Norma prEN 12761-2, ECS, 1997). Para valores de y_{ae} maiores ou iguais a um é possível identificar que os valores de coeficiente de variação ficam abaixo deste patamar, mesmo para espaçamentos entre pontas maiores.

Em aplicações com pulverizadores hidráulicos de barras geralmente utiliza-se valores de altura espaçamento das pontas igual a 0,5 m e pressão a 3 bar. Nessa condição todas as pontas avaliadas no trabalho apresentaram coeficiente de variação satisfatório e recomendados para aplicações desta natureza.

$$CV = 13,1920 + 7,6730^{**} x - 29,7026^{**}/y_{ae} + 21,8767^{**}/(y_{ae})^2$$

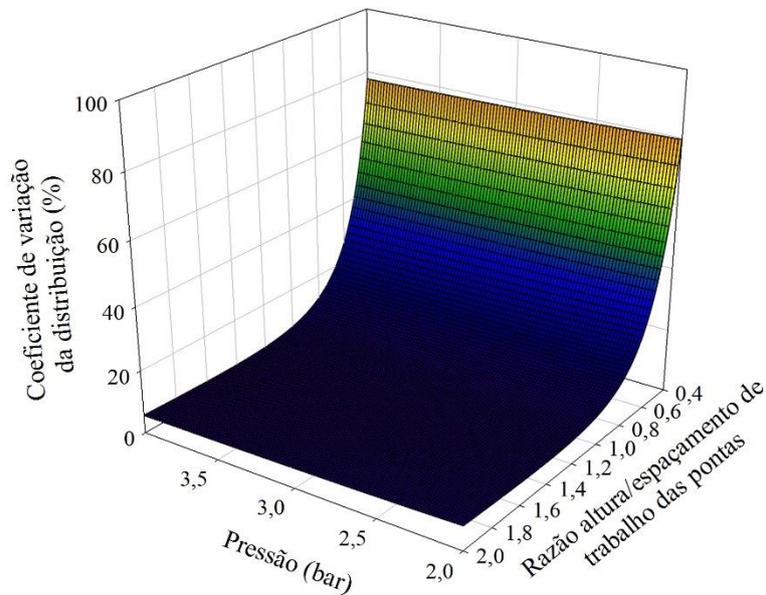


Figura 11. Equação ajustada para descrever o coeficiente de variação da distribuição (%) das pontas em função da pressão e da razão altura/espacamento de trabalho das pontas. ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

5. Conclusões

- Para as pontas todas as pontas estudadas, razões de altura/espacamento menor que um culmina em valores de coeficiente de variação acima do aceitável para uma boa uniformidade distribuição, ou seja, pior qualidade de aplicação;
- Para a maioria das pontas estudadas, exceto a ponta JSF-110 015, quanto maior a pressão de trabalho maior a amplitude relativa (SPAN), ou seja, menor uniformidade de formação das gotas;
- Para a altura e espaçamento de 0,5 m e pressão a 3 bar todas as pontas analisadas podem ser utilizadas de modo eficientes.

6. Referências bibliográficas

BALSARI, P.; MARUCCO, P.; TAMAGNONE, M. A test bench for the classification of boom sprayers according to drift risk. **Crop Protection**, v. 26, n. 10, p. 1482-1489, 2007.

BLANKSON, G. K.; OSEI-FOSU, P.; ADEENDZE, E. A.; ASHIE, D. Contamination levels of organophosphorus and synthetic pyrethroid pesticides in vegetables marketed in Accra, Ghana. **Food Control**, v. 68, p. 174-180, 2016.

CUNHA, J. P. A. R.; RUAS, R. A. A. Uniformidade de distribuição volumétrica de pontas depulverização de jato plano duplo com indução de ar. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 36(1): p. 61-66, 2006.

DUJESHWER, K.; RAJENDRA, L.; THAKUR, C. L.; PATEL, B.; GHIRTLAHRE, S. Effect of combined use of herbicide and insecticide on leaf miner (*Apromema modicella*), weed control efficiency, yield attributes and yield of soybean. **Journal of Soils and Crops**, v. 25, n. 2, p. 281-284, 2015.

ECS - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Agricultural and forestry machinery** – Sprayers and liquid fertilizer distributors – Environmental protection – Part 2: Low crop sprayers - prEN 12761-2:1997. Brussels: CEN, 1997. 17p.

FERGUSON, J. C.; CHECHETTO, R. G.; HEWITT, A. J.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; O'DONNELL, C. C. Assessing the deposition and canopy penetration of nozzles with different spray qualities in an oat (*Avena sativa* L.) canopy. **Crop Protection**, v. 81, p. 14-19, 2016.

FERGUSON, J. C.; O'DONNELL, C. C.; CHAUHAN, B. S.; ADKINS, S. W.; KRUGER, G. R.; WANG, R.; URACH FERREIRA, P. H.; HEWITT, A. J. Determining the uniformity and consistency of droplet size across spray drift reducing nozzles in a wind tunnel. **Crop Protection**, v. 76, p. 1-6, 2015.

GHINI, Raquel; BETTIOL, Wagner. Proteção de plantas na agricultura sustentável. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 17, n. 1, p. 61-70, 2000.

MACIEL, C. F. S.; TEIXEIRA, M. M.; FERNANDES, H. C.; ZOLNIER, S.; CECON, P. R. Droplet spectrum at different vapour pressure deficits1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 41-46, 2016.

OOMS, D.; LEBEAU, F.; RUTER, R.; DESTAIN, M. F. Measurements of the horizontal sprayer boom movements by sensor data fusion. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 33, n. 2, p. 139-162, 2002.

OOMS, D.; RUTER, R.; LEBEAU, F.; DESTAIN, M. F. Impact of the horizontal movements of a sprayer boom on the longitudinal spray distribution in field conditions. **Crop Protection**, v. 22, n. 6, p. 813-820, 2003.

RASMUSSEN, J. J.; WIBERG-LARSEN, P.; BAATTRUP-PEDERSEN, A.; CEDERGREEN, N.; MCKNIGHT, U. S.; KREUGER, J.; JACOBSEN, D.; KRISTENSEN, E. A.; FRIBERG, N. The legacy of pesticide pollution: An overlooked factor in current risk assessments of freshwater systems. **Water Research**, v. 84, p. 25-32, 2015.

RODRIGUES, G.J.; TEIXEIRA, M.M.; DE ALVARENGA, C.B. Desempenho operacional de pontas hidráulicas na determinação de parâmetros da pulverização hidropneumática. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1.

SÁNCHEZ-HERMOSILLA, J.; PÁEZ, F.; RINCÓN, V. J.; CARVAJAL, F. Evaluation of the effect of spray pressure in hand-held sprayers in a greenhouse tomato crop. **Crop Protection**, v. 54, p. 121-125, 2013.

VIANA, R. G.; FERREIRA, L. R.; FERREIRA, M. C.; TEIXEIRA, M. M.; ROSELL, J. R.; TUFFI SANTOS, L. D.; MACHADO, A. F. L. Distribuição volumétrica e espectro de gotas de pontas de pulverização de baixa deriva. **Planta Daninha**, v. 28, p. 439-446, 2010.

WISE, J. C.; JENKINS, P. E.; SCHILDER, A. M. C.; VANDERVOORT, C.; ISAACS, R. Sprayer type and water volume influence pesticide deposition and control of insect pests and diseases in juice grapes. **Crop Protection**, v. 29, n. 4, p. 378-385, 2010.

ZHAO, H.; XIE, C.; LIU, F.; HE, X.; ZHANG, J.; SONG, J. Effects of sprayers and nozzles on spray drift and terminal residues of imidacloprid on wheat. **Crop Protection**, v. 60, p. 78-82, 2014.