



**THIAGO HENRIQUE BURGARELLI TEIXEIRA**

**SIMULAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE  
ÁGUA DE UM ASPERSOR DO TIPO CANHÃO HIDRÁULICO  
EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO**

**LAVRAS - MG  
2018**

**THIAGO HENRIQUE BURGARELLI TEIXEIRA**

**SIMULAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA DE UM  
ASPERSOR DO TIPO CANHÃO HIDRÁULICO EM DIFERENTES CONDIÇÕES DE  
OPERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Ph.D. Alberto Colombo  
Orientador

**Lavras – MG  
2018**

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

Teixeira, Thiago Henrique Burgarelli.

Simulação da uniformidade de aplicação de água de um  
aspersor do tipo canhão hidráulico em diferentes condições de  
operação / Thiago Henrique Burgarelli Teixeira. - 2018.

61 p.

Orientador(a): Alberto Colombo.

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

Bibliografia.

1. Irrigação. 2. Autopropelido. 3. Uniformidade de aplicação. I.  
Colombo, Alberto. . II. Título.

**THIAGO HENRIQUE BURGARELLI TEIXEIRA**

**SIMULAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE APLICAÇÃO DE ÁGUA DE UM  
ASPERSOR DO TIPO CANHÃO HIDRÁULICO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES  
DE OPERAÇÃO**

**SIMULATION OF WATER APPLICATION UNIFORMITY WITH GUN  
SPRINKLER UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Engenharia e Manejo de Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de Mestre.

**APROVADA** em 02 de março de 2018  
Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto - DEG/UFLA  
Prof. Dr. Lessandro Coll Faria - CDTec/UFPel

Orientador  
Prof. Ph.D. Alberto Colombo

**Lavras - MG  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudo.

Ao professor Alberto Colombo, pelos ensinamentos, amizade e orientação na realização deste trabalho.

Aos professores Adriano Valentim Diotto e Lessandro Coll Faria, membros da banca examinadora, pelas contribuições e sugestões.

A todo corpo docente do curso de Pós-graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, pelos ensinamentos recebidos.

A todos os amigos de curso, pela convivência e troca de conhecimentos.

Aos funcionários do Departamento de Água e Solos pelo apoio através dos serviços prestados.

A todos meus familiares e amigos, pelo amparo e suporte que foram essenciais em todos os momentos.

A Deus, por sempre se fazer presente.

## RESUMO

O manuseio adequado de equipamentos e correto dimensionamento, são algumas das formas de promover condições mais eficientes na uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação. A uniformidade de distribuição de água de um sistema autopropelido depende de diversos fatores, como: combinações de diâmetro do bocal e pressão de serviço do aspersor; espaçamento entre carregadores; ângulo de giro do aspersor. O objetivo deste trabalho foi determinar estratégias operacionais para utilização do aspersor Komet Twin 202 Pro em sistemas autopropelidos de irrigação, por meio de simulações de uniformidade de aplicação de água. Os ensaios foram conduzidos em bancada localizada no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. Foram determinados os perfis radiais de distribuição de quinze diferentes combinações de bocal (30, 35 e 37,5 mm) e pressão de serviço (294, 343, 392, 441 e 490 kPa). Esses foram adimensionalizados e submetidos à análise de agrupamento K-means, que identificou quatro formas geométricas típicas para representá-los. As simulações de uniformidade de aplicação de água foram agrupadas de acordo com os dois perfis radiais típicos de distribuição (I e II). Os resultados indicaram que o espaçamento entre carregadores e o ângulo de giro do aspersor, que proporcionam uniformidades acima de 80%, dependem do perfil radial de distribuição de água. Ainda, para adequadas combinações de diâmetro de bocal e carga de pressão, o perfil de distribuição de água tende à forma geométrica do perfil D de Christiansen (elíptico). Para os dois perfis radiais, ângulos de giro entre 180 e 240° ou 330 e 360° geram valores de coeficientes de uniformidade maiores que ângulos de 270°.

**Palavras-chave: Sistema Autopropelido; Perfil radial de distribuição; Aspersor de longo alcance.**

## ABSTRACT

The proper handling of equipment and correct sizing are some of the ways to promote more efficient conditions in the uniformity of water application of an irrigation system. The uniformity of water distribution from hose-drawn system depends on several factors, such as: pairs of nozzle diameter and sprinkler operating pressure; spacing between carriers; rotation sector angle of the sprinkler. This work was determined operational strategies for operating of the Komet Twin 202 Pro sprinkler in hose-drawn irrigation systems, through simulations of water application uniformity. The tests were conducted in a laboratory located in the Irrigation Laboratory of the Department of Engineering (DEG) on Federal University of Lavras, Lavras-MG. The distribution patterns of fifteen different pairs of nozzle diameter (30, 35 and 37.5 mm) and operating pressure (294, 343, 392, 441 and 490 kPa) were determined. These were dimensionless and submitted to K-means clustering analysis, which identified two typical shapes to represent them. The water application uniformity simulations were grouped according to the two typical shapes (I and II). The results indicated that the spacing between towpath and the rotation sector angle of the sprinkler, which provide uniformities above 80%, depend on the distribution patterns. Further, for suitable combinations of nozzle diameter and operating pressure the distribution patterns tends to the D Christiansen's geometric shape (elliptical). In the two shapes rotation sector angles between 180 and 240 or 330 and 360° generate uniformity coefficient values greater than 270°.

**Keywords: Traveller sprinkler system; Distribution Patterns; Long-range rotary Sprinkler.**

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Distribuição das áreas irrigadas de cana sob o chamado regime de salvação no centro sul do brasil. <b>Fonte:</b> ANA (2017 B). .....	13
<b>Figura 2.</b> Formas geométricas dos perfis de distribuição de água de Christiansen. ....	16
<b>Figura 3.</b> Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para os três perfis radiais de distribuição de água (triangular, elíptico e retangular). <b>Fonte</b> Prado et al (2012). ....	18
<b>Figura 4.</b> Representação da distribuição de água de um aspersor em movimento com velocidade linear constante. <b>Fonte:</b> Newell et al. (2003). ....	26
<b>Figura 5.</b> Aspersor Komet Twin 202 Pro instalado na campânula de ensaios. ....	27
<b>Figura 6.</b> Layout da bancada de ensaios utilizada para determinação dos perfis de distribuição de água do aspersor Komet Twin 2020 Pro. Adaptada de Prado (2004). ....	28
<b>Figura 7.</b> Valores de vazão de catálogo do aspersor Komet Twin 202 Pro (Qcat) <i>versus</i> valores de vazão estimados (Qest). ....	34
<b>Figura 8.</b> Valores de raio de alcance do canhão hidráulico obtidos em ensaios (Robs) <i>versus</i> valores de raio de alcance estimados (Rest). ....	35
<b>Figura 9.</b> Vazão em função da carga de pressão para os diferentes bocais estudados. ....	36
<b>Figura 10.</b> Raio de alcance em função da carga de pressão para os diferentes bocais estudados. ....	36
<b>Figura 11.</b> Variação do erro médio (Ek) na estimativa da intensidade adimensional de aplicação de água em função do número K de perfis típicos adotados no algoritmo <i>K-means</i> . ....	37
<b>Figura 12.</b> Grupo característico (I e II) correspondente às diferentes combinações de pressão de serviço e diâmetro dos bocais do aspersor Komet Twin 2020 Pro. ....	39
<b>Figura 13.</b> Perfis típicos encontrados pela análise de agrupamento para o aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	41
<b>Figura 14.</b> Coeficiente de uniformidade de Christiansen em função do espaçamento entre carregadores e ângulo de giro do aspersor para os perfis típicos encontrados no estudo. ....	43
<b>Figura 15.</b> Perfis radiais de distribuição de água com geometrias triangular (a), elíptica (b) e uniforme (c). ....	44
<b>Figura 16.</b> Coeficiente de uniformidade de Christiansen em função do espaçamento entre carregadores e do ângulo de giro do aspersor para os perfis típicos (a) triangular; (b) elíptico; e, (c) uniforme. ....	45
<b>Figura 17.</b> Comparação entre os perfis do aspersor Komet Twin 202 Pro, de baixa pulverização (I) e adequada pulverização (II), e o perfil teórico de geometria elíptica. ....	46



**Figura 18.** Comparação entre o perfil de adequada pulverização do aspersor Komet Twin 202  
Pro e perfis dos aspersores Plona RL250 (I) e Plona RL300 (II). .....47

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 2.</b> Alguns fabricantes de canhões utilizados em autopropelidos .....	15
<b>Tabela 1.</b> Valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para irrigação por aspersão. ....	20
<b>Tabela 3.</b> Recomendações de agrupamento dos perfis radiais determinados para o aspersor Komet Twin 202 Pro, obtidos pelo algoritmo <i>K-means</i> . ....	38

## Sumário

1	INTRODUÇÃO .....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1	Sistemas autopropelidos de irrigação .....	12
2.2	Aspersores utilizados em autopropelidos .....	14
2.3	Uniformidade de aplicação de água .....	19
2.3.1	Fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água .....	20
2.4	Perfil radial de aplicação de água de aspersores .....	22
2.4.1	Aspersor estacionário .....	22
2.4.2	Aspersor em movimento .....	25
3	MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1	Distribuição de água em condições de ausência de vento .....	27
3.2	Vazão e raio de alcance do aspersor .....	29
3.3	Adimensionalização dos perfis radiais de distribuição de água .....	30
3.4	Análise de agrupamento .....	30
3.5	Simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas de autopropelido .....	31
3.6	Recomendações de uso do aspersor Komet Twin 202 Pro .....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1	Ajuste das equações de vazão e raio de alcance .....	34
4.2	Análise de agrupamento k-means .....	37
4.3	Avaliação da uniformidade dos perfis típicos .....	41
4.4	Avaliação da uniformidade dos perfis radiais geométricos teóricos .....	43
4.5	Recomendações de uso do aspersor Komet Twin 202 Pro .....	46
5	CONCLUSÕES .....	48
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

Os setores de produção agrícola buscam melhorar a eficiência técnica e econômica de suas atividades, dentre elas a irrigação. Como forma de promover este aperfeiçoamento, o manuseio adequado dos equipamentos e correto dimensionamento dos sistemas incrementam a eficiência da irrigação.

A escassez hídrica influencia na atividade da agricultura irrigada de forma a obter redução do consumo de água e a otimização dos sistemas de irrigação. O manejo correto da água é o ponto fundamental em uma irrigação. Estes, aliados a adequadas uniformidades de aplicação de água, maximizam a produtividade e reduzem as perdas de água. A irrigação feita de forma correta minimizará os gastos com água, energia e elementos que constituem fatores dos custos de produção.

De acordo com a Atlas de Irrigação – Uso da Água na Agricultura Irrigada (ANA, 2017 A), no período compreendido entre os anos 2000 e 2016, o crescimento da área irrigada com autopropelidos no Brasil equivale à 15% do crescimento da área total equipada com irrigação. Os aspersores utilizados neste sistema de irrigação são os canhões hidráulicos.

A falta de conhecimento das reais características de distribuição de água dos aspersores de grande porte (canhões hidráulicos) dificulta o dimensionamento correto e recomendações adequadas do equipamento. A determinação do perfil radial de distribuição de água de um aspersor é importante para a avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação, e tomada de decisão por parte dos projetistas. Os catálogos comerciais dos canhões hidráulicos não apresentam os perfis radiais de distribuição para as diversas combinações de bocal e pressão de serviço.

Um processo que facilitam as análises de uniformidade de aplicação é o uso de simulações computacionais, devido à agilidade dos resultados obtidos. Muitos estudos utilizam a análise de simulações efetuadas a partir de perfis radiais estacionários de distribuição de água dos aspersores. Para isso, é necessário obter informações de perfis de distribuição radial para alimentação de softwares que simulam uniformidades de aplicação de água.

Sendo assim, os objetivos deste estudo foram: i) determinar os perfis radiais de aplicação de água para diferentes combinações de bocal e pressão de serviço do aspersor; ii) gerar dados de entrada para aplicativos computacionais, que simulam a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação; iii) simular e analisar a uniformidade de aplicação de sistemas autopropelidos que utilizam o aspersor Komet modelo Twin 202 Pro, sob

diferentes condições operacionais; iv) identificar condições operacionais que permitam o uso mais adequado do aspersor Komet Twin 202 Pro em sistemas autopropelidos de irrigação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sistemas autopropelidos de irrigação

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas (ANA, 2017 A). A área irrigada no Brasil tem crescido a taxas médias superiores a 4% ao ano, tendo atingido a marca de 6,95 milhões de hectares irrigados em 2015 (ANA 2017 A).

Na irrigação por aspersão, a água é aplicada sobre a superfície do solo na forma de chuva artificial, que deve ter uma intensidade que permita a sua infiltração no solo sem escoamento superficial (Azevedo et al., 2000). Keller & Bliesner (1990, pág.13) e Tarjuelo (2005, pág.58) classificam os sistemas de irrigação em duas grandes categorias: (i) os sistemas nos quais, durante a aplicação de água, os emissores ocupam uma posição fixa (“set systems”); e (ii) os sistemas nos quais, durante a aplicação de água, ocorre o deslocamento dos emissores (“continuous-move systems”). No Brasil, a classificação do método de irrigação por aspersão tem sido feita de acordo com os tipos utilizados para movimentação do sistema, manual ou mecânica (Bernardo et al., 2011, Mantovani, 2009).

Entre os sistemas que compõem o método de irrigação por aspersão, destacam-se: (i) aspersão convencional (manual); (ii) pivô central, (iii) linear móvel e (iv) autopropelido, ambos mecanizados. Os equipamentos do tipo pivô central, são caracterizados pelo deslocamento circular de uma linha lateral com emissores; e os sistemas que apresentam um deslocamento linear dos emissores que são agrupados em duas categorias distintas: linear móvel e autopropelido (Keller & Bliesner, 1990, pág.53).

De acordo com Keller e Bliesner (1990, pág.53), os sistemas do tipo lateral móvel combinam uma linha lateral, semelhante a do pivô central, com um sistema móvel de alimentação de água semelhante ao utilizado nos autopropelidos. Da mesma forma, Tarjuelo (2005, pág.195) divide os sistemas que apresentam movimentação linear durante a aplicação de água em duas grandes categorias: (i) sistemas autopropelidos, que apresentam o deslocamento de um canhão de grande porte e (ii) sistemas com linha lateral de avanço linear.

Segundo a norma ISO 8224-1 (ISO, 2004), os autopropelidos são máquinas destinadas a serem movida até diferentes pontos de suprimento de água, localizados em posições pré-estabelecidas no campo, operando de forma sequencial nestes pontos de suprimento de água, formando faixas irrigadas adjacentes a partir do deslocamento linear, causado por diferentes técnicas de tração, de um carrinho equipado com um sistema de distribuição de água (aspersor

ou canhão de grande alcance, combinação de aspersores ou canhões, barra com aspersores, sprays ou outros mecanismos de aplicação de água). De acordo com esta norma, os sistemas autopropelidos podem ser classificados quanto ao tipo de sistema utilizado para promover o deslocamento linear do sistema de distribuição de água:

Tipo 1 - são os carretéis enroladores que operam estacionados recolhendo a mangueira que alimenta um sistema móvel de distribuição de água.

Tipo 2 – são os autopropelidos tracionados a cabo, que se movimentam juntamente com a mangueira de alimentação, a medida que há o recolhimento do cabo de aço preso em um sistema de ancoragem.

Tipo 3 – são os autopropelidos que se movimentam sobre a mangueira de alimentação.

Atualmente no Brasil, os equipamentos do tipo 1 (carretel enrolador), nos quais o deslocamento linear do um aspersor de grande porte é obtido pelo enrolamento de sua mangueira de alimentação de água em um carretel fixado próximo da tubulação de fornecimento de água, é o tipo mais utilizado de equipamento de aspersão de movimentação linear contínua. De acordo com Rocha et al. (2005), o sistema se adapta a diferentes tipos de culturas e condições topográficas, sendo de acordo com Prado (2004); Rocha et al. (2005) e Bernardo et al. (2011), muito empregado em pastagens, capineiras e na agroindústria canavieira.

Em levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (Ana, 2017 B), efetuado, ao longo da safra 2015/2016, foi identificado, na região centro sul do Brasil, a existência de 1,69 milhões de hectares de cana cultivada sob o chamado regime de irrigação de salvação (98,4% da área total de cana irrigada nesta região e 17% da área total de cana nesta região). Neste regime de irrigação de salvação, pequenas lâminas (entre 20 e 80 mm por ano) de água, ou vinhaça diluída em água, são aplicadas predominantemente com equipamentos autopropelidos. A distribuição destas áreas nos diferentes Estados da região centro sul do Brasil é mostrada na Figura 1.



**Figura 1.** Distribuição das áreas irrigadas de cana sob o chamado regime de salvação no centro sul do Brasil. **Fonte:** ANA (2017 B).

Carvalho & Oliveira (2014, pág.412) afirmam que, em comparação aos sistemas convencionais, os autopropelidos exigem elevadas pressões de operação, decorrente da soma da elevada perda de carga na mangueira de alimentação do canhão e da própria pressão de operação do canhão, e, por esta razão, apresentam maior consumo de energia por metro cúbico de água aplicada. Keller & Bliesner (1990, pág.56) destacam que os autopropelidos são recomendados para irrigação suplementar, onde a necessidade de lâmina irrigação é menor, mitigando o elevado custo da potência requerida para o seu acionamento.

## **2.2 Aspersores utilizados em autopropelidos**

De acordo com Bernardo et al. (2011, pág.365), os “aspersores gigantes” de longo alcance operam com pressões de serviço variando entre 490 e 785 kPa (carga de 50 a 80 mca) e apresentam um raio de alcance de 40 a 80 m. Keller & Bliesner (1990, pág.67) citam intervalos de pressão entre 550 e 880 kPa com intervalo de raio de alcance entre 30 a 61m. Esses aspersores de grande porte são usados em sistemas de irrigação autopropelido, e também, em alguns casos, são implantados em pivô central, quando há necessidade de aumentar o raio irrigado do mesmo (Tarjuelo, 2005).

Na Tabela 2, considerando a variedade de modelos de canhões hidráulicos disponíveis no mercado, são listados alguns fabricantes de canhões e os respectivos links que fornecem informações a respeito da vazão e do diâmetro molhado em diferentes combinações de bocais e pressões de serviço conforme ilustrado na Tabela 5A dos ANEXOS.



**Tabela 1.** Alguns fabricantes de canhões utilizados em autopropelidos

<p>Fabricante: Nelson Corporation Irrigation ;</p> <p><a href="http://www.nelsonirrigation.com/media/general/TRAVELER_PRB.pdf">http://www.nelsonirrigation.com/media/general/TRAVELER_PRB.pdf</a></p> <p><a href="http://www.nelsonirrigation.com/media/general/BIGGUN_PRB.pdf">http://www.nelsonirrigation.com/media/general/BIGGUN_PRB.pdf</a></p>
<p>Fabricante: Sime</p> <p><a href="http://www.sime-sprinklers.com/en/sprinklers-of-long-and-medium-throw-by-a-turbine-device.html">http://www.sime-sprinklers.com/en/sprinklers-of-long-and-medium-throw-by-a-turbine-device.html</a></p> <p><a href="http://www.sime-sprinklers.com/en/sprinklers-for-fertilizers---vinacha.html">http://www.sime-sprinklers.com/en/sprinklers-for-fertilizers---vinacha.html</a></p>
<p>Fabricante: Komet Irrigation</p> <p><a href="http://www.kometirrigation.com/pt-br/twin/">http://www.kometirrigation.com/pt-br/twin/</a></p> <p><a href="http://www.kometirrigation.com/wp-content/uploads/2013/12/Komet-Twin-5-Features-PT.pdf">http://www.kometirrigation.com/wp-content/uploads/2013/12/Komet-Twin-5-Features-PT.pdf</a></p>
<p>Fabricante : Plona Equipamentos Ltda.</p> <p><a href="http://plona.com.br/irrigacao-e-fertirrigacao/">http://plona.com.br/irrigacao-e-fertirrigacao/</a></p> <p><a href="http://plona.com.br/produto-peca/eco10/">http://plona.com.br/produto-peca/eco10/</a> ;</p> <p><a href="http://plona.com.br/produto-peca/rl-400/">http://plona.com.br/produto-peca/rl-400/</a> ;</p> <p><a href="http://plona.com.br/produto-peca/rl-300/">http://plona.com.br/produto-peca/rl-300/</a></p>
<p>Fabricante: Rain Bird</p> <p><a href="http://www.rainbird.com/ag/support/raingun.htm">http://www.rainbird.com/ag/support/raingun.htm</a> ;</p>
<p>Fabricante: TORO</p> <p><a href="http://www.toro.com.au/media/3212/01-Sprinklers_Part47.pdf">http://www.toro.com.au/media/3212/01-Sprinklers_Part47.pdf</a></p> <p><a href="http://www.toro.com.au/media/9312/large-radius-gun-sprinkler-performance-data.pdf">http://www.toro.com.au/media/9312/large-radius-gun-sprinkler-performance-data.pdf</a></p>
<p>Fabricante: Fabrimar</p> <p><a href="http://www.fabrimar.com.br/categoria?irrigacao=canhao-stratus">http://www.fabrimar.com.br/categoria?irrigacao=canhao-stratus</a></p> <p><a href="http://www.terramolhada.com/file/2014/12/Fabrimar-stratus.pdf">http://www.terramolhada.com/file/2014/12/Fabrimar-stratus.pdf</a></p>

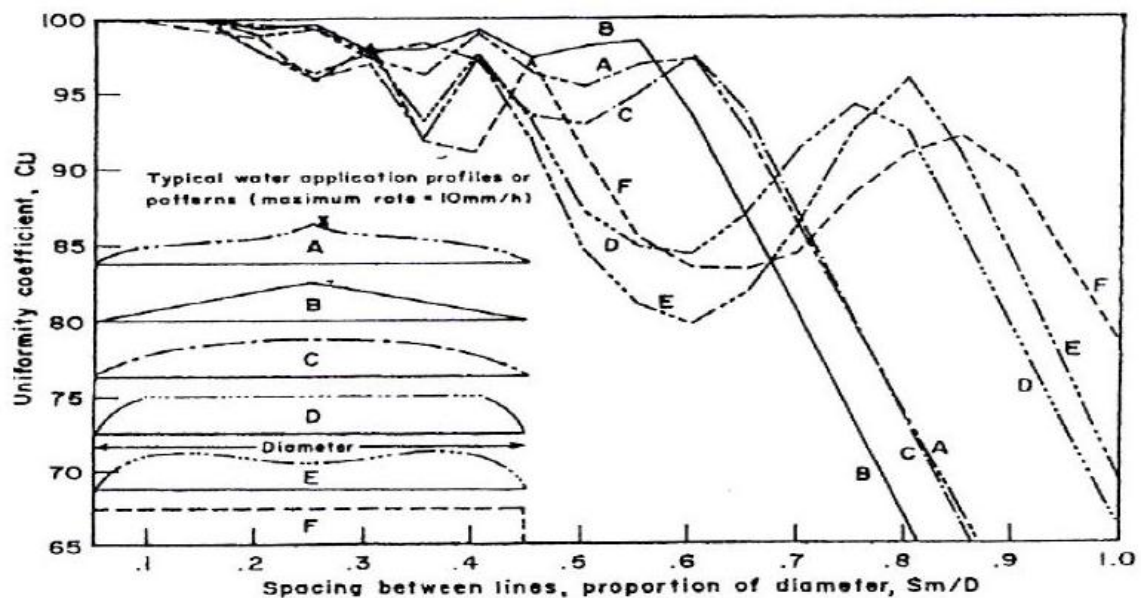
Os valores mostrados na Tabela 5A dos ANEXOS ilustram o fato, destacado por Prado & Colombo (2007), no que se refere ausência de dados técnicos nos catálogos comerciais, a respeito da distribuição de água, em diferentes combinações de diâmetro e do bocal e pressão de serviço dos aspersores de grande porte. Esses autores ainda atribuem este fato ao alto custo da construção de bancadas de ensaio, que atendam a norma técnica específica, e na dificuldade de realizar estes ensaios com aspersores de grande porte.

A falta de informações a respeito do perfil radial de aplicação de água dos canhões hidráulicos cria condições adequadas para a proliferação de “recomendações” de espaçamento de carregadores baseadas unicamente no diâmetro de alcance dos canhões. Bernardo et al. (2011, pag.469), recomenda para condições de vento de até  $8,0 \text{ km.h}^{-1}$  ( $2,2 \text{ m.s}^{-1}$ ) um

espaçamento entre carregadores de 80% do diâmetro molhado. Keller & Bliesner (1990, pág.294), também recomendam um espaçamento entre carregadores equivalente a 80% do diâmetro molhado, com redução gradual deste valor em função do aumento da velocidade média do vento, atingindo um valor de 50% do diâmetro molhado para velocidade de vento acima de  $16 \text{ km.h}^{-1}$  ( $4,47 \text{ m.s}^{-1}$ ). Tarjuelo (2005, pág.207) também recomenda espaçamento de 80% entre carregadores.

Estas recomendações de espaçamento entre carregadores, correspondente a 80% do diâmetro molhado, tem origem em uma generalização quanto ao formato geométrico da representação gráfica (intensidade de aplicação *versus* distância ao aspersor) do perfil radial de aplicação de água fornecido pelos canhões.

Na figura 2 são apresentados os diversos formatos do perfil radial de aplicação de água definidos por Christiansen (1942, pág.96).



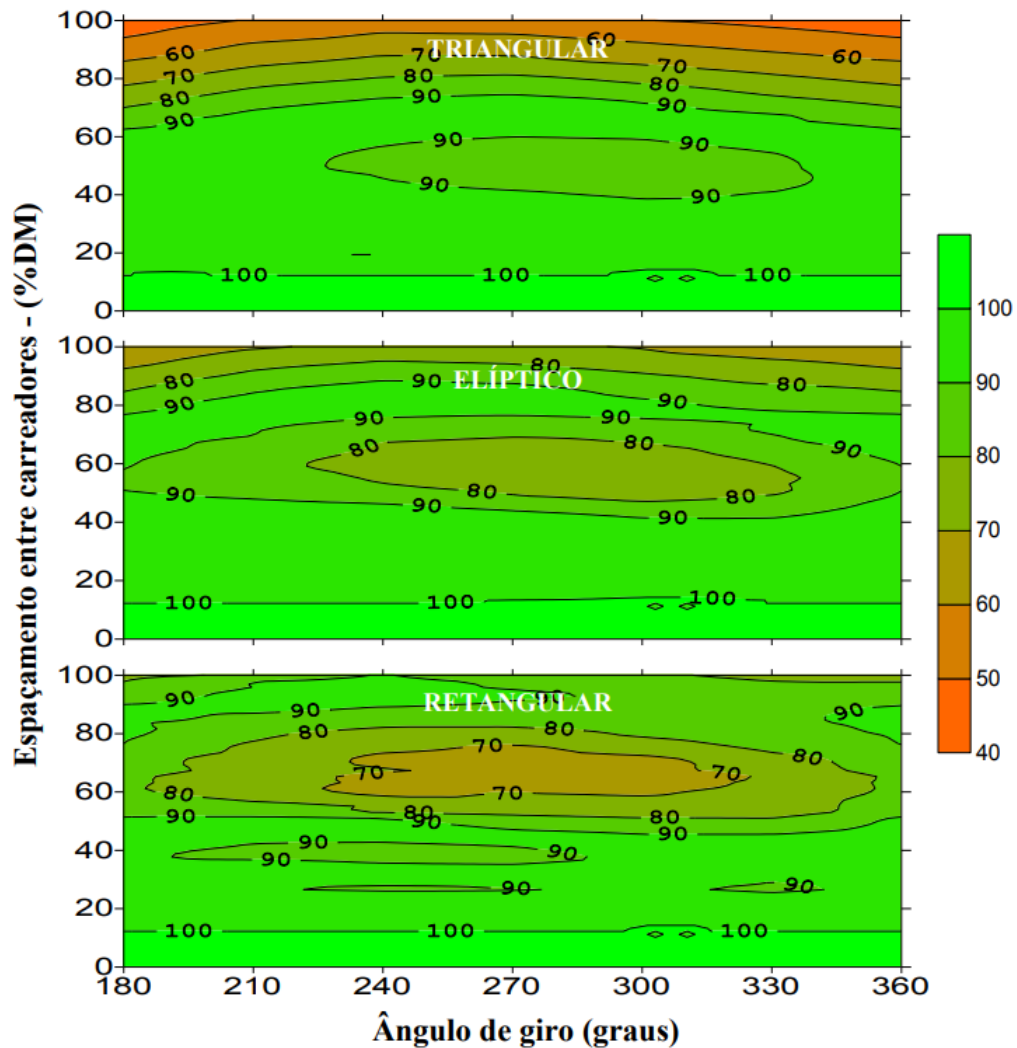
**Figura 2.** Formas geométricas dos perfis de distribuição de água de Christiansen.

**Fonte:** Christiansen (1942; pág.96)

Para elaborar a recomendação de espaçamento entre carregadores de autopropelidos, Tarjuelo (2005, pág.206) assume que os canhões apresentam perfis radiais de distribuição de água cuja representação gráfica apresenta formato geométrico muito próximo do perfil uniforme, ou retangular, que costuma ser referido como perfil F de Christiansen (Figura 2). Keller & Bliesner (1990, pág.71) assumem que os canhões apresentam um perfil radial de aplicação de água, que se aproxima muito do perfil E de Christiansen.

Em trabalho pioneiro, Bittinger & Longenbaugh (1962) demonstraram importância do conhecimento do perfil radial de distribuição de água dos aspersores para o dimensionamento de sistemas de autopropelidos de irrigação. Esses autores compararam a uniformidade de distribuição de água resultante de três espaçamentos distintos de carreadores, correspondentes a 1,0, 1,2 e 1,4 vezes o raio de alcance do aspersor (50, 60 e 70% do diâmetro molhado), considerando dois formatos geométricos distintos do perfil radial de distribuição de água dos aspersores em deslocamento linear: um perfil triangular (Perfil B da Figura 2) e um perfil elíptico (perfil C da Figura 2). Os resultados indicaram que, dentre as três opções, o espaçamento correspondente 1,0 vezes o raio molhado seria mais adequado para um aspersor com perfil radial de distribuição de formato triangular, enquanto que, o espaçamento entre carreadores correspondente a 1,4 vezes o raio de alcance seria mais adequado para um aspersor com perfil radial de distribuição de formato elíptico.

Para ilustrar a importância tanto do formato do perfil radial de distribuição dos aspersores, como também do ângulo de giro do aspersor, Prado et al. (2012) apresentaram valores de uniformidade de distribuição de água resultantes de diferentes combinações espaçamento entre carreadores e de ângulo de giro do aspersor (de  $180^{\circ}$  até  $360^{\circ}$ ), considerando três formatos geométricos distintos do perfil radial de distribuição de água dos aspersores em deslocamento linear: triangular, elíptico e uniforme. Os resultados obtidos neste estudo são mostrados na Figura 3.



**Figura 3.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para os três perfis radiais de distribuição de água (triangular, elíptico e retangular). **Fonte** Prado et al (2012).

A caracterização do perfil radial de canhões hidráulicos comerciais tem sido objeto de diversos estudos. Solomon & Bezdek (1980) caracterizaram o perfil radial de distribuição do canhão Rain Bird G 103, com jato de  $18^\circ$ , o operando com bocais de 12,7, 15,2 17,8 e 20,3 mm com pressões variando entre 276 e 552 kPa. Seus resultados mostraram que os perfis obtidos apresentavam formato geométrico diferente do formato dos perfis geométricos típicos Christiansen.

Rochester (1983) utilizou o perfil radial de água produzido pelo aspersor Rain Bird 205G, operando com bocal de 38mm e pressão de 575 kPa, para desenvolver os critérios de tempo de parada nas extremidades da faixa molhada formada pelo deslocamento linear de um aspersor. Posteriormente, Rochester et al. (1989), caracterizaram o perfil radial de aplicação do Aspersor Nelson P 85, com jato de 24 graus, operando com bocais de 11,1; 12,7 e 14,3mm

na pressão de 344 kPa, para avaliar o efeito de variação da velocidade de deslocamento linear do aspersor sobre a uniformidade dos autopropelidos.

Richards & Weatherhead (1993), caracterizaram o perfil radial de distribuição de água do canhão Nelso P 150, com ângulo de jato de 24°, operando com bocal de 25,4 mm. Os perfis radiais de distribuição de água dos canhões da Plona Equipamentos, modelo RL300 e RL250, foram caracterizados por Prado & Colombo (2005) e Faria (2008). Prado et al. (2013) apresentou perfis radiais do aspersor Komet Twin 140 Plus, operando com bocais de 16 até 30mm, na faixa de pressão de operação de 294 a 580kPa.

GE Maosheng et al. (2016) publicaram perfis radiais de dois aspersores de impacto de tamanho médio (PY40 e 50PYP) que são utilizados em equipamentos autopropelidos com pressão de trabalho na faixa de 100 até 500 kPa e bocais variando de 14mm até 22mm.

### 2.3 Uniformidade de aplicação de água

De acordo com Keller & Bliesner (1990, pág.86), a eficiência de irrigação pode ser dividida em duas componentes: uniformidade e perdas. Se a uniformidade de aplicação é baixa, ou se as perdas são altas o sistema de irrigação será altamente ineficiente. Aos projetistas de irrigação cabe a responsabilidade de projetar sistemas com alta uniformidade e pequenas perdas de aplicação. A uniformidade de aplicação de água deve ser um dos critérios básicos de projeto dos sistemas de irrigação.

De acordo com Brennan, Narasimha e Holtham (2007), a uniformidade de distribuição da água é o principal fator usado para determinar se um sistema de irrigação é eficiente. Segundo Mantovani (2009), a uniformidade pode ser expressa por coeficientes, sendo mais utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Christiansen (1942; pág.94) descreveu quantitativamente a uniformidade da sobreposição de perfis de distribuição de um sistema de irrigação, dada pela equação 1.

$$CUC = \left(1 - \frac{\text{Desvio Médio}}{\text{Média}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X'|}{n} \frac{1}{X'}\right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde CUC é determinado em %,  $X_i$  é a lâmina coletada pelo coletor “i”,  $X'$  é lâmina média dos coletores ( $\text{mm.h}^{-1}$ ),  $n$  é o número total de coletores utilizados.

Nos sistemas de irrigação que apresentam uniformidade de Christiansen maior que 73%, os valores de lâmina apresentam uma uniformidade muito próxima da distribuição

normal (*Gauss*), podendo, nestes casos, ser aplicada a aproximação desenvolvida por Hart & Reynolds (1965), conforme destacado por Keller & Bliesner (1990, pág.88).

$$CUC = \left( 1 - \sigma \frac{\sqrt{2/\pi}}{X'} \right) 100 \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{X'}{\sqrt{2/\pi}} \left( 1 - \frac{CUC}{100} \right) \quad (3)$$

Onde  $\sigma$  é o desvio padrão das lâminas

Mantovani et al. (2009) salientam que o recomendado para irrigação por aspersão é um coeficiente de uniformidade de Christiansen superior a 80% (Tabela 1). Porém, Matsura & Testezlaf (2003) afirmam que CUC em torno de 70% pode ser considerado como bom, em sistemas autopropelidos.

**Tabela 2.** Valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para irrigação por aspersão.

Classificação	CUC (%)
Excelente	> 90
Bom	80 - 90
Razoável	70 - 80
Ruim	60 - 70
Inaceitável	< 60

**Fonte:** Mantovani et al (2009)

### 2.3.1 Fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água

Tarjuello (205, pág.195) destaca que os canhões hidráulicos, que normalmente são utilizados nos sistemas autopropelidos, além de requererem uma elevada pressão de serviço, podem produzir gotas de água de grande tamanho que, em alguns casos, podem prejudicar tanto o solo como a cobertura vegetal, e apresentar um perfil radial de distribuição de água que é muito afetado pelas condições de vento.

Keller & Bliesner (1990, pág.292) e Tarjuelo, (2005, pág.209) acrescentam também como desvantagens dos autopropelidos a baixa uniformidade de aplicação de água nas extremidades das faixas molhadas e nas bordas laterais do campo, onde a sobreposição de faixas adjacentes não é completa. Para melhorar a uniformidade de aplicação de água nas extremidades da faixa esses autores apresentam diferentes recomendações de cálculo de tempo de parada nas extremidades das faixas molhadas, que buscam melhorar a uniformidade nestas regiões.

De acordo com Prado & Colombo (2007), o desconhecimento das características técnicas do aspersor na distribuição de água podem acarretar em recomendações inadequadas ao sistema de irrigação projetado. Pois os critérios de dimensionamentos ficam restritos aos apresentados em literatura ou utilizadas usualmente por projetistas, de forma geral.

Segundo Keller & Bliesner (1990, pág.286), alguns fatores que estão relacionados ao sistema autopropelido de irrigação, afetam o perfil radial de distribuição de água, e conseqüentemente a uniformidade da aplicação de água. Dentre eles, estão: diâmetro do bocal do aspersor, pressão de serviço do aspersor, espaçamento entre carreadores, ângulo de giro do aspersor, vento, entre outros.

Bittinger & Longenbauth (1962), Keller & Bliesner (1990), Prado (2004), Oliveira (2008), Prado et al. (2012), Bastos et al. (2014) utilizam a variação no espaçamento em porcentagem do diâmetro molhado e no ângulo de giro para avaliações de uniformidade de aplicação de aspersores. Keller & Bliesner (1990), confirmado por Prado et al. (2012), apontam alguns aspectos relacionados aos fatores citados: (i) os valores máximos de lâmina dos perfis geométricos apresentados, decrescem com o aumento do ângulo de giro de 180 até 240°, e aumentam quando o ângulo passa de 240° para 360°; (ii) perfis mais uniformes são obtidos no intervalo de ângulos de giro entre 210 e 240°; (iii) os perfis gerados pelos ângulos de giro de 180° e 360° são iguais. Esses autores indicam que em sistemas autopropelidos, os aspersores obtêm maior uniformidade de distribuição quando operados com ângulos diferentes de 360°. Ainda, que o ângulo de 210° proporciona maior uniformidade ao perfil de aplicação, e que um giro de 270° reduz esta uniformidade.

Keller & Bliesner (1990) consideram que os aspersores do tipo canhão hidráulico apresentam perfil de distribuição de água próximo ao uniforme, para condições de ventos fracos; e que o espaçamento entre carreadores seja em torno de 80% do diâmetro molhado.

Em estudo do aspersor Big River, bocal de 76,2 mm, em condições de campo, Rocha (2000) observou maiores valores de CUC quando a largura entre faixas irrigada compreendiam entre 70 e 80% do diâmetro molhado do aspersor (espaçamento entre

carreadores), quando operado com ângulo de 270°. Rocha (2005), analisando o aspersor Irrigamatic 100, e Prado & Colombo (2007), analisando o aspersor PLONA-RL250, concluíram, em simulações, que ângulos de giro entre 210° e 240° geram melhores valores de uniformidade de aplicação de água quando comprados ao ângulo de 270°.

Oliveira (2008), avaliando o aspersor PLONA-RL250, constatou que em condições de ausência de vento, os melhores valores de uniformidade são apresentados por ângulos entre 180 e 240° ou 330 e 360° para espaçamento entre carreador de 70%. Sob as mesmas condições, Vallame et al. (2011) concluiu que o aspersor Komet 140 Plus apresenta uniformidade em torno de 88%, quando operado em ângulo de 240° e espaçamento em torno de 76% do diâmetro molhado.

Bastos et al. (2014) encontraram valores de CUC acima de 80% para o espaçamento de 80% do diâmetro molhado, em testes realizados em quatro autopropelidos. Segundo os mesmos autores, o CUC nessa faixa foi bom considerando recomendações de CUC acima de 80% para irrigação por aspersão.

Em testes realizados em autopropelido equipado com o aspersor Komet Twin 202 Pro, os autores Cunha et al. (2017) encontraram CUC de 88%, utilizando ângulo de giro de 210°. Rocha et al. (2005) afirmam que sistemas autopropelidos são frequentemente operados com aspersores trabalhando com o ângulo de 270°.

Desta forma fica claro que o conhecimento das características do perfil radial de aplicação de água do aspersor em deslocamento linear é fundamental na determinação da uniformidade de aplicação de água dos sistemas autopropelidos.

## **2.4 Perfil radial de aplicação de água de aspersores**

Os problemas na avaliação das condições operacionais de um sistema de irrigação, com ensaios de perfil radial realizados em campo, são os efeitos de condições climáticas relacionadas ao vento e evaporação, que podem afetar muito os resultados (Camargo et al., 2014).

### **2.4.1 Aspersor estacionário**

A caracterização de um aspersor operando na ausência de vento deve seguir a metodologia prevista nas normas de ensaio ISO 15886-3 (ISO, 2012). Desse modo, pode-se



avaliar o comportamento de cada perfil de distribuição, tendo como parâmetros diretos de variação a pressão de serviço e o diâmetro do bocal. A caracterização de perfis típicos auxilia na tomada de decisão do projetista, e se torna essencial para a avaliação do sistema.

Todo aspersor possui uma curva de distribuição de água característica que é representada por uma ótima condição operacional, de acordo com o diâmetro do bocal e a pressão de serviço (Keller & Bliesner, 1990, pág.70).

Os perfis foram descritos por: i) perfis A e B são característicos de aspersores que trabalham com dois ou mais bocais; ii) perfis dos tipos B e C são caracterizados por aspersores que possuem bocal único; iii) perfil E é geralmente obtido quando o aspersor trabalha com pressões abaixo do adequado para o diâmetro do bocal; iv) perfil F é característico de aplicação uniforme.

Vários autores estudaram formatos de perfil de aplicação de água (Keller & Bliesner, 1990; Tarjuelo, 1999; Rolim & Pereira, 2005; Faria et al., 2009), e observaram que a maioria dos canhões hidráulicos possuem distribuição quase uniforme, seguindo formatos semelhantes aos perfis D e E identificados por Christiansen (1942; pág.96).

Como apontam Camargo et al. (2014), os ensaios de distribuição radial consistem no posicionamento de coletores alinhados ao longo de um raio, que se inicia no aspersor. Esses, ainda apontam que a metodologia da ISO 15886-3 (2012) determina que os ensaios de método radial não devam sofrer influências de vento e que o padrão do aspersor ensaiado seja simétrico ou uniforme em todas as direções de alcance do jato. Withers & Vipond (1974) afirmam que os efeitos do vento sobre a uniformidade de aplicação de água são pouco influentes quando o mesmo está abaixo de  $2,2 \text{ m.s}^{-1}$ .

De acordo a metodologia descrita por Prado & Colombo (2005), sugerida por Seginer et al. (1992), Li (1996) e Molle & Gat (2000), adotada também por Prado et al. (2013), a vazão do perfil radial é estimada de acordo com a equação 4; tendo  $\alpha$  variando de 1 a “i” (número dos perfis ensaiados).

$$QP = 2\pi \cdot \int_0^R [i_x(r_x)] \cdot r_x \cdot dr = 2\pi \cdot \left[ \frac{i_1 \cdot (r_1^2)}{3} + \sum_{x=2}^n \left[ \frac{a_x}{2} \cdot [(r_x)^2 - (r_{x-1})^2] + \frac{b_x}{3} \cdot [(r_x)^3 - (r_{x-1})^3] \right] \right] \quad (4)$$

Onde QP representa a vazão do perfil radial ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ),  $i_x(r_x)$  a intensidade de precipitação em função da distância radial ao aspersor, em um coletor “x” ( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ ), R o raio de

alcance do aspersor (m),  $r_x$  é a distância do coletor “x” em relação ao aspersor (m),  $n$  é o número de coletores que receberam água. Os coeficientes  $a_x$  e  $b_x$ , da equação linear ajustada aos valores de intensidade de precipitação e distância radial ao aspersor observados entre dois coletores consecutivos, foram obtidos pelas equações 5 e 6, respectivamente.

$$a_x = i_{x-1} - r_{x-1} \cdot b_x \quad (5)$$

$$b_x = \frac{i_x - i_{x-1}}{r_x - r_{x-1}} \quad (6)$$

Ainda segundo Prado & Colombo (2005), adotado também por Faria (2008) e Oliveira (2008), o método de adimensionalização dos perfis de distribuição da água proposto por Solomon & Bezdek (1980), são adequados para posterior agrupamento e identificação das possíveis formas geométricas assumidas pelos perfis. Os perfis adimensionalizados expressam as distâncias ao aspersor em termos da fração do raio de alcance, assim como os valores de intensidade de precipitação em termos da fração da intensidade média de aplicação de água, expressos pelas equações 7 e 8, respectivamente.

$$ra_{x,i} = \frac{r_{x,i}}{R_i} \quad (7)$$

$$ia_{x,i} = \frac{i_{x,i} \pi R_i^2}{QP_i} = \frac{i_{x,i}}{im_i} \quad (8)$$

Onde  $ra_{x,i}$  representa a fração do raio de alcance do aspersor (adimensional),  $ia_{x,i}$  a fração da intensidade média de aplicação (adimensional),  $r_{x,i}$  o raio do coletor “x” ao aspersor (m),  $im_i$  é a intensidade média de aplicação de água ( $m \cdot h^{-1}$ ).

Os valores de intensidade de aplicação e raio de alcance do jato são parâmetros quantitativos que caracterizam um aspersor, e suas formas adimensionais contribuem na caracterização de padrões de perfis radiais. De acordo com a norma ISO 15886-3 (2012), para aspersores com vazões superiores a  $75 L \cdot h^{-1}$ , o raio de alcance é definido coletor que se observa intensidade de precipitação menor que  $0,25 mm \cdot h^{-1}$ .

Camargo et al. (2014) afirmam que os ensaios desse método normalmente são realizados durante 1 hora sob pressão constante. Os mesmos autores ainda apontam que o jato

do aspersor deva passar sobre os coletores pelo menos 30 vezes para assegurar os padrões de incerteza volumétrica sejam atendidos, de acordo com a ISO 15886-3 (2012).

De acordo com Frizzone et al (2011), a irrigação em um sistema de produção agrícola visa alcançar alta eficiência no processo de aplicação da água. Com isso, a importância em se obter os perfis de distribuição de água é essencial para estudos de uniformidade de aplicação e tomada de decisão.

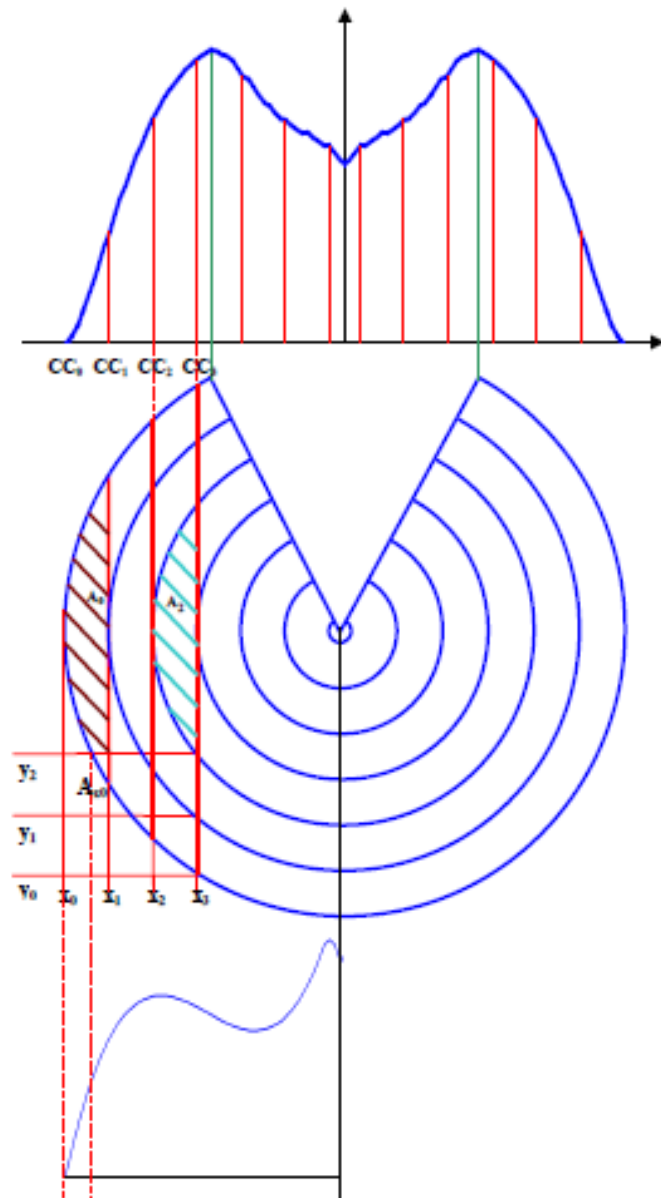
O modelo do Richards & Weatherhead (1993), por exemplo, necessita para seu ajuste, de pelo menos três ensaios de distribuição de água do aspersor, sendo um deles em condições nulas de vento. Isso torna possível a modelagem de distorções causadas pelos efeitos da deriva ocasionadas pelo vento.

#### **2.4.2 Aspersor em movimento**

De acordo com a norma International Standards Organization - ISO 8224-1 (ISO, 2004) a distribuição de água de um aspersor pode ser avaliada com ele em movimento linear e constante (Figura 4), operando com um determinado ângulo de giro. A velocidade do autopropelido deve estar entre 10 e 50 m.h<sup>-1</sup>, quando equipado com um aspersor do tipo canhão hidráulico. O ensaio é realizado com auxílio de coletores de água dispostos ao longo de um eixo (x) situado perpendicularmente ao sentido de deslocamento do aspersor (y). Isso permite uma avaliação mais completa da uniformidade ao longo da faixa molhada formada pelo deslocamento linear de um aspersor, considerando pontos de parada e de manobra do equipamento autopropelido.

Newell et al. (2003) conduziram estudos de aspersores operando em equipamentos autopropelidos, adaptando o modelo de Richards & Weatherhead (1993) para aspersores em movimento linear com velocidade constante.

Aplicativos computacionais como o TRAVGUN (Newell et al., 2003) e Simulasoft (Prado, 2004) foram calibrados para simular a distribuição de água do aspersor, em diferentes condições de velocidade de deslocamento e ângulo de giro.



**Figura 4.** Representação da distribuição de água de um aspersor em movimento com velocidade linear constante. **Fonte:** Newell et al. (2003).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Distribuição de água em condições de ausência de vento

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia (DEG) da Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, onde foram determinados quinze perfis radiais de distribuição de água de um aspersor do tipo canhão hidráulico, da marca Komet, modelo Twin 202 Pro (Figura 5). Conforme descrição apresentado pelo fabricante (Anexos- Tabela 5A), o canhão avaliado apresenta um ângulo de inclinação de jato de água de 24°, sendo dotado de único bocal cônico e de um mecanismo de setorial de reversão lenta, com giro acionado por um braço com oscilação vertical.



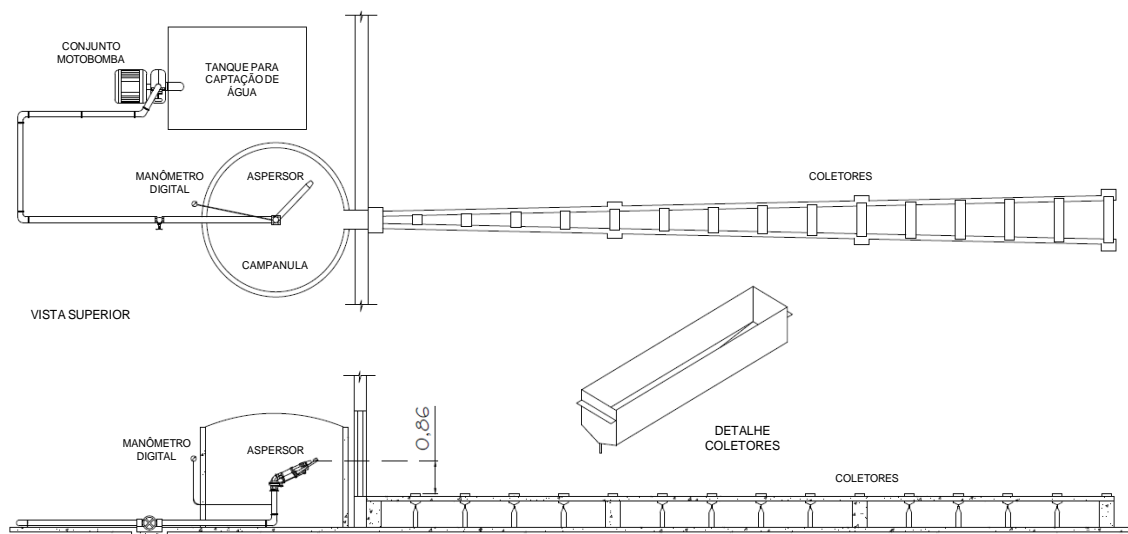
**Figura 5.** Aspersor Komet Twin 202 Pro instalado na campânula de ensaios.

A bancada utilizada para determinação dos perfis radiais de distribuição de água é a mesma descrita por Prado & Colombo (2005). Esta bancada, conforme ilustrado na Figura 6, é constituída por: i) tanque de captação de água; ii) um conjunto motobomba da marca KSB, modelo ETA 100/20, com rotação nominal de 3530 rpm e diâmetro do rotor de 205 mm; iii) tubulação de aço dotada de válvulas do tipo gaveta e válvula de retenção; iv) manômetro digital da marca Lamon, modelo DMP-01-DP, conectado à base do aspersor; v) campânula para abrigo do aspersor, com raio de 1,5 m e abertura de 5°; vi) linha de coletores, com

espaçamento variável, que se estende a uma distância máxima de 70 m do centro da campânula, composta por 110 coletores de área retangular, com largura de 20 cm e comprimento variável de acordo com o distanciamento do centro da campânula.

Os 15 perfis radiais de distribuição de água determinados correspondem a três diâmetros de bocal (30; 35 e 37,5 mm) e cinco diferentes valores de pressão de serviço (294, 343, 392, 441, 490 kPa), e ângulo de saída do jato de 24°, que, de acordo com a International Organization for Standardization - norma ISO 15886-3 (ISO, 2012), foram determinados na mesma altura da saída de água do bocal principal. Foi utilizado um manômetro digital, da marca Lamon, modelo DMP-01-DP, com capacidade máxima de 200m e precisão de 0,2m de coluna de água. Os valores de pressão de serviço do aspersor foram ajustados antes ao do início do giro do aspersor, e foram monitorados durante os ensaios, a cada 10 minutos, para assegurar que não houvesse oscilação no valor da pressão fornecida.

Durante os ensaios, o ângulo de giro do canhão foi fixado em 180°, e o centro do bocal do aspersor foi mantido a uma distância vertical de 0,86 m da superfície de captação de água dos coletores.



**Figura 6.** Layout da bancada de ensaios utilizada para determinação dos perfis de distribuição de água do aspersor Komet Twin 2020 Pro. Adaptada de Prado (2004).

Todos os quinze ensaios tiveram duração de 40 minutos, assegurando, conforme recomendado pela norma ISO 15886-3 (2012), que o jato do aspersor passasse sobre os coletores pelo menos 30 vezes. Os ensaios foram realizados no período noturno, buscando uma condição favorável de ausência de vento. Seguindo a metodologia de Prado & Colombo (2005), durante todo o tempo de duração dos ensaios, a condição de vento foi monitorada pelo

deslocamento acumulado registrado por um anemômetro totalizador de canecas, instalado a 2 m acima da superfície do solo. Este monitoramento permitiu garantir que, durante os ensaios, a velocidade máxima do vento não excedeu o valor de  $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ , conforme recomendado por Prado (2004).

O registro dos volumes de água precipitada em cada coletor, necessário para a determinação o perfil radial de distribuição de água e do raio de alcance do aspersor teve início imediatamente após o término do intervalo de tempo estipulado para duração de cada um dos ensaios (40 minutos).

Seguindo recomendações de Prado & Colombo (2005), Camargo et al. (2014) e Koetch et al. (2016), para cada uma das quinze combinações de bocal e pressão avaliadas, o valor da vazão declarada pelo catálogo do aspersor (Anexos – Tabela 5A), foi comparado com o valor da vazão reconstituída a partir dos pares de valores de distância e intensidade de precipitação obtidos em cada perfil radial de distribuição de água (equação 4).

### 3.2 Vazão e raio de alcance do aspersor

Os valores de vazão declarados no catálogo do aspersor ( $Q$  em  $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) e os valores de raio de alcance ( $R$  em m) observados nos perfis radiais, correspondentes às quinze combinações de diâmetro de bocal ( $b$  em mm) e pressão de serviço ( $P$  em kPa) avaliadas, foram utilizados para ajustar os valores dos coeficientes de equações do tipo potencial sugeridas por Solomon & Bezdek (1980) e Prado & Colombo (2005):

$$Q = C_1 \cdot b^x \cdot P^y \quad (9)$$

$$R = C_2 \cdot b^m \cdot P^n \quad (10)$$

Onde  $C_1$  e  $C_2$  são coeficientes que dependem das características do aspersor e das unidades medida de pressão de serviço, do diâmetro de bocal e da vazão ou do raio de alcance;  $x$ ,  $y$ ,  $m$ , e  $n$  são parâmetros empíricos adimensionais.

### 3.3 Adimensionalização dos perfis radiais de distribuição de água

Os quinze perfis radiais de distribuição de água determinados foram adimensionalizados segundo o método proposto por de Solomon & Bezdek (1980). Neste processo de adimensionalização, as distâncias ao aspersor são expressas em termos da fração do raio de alcance do perfil considerado, assim como, os valores de intensidade de precipitação são expressos em termos da fração da intensidade média de aplicação de água do perfil, equações 7 e 8 respectivamente. Conforme indicado na equação 8, em cada combinação de bocal e pressão de serviço, o valor da intensidade média de aplicação de água ( $m.h^{-1}$ ) foi determinada pela razão do correspondente valor da vazão de catálogo ( $m^3.h^{-1}$ ) e a área do círculo molhado ( $m^2$ ) correspondente ao raio de alcance do aspersor ( $m$ ).

Em cada um dos quinze perfis adimensionais ( $1 \geq i \geq 15$ ), foi utilizado um processo de interpolação linear para determinar o valor da intensidade adimensional  $ia_{j,\alpha}$  de aplicação de água correspondentes a 20 distâncias adimensionais distintas ( $ra_j$ ), que foram determinadas pela equação 11, com  $20 \geq j \geq 1$ . Os 20 valores correspondem às distâncias adimensionais que variam de 0,025 até 0,975 do raio de alcance, em intervalos regulares de 0,05 (variação de 5% da distância).

$$ra_j = 0,025 + (j - 1)0,05 \quad (11)$$

Posteriormente, os vinte valores interpolados foram ajustados proporcionalmente, de forma a atender a condição dada pela equação 12, que assegura, conforme estabelecido por Solomon & Bezdek (1980), que o valor de vazão reconstituído com base na integração do perfil radial de aplicação de água de uma dada combinação de diâmetro de bocal e pressão de serviço, seja igual à vazão declarada no catálogo do aspersor para esta mesma combinação de diâmetro de bocal e raio pressão de serviço.

$$\frac{0,05}{20} \sum_{j=1}^{20} [(2j - 1)ia_{j,i}] = 1 \quad (12)$$

### 3.4 Análise de agrupamento

Os 15 perfis adimensionais foram submetidos a análise de agrupamento, para identificar grupos de condições operacionais (diâmetro do bocal versus pressão de serviço)



que resultam em perfis adimensionais de valores semelhantes, que podem ser representado por um mesmo perfil típico. A rotina do algoritmo adotada por Prado & Colombo (2005), foi executada para valores crescentes de número K de formas geométricas típicas a serem consideradas, com  $1 \leq i \leq 15$ . Com isso, foram analisados os agrupamentos obtidos para cada valor de K, e determinado quantos perfis típicos K foram necessários para representar os 15 perfis obtidos em campo. Assim, especificou-se o comportamento da distribuição de água quanto à pressão de serviço e diâmetro de bocal; indicando a influência destes na geometria de cada perfil típico radial.

A rotina gerou uma planilha que indica o desvio médio ( $E_k$ ) na estimativa da intensidade, para cada número de grupo de perfil K considerados, de acordo com a equação 13.

$$E_k = \sqrt{\frac{\sum_{\beta=1}^i \text{Min}(SQ_{\beta,1}, SQ_{\beta,2}, \dots, SQ_{\beta,k})}{j \cdot i}} \quad (13)$$

Onde “i” é o número de perfis adimensionais observados a serem agrupados e “j” representa o número de posições dos perfis adimensionalizados.

### 3.5 Simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas de autopropelido

A partir dos perfis radiais típicos de distribuição adotados no item 3.4, foram feitas simulações da uniformidade de aplicação de água utilizando o aplicativo computacional *Simulasoft 5.0* (Prado, 2004), com estimativa do CUC (Coeficiente de Uniformidade de Crsthiansen). Nas simulações, foi considerada uma variação no ângulo de giro do aspersor, em  $10^\circ$ , para um intervalo de  $180^\circ$  a  $360^\circ$ ; adotando vários espaçamentos entre carreadores (35 a 100 % do diâmetro molhado). Foram atribuídos para as simulações: i) velocidade nula do vento; ii) velocidade constante de deslocamento do aspersor ( $50 \text{ m.h}^{-1}$ ); iii) coletores espaçados de 2 m.

O aplicativo simulou a distribuição espacial da lâmina aplicada em um plano perpendicular à trajetória linear de deslocamento de um aspersor, e calculou a uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação com sobreposição lateral de dois jatos de distribuição. A rotina de operação do programa *Simulasoft 5.0* seguiu:

**Passo 1** – Entrada de dados do perfil: vazão do aspersor; intensidade de aplicação; distância dos pontos ao centro do aspersor; ângulo de aplicação do jato; carga de pressão de serviço do aspersor; diâmetro do bocal.

**Passo 2** – Definição dos parâmetros: velocidade do vento; ângulo de giro; velocidade do carreador; espaçamento entre coletores.

**Passo 3** – Gerar a lâmina aplicada transversalmente à trajetória do deslocamento do aspersor.

**Passo 4** – Cálculo do coeficiente de uniformidade da sobreposição lateral dos jatos, de acordo com o espaçamento entre carreadores.

Ainda com o auxílio do aplicativo, seguindo a mesma rotina anterior, foram feitas simulações considerando perfis radiais de distribuição de água de geometria triangular, elíptica e uniforme; com o ângulo de giro variando em intervalos regulares de 30° (180°, 210°,..., 360°).

Com isso, foram comparadas as uniformidades de aplicação de água obtidas com estes perfis radiais teóricos e com os perfis radiais típicos obtidos na análise de agrupamento, adotados para o aspersor Komet Twin 202 Pro.

Atribuiu-se valores de vazão ( $Q$  em  $m^3.h^{-1}$ ) e raio de alcance ( $R$  em  $m$ ) em um dos perfis típicos adimensionais determinados no item 3.4, para o desenvolvimento das simulações como base para gerar as três formas geométricas do perfil radial de distribuição de água. Para as três formas geométricas do perfil radial de distribuição de água, seguiram-se os cálculos (equações 14, 15 e 16) para o aspersor operando com um ângulo de giro de 360°, assim como realizado por Prado et al. (2012).

- Triangular:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para: } 0 \leq r \leq R \rightarrow i(r) = \frac{3000Q(R-r)}{\pi R^3} \\ \text{Para: } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \quad (14)$$

- Elíptico:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para: } 0 \leq r \leq R \rightarrow i(r) = \frac{1500Q\sqrt{R^2-r^2}}{\pi R^3} \\ \text{Para: } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \quad (15)$$

- Uniforme:

$$i(r) = \begin{cases} \text{Para: } 0 \leq r \leq R \rightarrow i(r) = \frac{1000Q}{\pi R^2} \\ \text{Para: } r > R \rightarrow i(r) = 0 \end{cases} \quad (16)$$

Onde  $i(r)$  é a intensidade de precipitação do aspersor em função da distância radial ( $\text{mm.h}^{-1}$ );  $r$  é a distância radial ao aspersor (m);  $Q$  é a vazão do aspersor ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ) e  $R$  é o raio de alcance do aspersor (m).

### 3.6 Recomendações de uso do aspersor Komet Twin 202 Pro

Os perfis radiais típicos estabelecidos no item 3.4 para o aspersor Komet Twin 202 Pro, foram comparados ao perfil teórico elíptico para que fosse possível estabelecer recomendações adequadas de uso do aspersor. Posteriormente, comparados ao perfil típico de condições operacionais mais adequadas, dos aspersores PLONA-RL300 e PLONA-RL250, adotado em estudos realizados por Prado & Colombo (2005) e Oliveira (2008), respectivamente.

As recomendações foram feitas a partir de análises do formato dos perfis radiais, assim como a superfície gerada na simulação da uniformidade de aplicação de água, realizada no item 3.5.

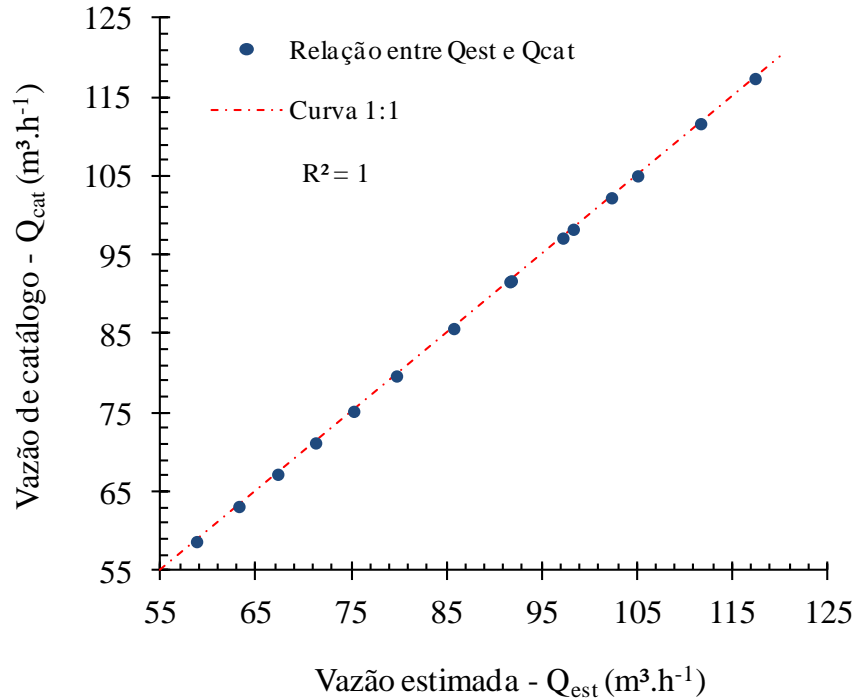
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ajuste das equações de vazão e raio de alcance

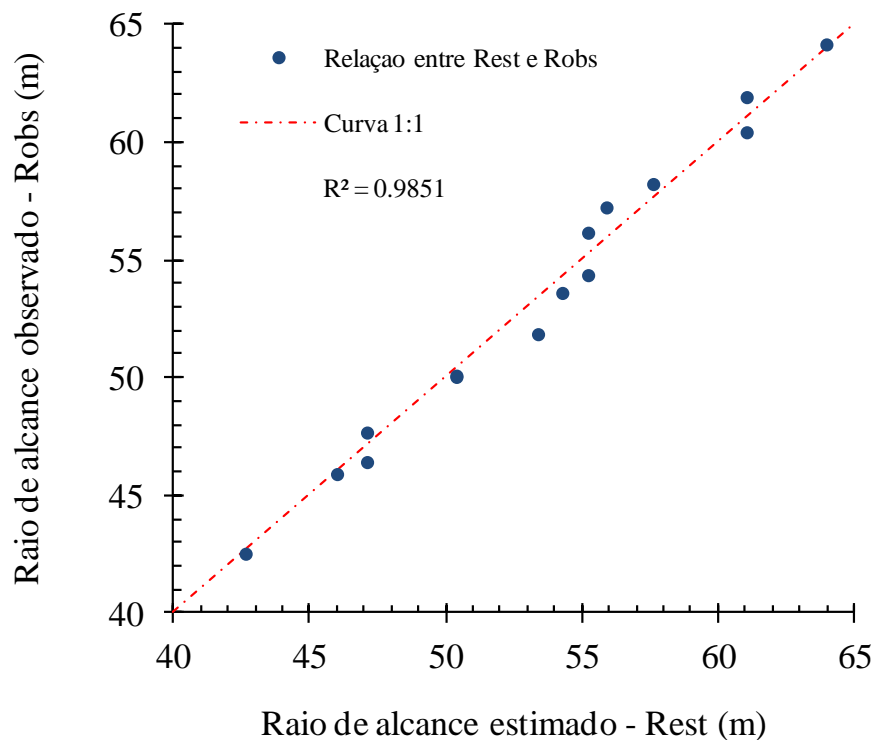
A relação entre os valores de vazão de catálogo e estimada pela equação 17, e a relação entre os valores de raio de alcance observado e estimado pela equação 18, podem ser observados nas figuras 7 e 8, respectivamente. Estas figuras mostram que os pares de valores de vazão e de raio de alcance estão bem ajustados em torno de uma reta 1:1, indicando bom ajuste das equações. As equações ajustadas de vazão ( $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$ ), equação 17, e raio de alcance (m), equação 18 apresentam altos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), reinteirando assim, a boa adequação ao modelo utilizado.

$$Q_{\text{est}} = 3,78 \times 10^{-3} \cdot b^2 \cdot P^{0,5} \quad (17)$$

$$R_{\text{est}} = 2,38 \times 10^{-1} \cdot b^{0,5} \cdot P^{0,6} \quad (18)$$

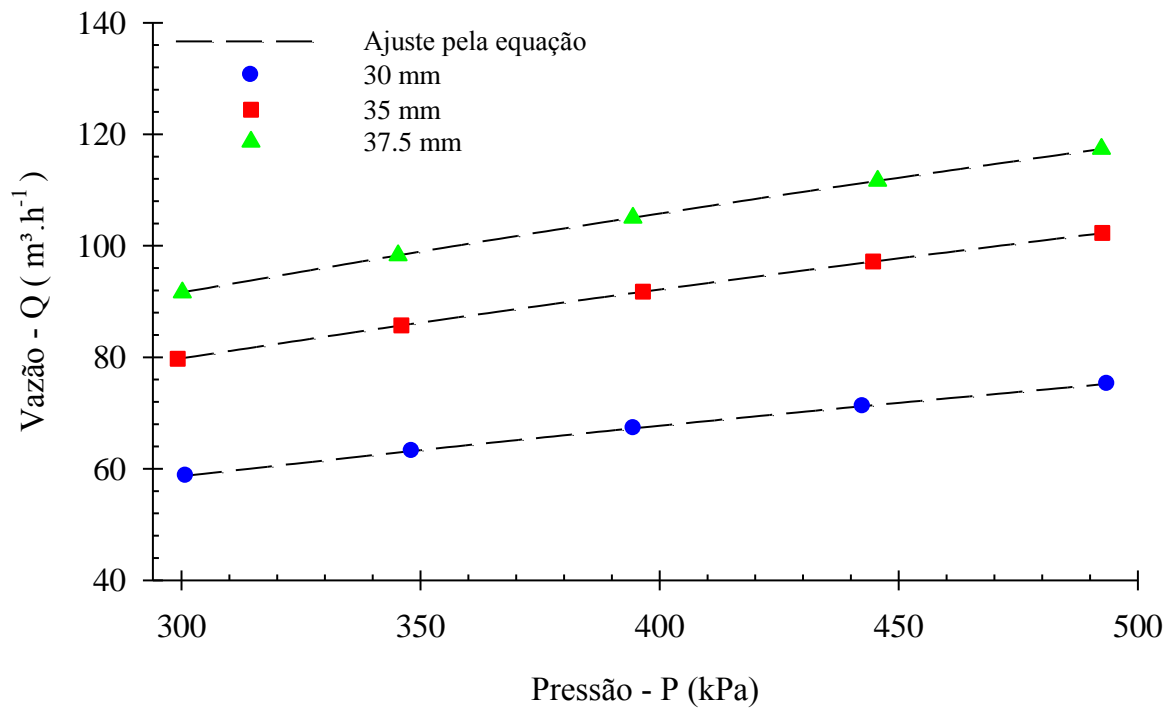


**Figura 7.** Valores de vazão de catálogo do aspersor Komet Twin 202 Pro ( $Q_{\text{cat}}$ ) versus valores de vazão estimados ( $Q_{\text{est}}$ ).

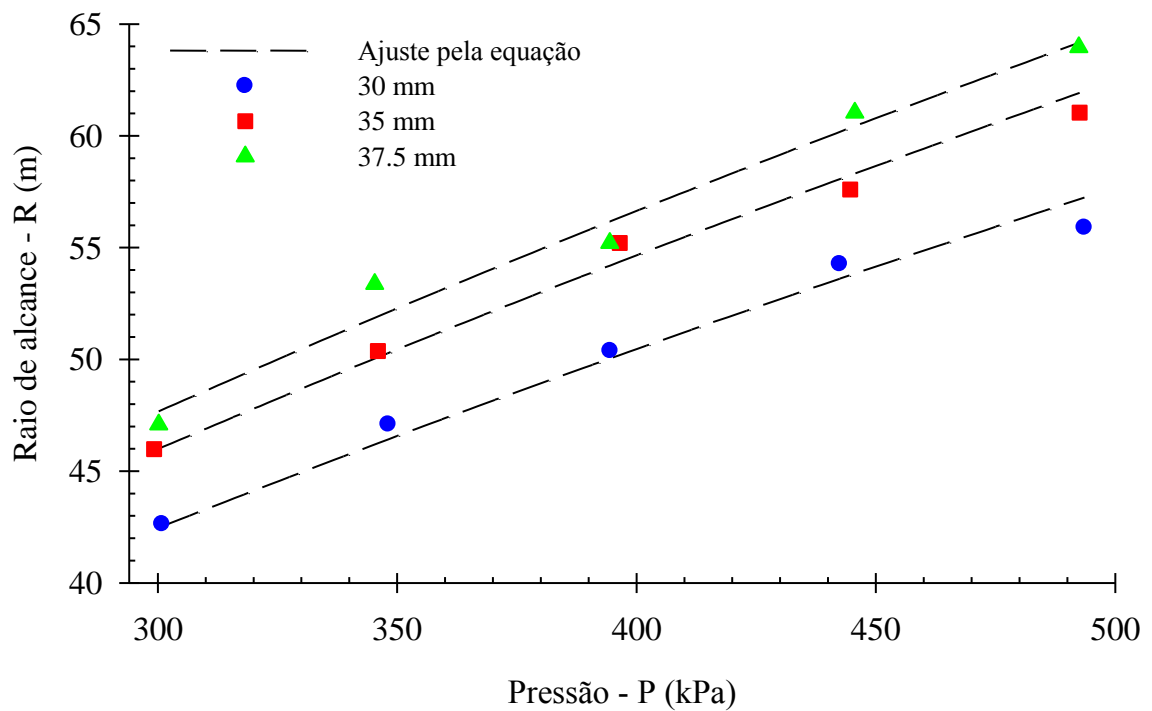


**Figura 8.** Valores de raio de alcance do canhão hidráulico obtidos em ensaios (Robs) *versus* valores de raio de alcance estimados (Rest).

As Figuras 9 e 10 representam, respectivamente, o comportamento da vazão e raio de alcance em função do diâmetro de bocal e da pressão de serviço do aspersor. Verifica-se uma característica típica de aspersores, em que o aumento da pressão de serviço acarreta no incremento na vazão e no raio de alcance. É possível notar que este comportamento se torna menos pronunciado ao longo das curvas, semelhante ao ocorrido em canhões hidráulicos avaliados por Prado & Colombo (2005) – Plona RL 250; e Prado et al. (2013) – Komet Twin 140 Plus. Nota-se também, que o aumento do diâmetro de bocal influencia em maior percentual na vazão. Em estudos conduzidos por Jiang Y et al. (2016), a vazão e o raio de alcance do aspersor PY<sub>15</sub> aumentou com incremento da pressão de serviço para todos os bocais testados.



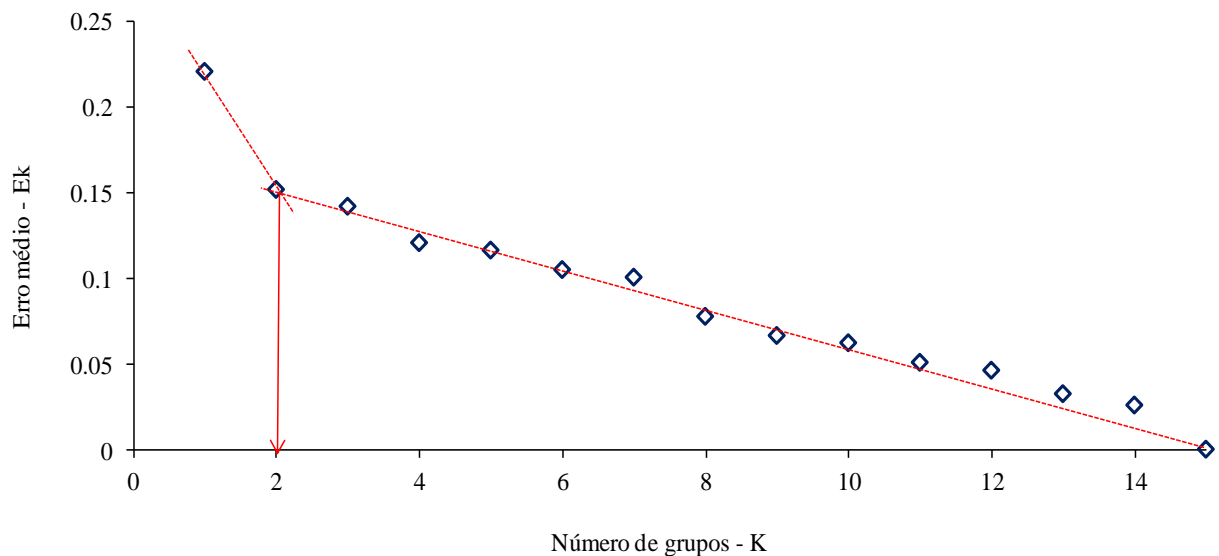
**Figura 9.** Vazão em função da carga de pressão para os diferentes bocais estudados.



**Figura 10.** Raio de alcance em função da carga de pressão para os diferentes bocais estudados.

## 4.2 Análise de agrupamento k-means

O erro médio ( $E_k$ ) varia, em estimativas adimensionais, em função do número  $K$  de perfis típicos considerados para o agrupamento. De acordo com a Figura 11, esse erro médio sofre uma redução gradual com o aumento do número de perfis  $K$ , a partir do agrupamento de dois grupos ( $K=2$ ). Na Tabela 3 estão apresentadas as recomendações de agrupamento dos perfis radiais observados, de acordo com o valor de  $K$  perfis típicos. Nota-se que existe uma coerência no comportamento dos agrupamentos, onde  $K = 2$  apresentou resultados mais satisfatórios para condições operacionais semelhantes esperadas. Contudo, a partir de  $K = 3$ , o perfil radial apresentado para o bocal de 30 mm com pressão de 294 kPa não se assemelha com nenhum outro perfil determinado. Os autores Solomon & Bezdek (1980) e Prado & Colombo (2005) também observaram exceções ao comportamento geral dos perfis analisados. Esses autores recomendam que, para estes casos seja levado em consideração o conjunto de resultados e não apenas a análise individual do perfil. Sendo assim, há uma alteração substancial no comportamento da curva entre  $K=2$  e  $K=3$ , justificando-se a adoção de dois perfis típicos.



**Figura 11.** Variação do erro médio ( $E_k$ ) na estimativa da intensidade adimensional de aplicação de água em função do número  $K$  de perfis típicos adotados no algoritmo *K-means*.

**Tabela 3.** Recomendações de agrupamento dos perfis radiais determinados para o aspersor Komet Twin 202 Pro, obtidos pelo algoritmo *K-means*.

Diâmetro do bocal (mm)	Carga de pressão (mca)	Número K de perfis típicos						
		1	2	3	4	5	6	15
<b>Perfil recomendado pelo algoritmo <i>K-means</i></b>								
30	30	1	1	1	1	1	1	1
30	35	1	1	2	2	2	2	2
30	40	1	2	3	3	3	3	3
30	45	1	2	3	4	4	4	4
30	50	1	2	3	4	5	5	5
35	30	1	1	2	2	2	6	6
35	35	1	1	2	2	2	2	7
35	40	1	2	3	3	5	5	8
35	45	1	2	3	3	3	3	9
35	50	1	2	3	3	5	5	10
37,5	30	1	1	2	2	2	6	11
37,5	35	1	1	2	2	2	6	12
37,5	40	1	1	3	3	3	3	13
37,5	45	1	2	3	3	3	3	14
37,5	50	1	2	3	3	5	5	15
<b>Desvio médio (<math>E_k</math>)</b>		0.220	0.152	0.142	0.120	0.116	0.105	0

Quando os 15 perfis adimensionais do aspersor Komet Twin 202 Pro são agrupados em dois conjuntos distintos, o valor do desvio médio é 0,152. Este é superior ao desvio médio de 0,116 encontrado por Solomon & Bezdek (1980) ao utilizarem três perfis típicos para representarem 42 perfis adimensionais do aspersor RainBird 103 Rain Gun; ao encontrado por Prado (2005) que, para 45 perfis adimensionais do aspersor PLONA-RL300, obteve um desvio de 0,147 para um agrupamento de  $K = 3$  e ao encontrado por Prado (2016), desvio de 0,119, utilizando três perfis típicos para representar 16 perfis adimensionais do aspersor Agropolo NY 30. Ainda, o desvio se mostrou menor que os encontrado por Oliveira (2008), onde se obteve desvio de 0,165 agrupando 160 perfis adimensionais em quatro perfis típicos ( $K = 4$ ), para o aspersor PLONA-RL250.

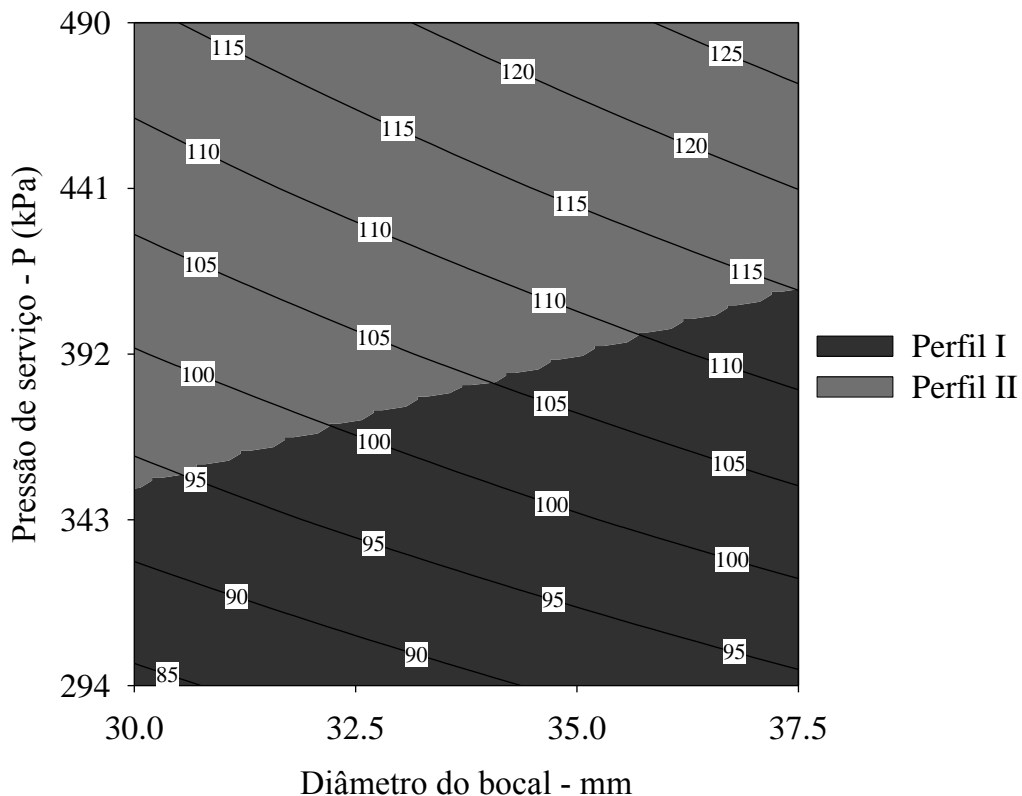
Utilizando dois conjuntos de perfis típicos, nota-se que para as diferentes condições de operações do aspersor Komet Twin 202 Pro, levantadas neste trabalho, os valores de intensidade de aplicação estão entre 1,7 a 21,1  $\text{mm.h}^{-1}$ . Sendo assim, pode-se dizer que o desvio médio obtido tem um valor dimensional variando entre 0,26 a 3,21  $\text{mm.h}^{-1}$ . Portanto, agrupando os 15 perfis ensaiados em dois perfis típicos, é possível estabelecer uma



satisfatória relação entre as condições operacionais, de acordo com geometria assumida pelo perfil radial de aplicação de cada um dos quatro grupos.

Na Figura 12 estão representadas as regiões de ocorrência (I e II) dos 15 perfis, de acordo com as condições operacionais do aspersor Komet Twin 202 Pro, que determinam diferentes níveis de pulverização do jato de água. As regiões foram atribuídas pela análise de agrupamento, quando se considerou  $K = 2$ . Ainda, estão representados os diâmetros molhado (D em m) de cada combinação de diâmetro de bocal e carga de pressão.

A região compreendida pelo Perfil I corresponde às combinações das menores pressões (294 e 343 kPa) para os três bocais avaliados, e ainda para a pressão de 392 kPa e bocal de 37,5mm; essa região indica menos pulverização do jato de água. O grupo do Perfil II tem sua ocorrência concentrada na faixa de pressão entre 441 até 490 kPa para os dois menores bocais analisados (30 e 35 mm), e ainda o perfil correspondente à pressão de 392 kPa para os bocais de 30 e 35 mm. Esta região é considerada mais adequada para trabalhar com o aspersor Komet Twin 202 Pro.



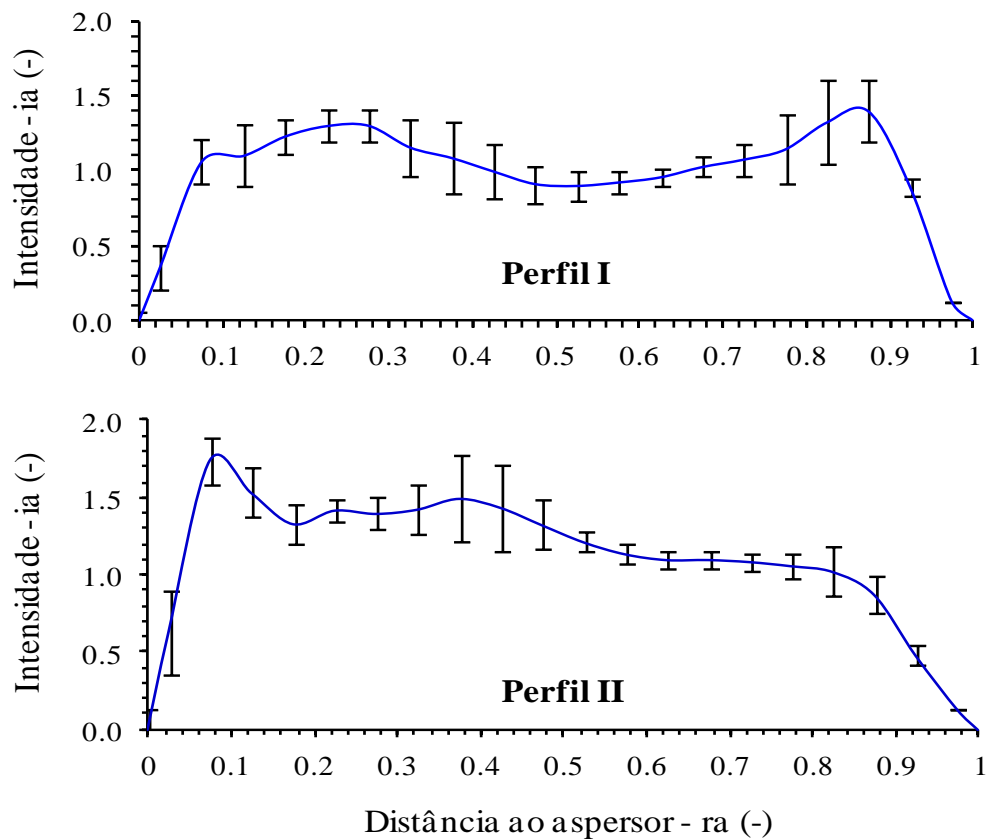
**Figura 12.** Grupo característico (I e II) correspondente às diferentes combinações de pressão de serviço e diâmetro dos bocais do aspersor Komet Twin 2020 Pro.

Na Figura 13 são apresentadas as duas formas geométricas típicas dos perfis adimensionais que representam os dois grupos adotados anteriormente, e confirmam as associações entre agrupamento e grau de pulverização do jato de água do aspersor. As barras representam os desvios médios do agrupamento de perfis semelhantes.

De acordo com os perfis típicos apresentados é possível observar que: i) o Perfil I é típico de aspersores que trabalham com baixa pressão de serviço, em relação ao tamanho do bocal utilizado, e ainda se assemelham com o perfil E (“*doughnut*”) de Christiansen (1942; pag 96); ii) o Perfil II possui características do perfil D de Christiansen, o qual é obtido por aspersores de bocal único, trabalhando em adequadas condições de pressão de serviço, recomendadas para o bocal utilizado.

Nota-se a formação de uma elevação na região entre 35% a 45% do raio de alcance do Perfil II. Essa elevação fica mais evidente, uma vez que as condições operacionais do mesmo se dão por menor bocal e maior pressão de serviço. Ou seja, a ocorrência da elevação na região mencionada se dá pela alta redução no tamanho de gotas, as quais podem ter sofrido influência do impacto do balanço que provoca o movimento do aspersor.

O acúmulo de água nas extremidades dos perfis vão se dispersando com o aumento da pressão de serviço, ficando mais uniforme em pressões mais adequadas de trabalho. Essa relação também foi observada por Oliveira (2008), em estudos realizados com o aspersor PLONA-RL250. Em estudos conduzidos por M.Ge et al. (2018) houve acúmulo de precipitação na extremidade final do perfil de baixa pressão, sendo mais acentuados no que apresentou pressão de serviço mais baixa.



**Figura 13.** Perfis típicos encontrados pela análise de agrupamento para o aspersor Komet Twin 202 Pro.

#### 4.3 Avaliação da uniformidade dos perfis típicos

Na Figura 14 são apresentados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para os perfis típicos I e II, em função da combinação de diferentes ângulos de giro e espaçamento entre carregadores (quantificados em porcentagem do diâmetro molhado - %DM). Esses coeficientes foram obtidos pelo aplicativo computacional *Simulasoft 5.0*, desenvolvido por Prado (2004), que estima a uniformidade de aplicação de água em sistemas autopropelidos de irrigação; que neste caso, representou uma condição de velocidade nula do vento, e carregadores com velocidade linear constante de  $50 \text{ m.h}^{-1}$ .

Para o perfil típico I, os melhores valores do coeficiente de uniformidade estão situados na região abaixo de 45% do diâmetro molhado, com valores de CUC acima de 90%. Verifica-se também, que para um espaçamento de 85 a 95% do diâmetro molhado, existe uma região de CUC acima de 90%, compreendida entre ângulos de giro de 210 a 300°. O perfil I também apresenta valores de CUC acima de 75% na faixa acima de 90% do diâmetro molhado, para ângulos de giro entre 180 e 360°. Porém, verifica-se uma acentuada redução do

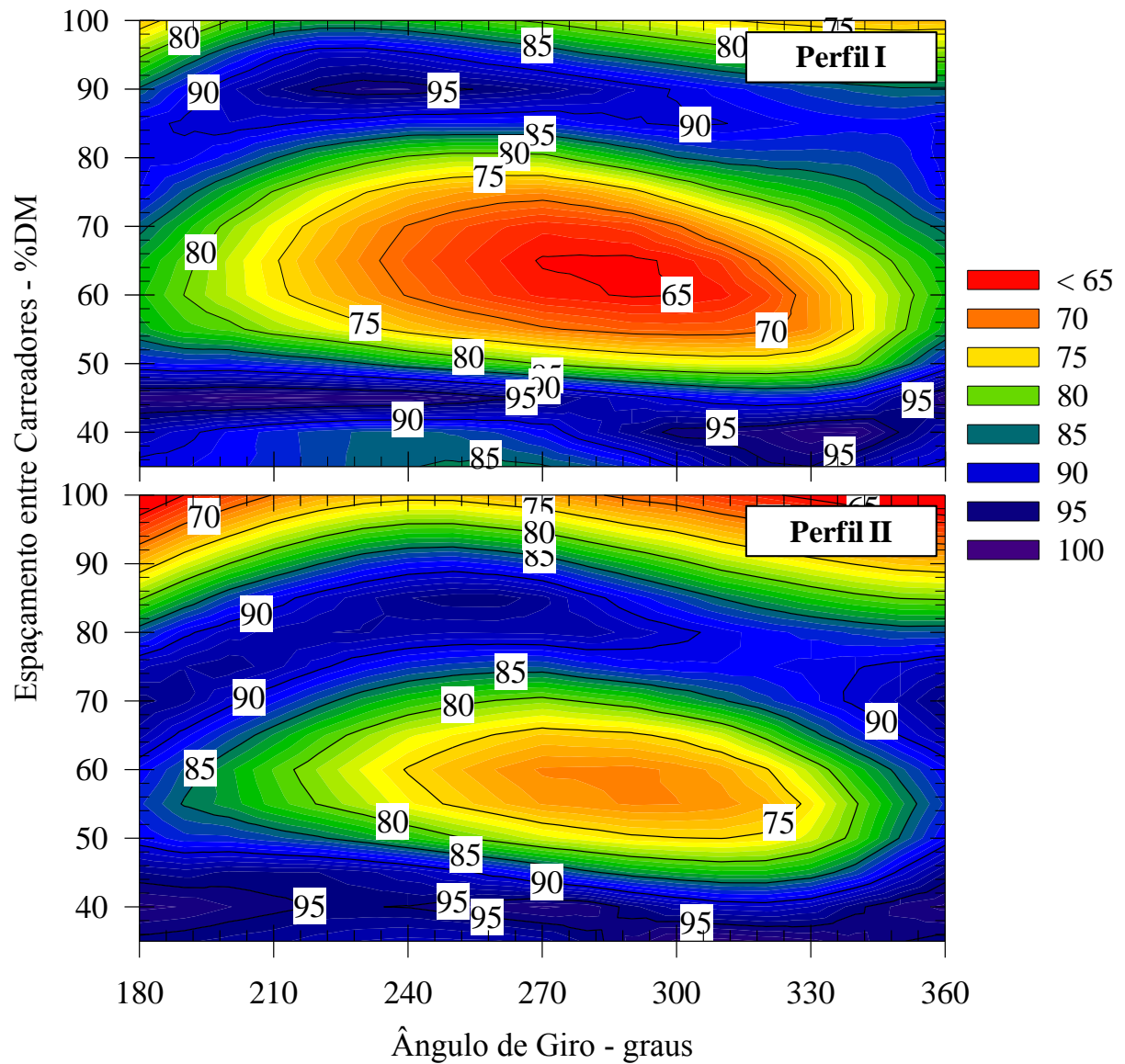
CUC na região que compreende 50 a 75% do diâmetro molhado, com ângulos de giro de 210 a 330°.

No caso do perfil típico II, os melhores valores de CUC estão na região entre 35 e 45% do diâmetro molhado, para ângulos de giro entre 180 a 360°; e ainda entre 65 a 75% com ângulo de giro de 350 a 360°. Nota-se ainda uma redução do CUC em espaçamentos superiores a 92% do diâmetro molhado, e na região compreendida pelos espaçamentos de 50 a 65% do diâmetro molhado, com ângulo de giro variando de 240 até 320°.

De modo geral, os resultados obtidos para o aspersor Komet Twin 202 Pro, quanto ao espaçamento do diâmetro molhado, confirmam o sugerido em literatura (Keller & Bliesner, 1990 e Bernardo, 2011), que recomendam boa uniformidade na faixa de 80% do diâmetro molhado. Na faixa entre 40 e 45 % do diâmetro molhado, os perfis sofrem pouca influência do ângulo de giro do aspersor.

Assim como observado por Prado et al. (2012), existe uma região em que o coeficiente de uniformidade reduz consideravelmente; com ângulos de giro entre 230 e 330°, e espaçamento entre 50 e 70% do diâmetro molhado. Para valores de 100% do DM, observa-se que também ocorre uma redução do coeficiente de uniformidade de forma significativa; confirmando ser necessária uma sobreposição de jatos de aplicação de água em sistemas autopropelidos, para que se possa alcançar maiores uniformidades, assim como recomendado por Bastos et al. (2014),

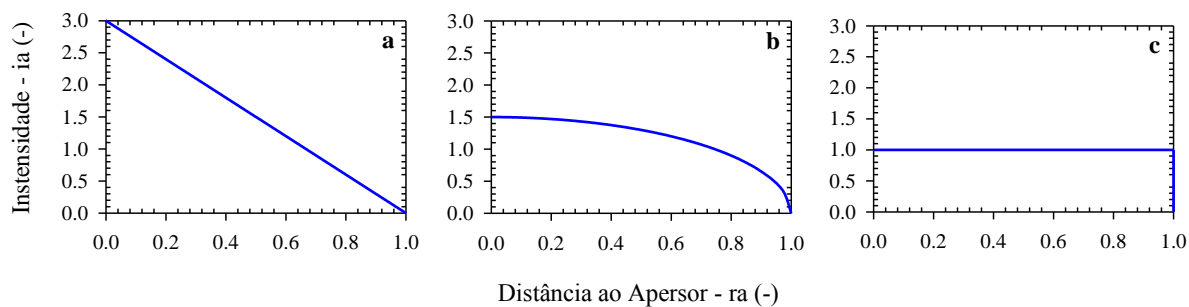
Para o ângulo de giro de 210°, as uniformidades dos dois perfis típicos sugeridos para o aspersor Komet Twin 202 Pro, apresentaram semelhança com os valores encontrados por Cunha et al. (2017) estudando o mesmo aspersor. Apesar das recomendações de Rocha et al. (2005) sobre ângulo de giro, o aspersor Komet Twin 202 Pro apresentou boa uniformidade para o ângulo de giro de 270°, considerando o espaçamento entre carreadores de 80%. Porém, observou-se uma superioridade no desempenho obtido com os ângulos de giro entre 180 e 240° e entre 330 e 360°, assim como recomendam Prado & Colombo (2007).



**Figura 14.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen em função do espaçamento entre carreadores e ângulo de giro do aspersor para os perfis típicos encontrados no estudo.

#### 4.4 Avaliação da uniformidade dos perfis radiais geométricos teóricos

Os perfis radiais teóricos gerados a partir dos valores adimensionais de vazão e raio de alcance do perfil típico I, em condições unitárias, obtidos para as simulações estão representados na Figura 15.

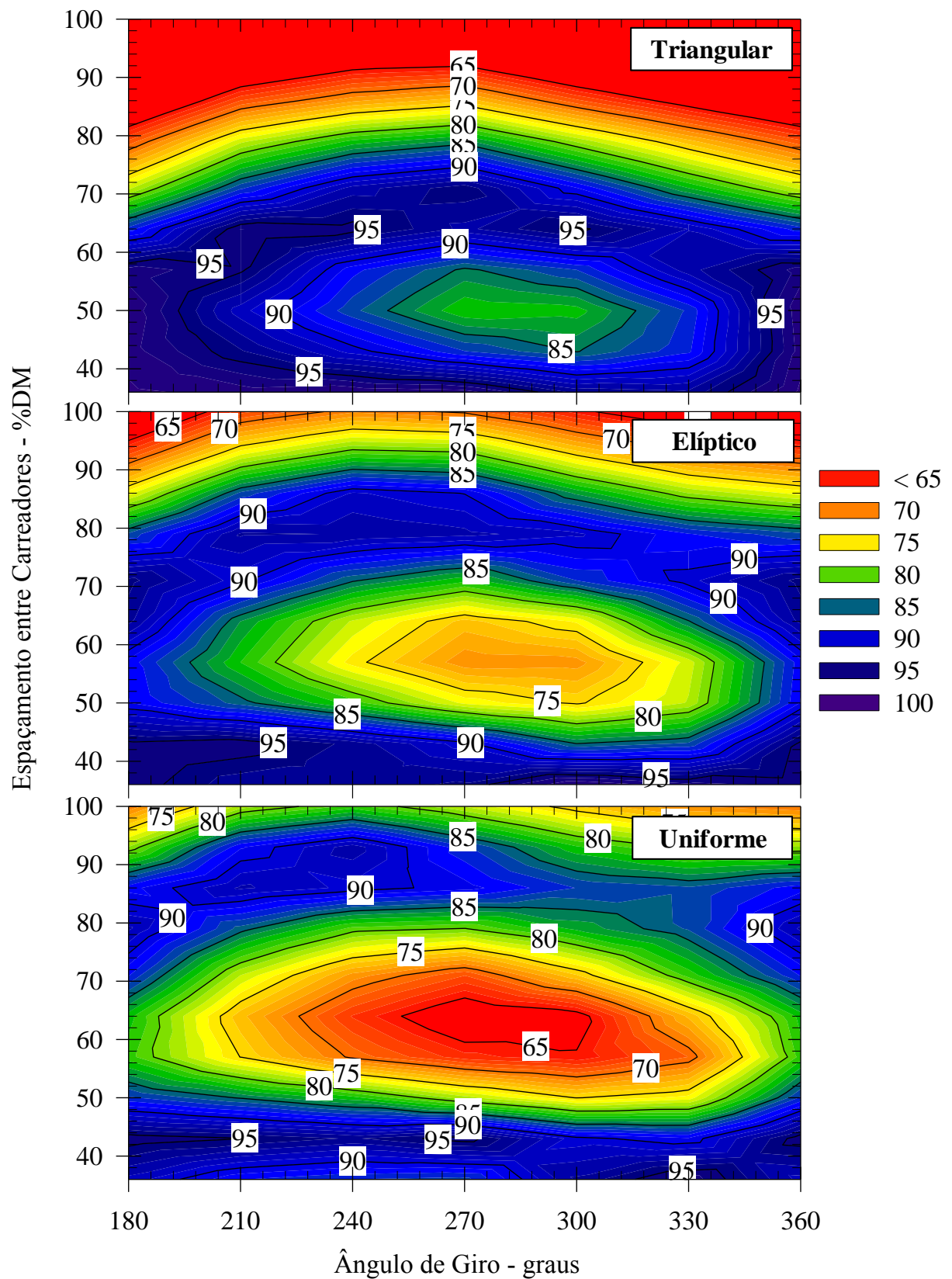


**Figura 15.** Perfis radiais de distribuição de água com geometrias triangular (a), elíptica (b) e uniforme (c).

Na Figura 16 são apresentados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para a faixa de espaçamento entre carregadores variando de 36 a 100% do diâmetro molhado (%DM), e ângulo de giro entre 180 a 360°, com variação de 30°. Como esperado, e também verificado por Prado et al. (2012), o perfil geométrico triangular apresentou baixa uniformidade para espaçamentos superiores a 80% do diâmetro molhado. Para este mesmo espaçamento, como sugerido na literatura por Keller & Bliesner (1990; p.286), os valores de CUC encontrado para os perfis retangular e elíptico, são classificados como bom de acordo com a literatura de Mantovani et al (2009), pois se mostram superiores a 80%.

Analisando a Figura 16b, percebe-se que o perfil elíptico possui alto CUC na faixa de 75 a 80% do diâmetro molhado para ângulos próximos a 270°, apesar de Prado et al. (2012) afirmarem, para as três formas geométricas assumidas (triangular, elíptico e uniforme), que os ângulos de giro próximos a 270° proporcionam baixos valores de CUC.

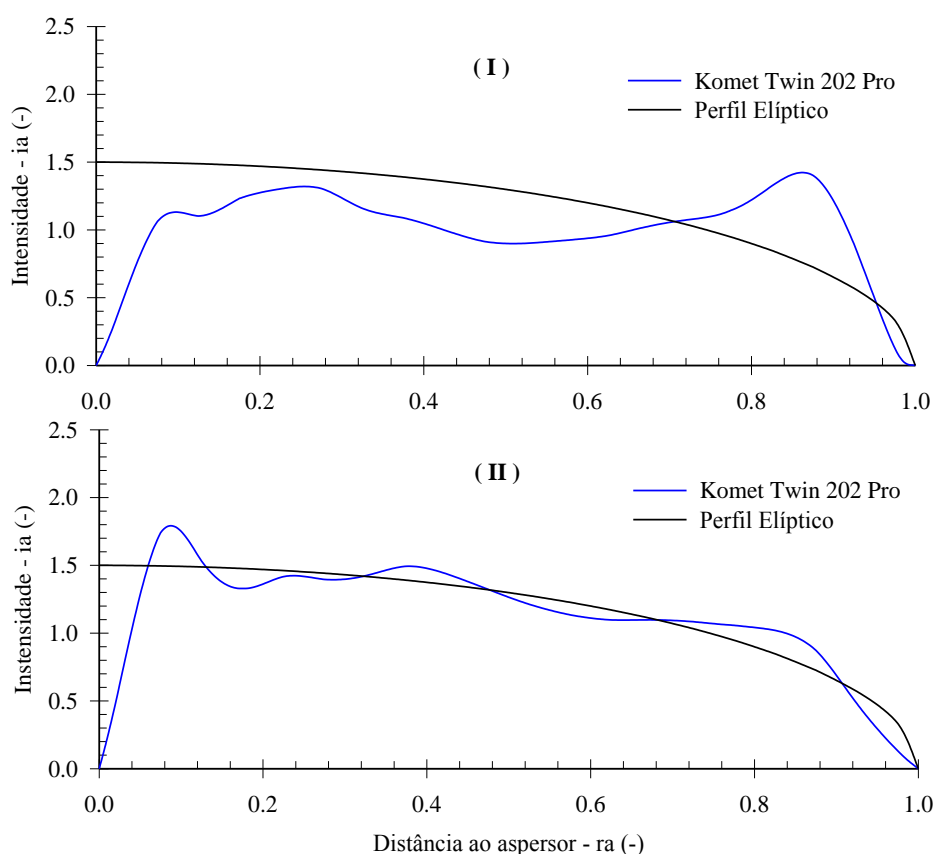
Pode-se observar que a distribuição da uniformidade de aplicação de água do Perfil II do aspersor Komet Twin 202 Pro (Figura 14 – Perfil II) se assemelha à distribuição proporcionada pelo perfil teórico elíptico (Figura 16b). Isso confirma a boa adequação das condições operacionais de pressão de serviço deste perfil típico, assim como sugerem Tarjuelo (2005) e Prado & Colombo (2007).



**Figura 16.** Coeficiente de uniformidade de Christiansen em função do espaçamento entre carreadores e do ângulo de giro endo aspessor para os perfis típicos (a) triangular; (b) elíptico; e, (c) uniforme.

#### 4.5 Recomendações de uso do aspersor Komet Twin 202 Pro

Na Figura 17 é apresentado um comportamento semelhante entre os dois perfis típicos de distribuição de água adotados para o aspersor Komet Twin 202 Pro e o perfil teórico de geometria elíptica. Nota-se pela Figura 17 (I) que para casos de baixa pressão, onde ocorre pico de aplicação de água na extremidade final do perfil, a geometria do perfil não foi bem ajustada à forma elíptica. O mesmo não ocorre para a Figura 17 (II), onde o formato do perfil é muito semelhante ao perfil elíptico. Isso nos assegura que o aspersor Komet Twin 202 Pro, em condições adequadas de pulverização do jato (Perfil II), apresenta perfil radial com forma geométrica que tende ao perfil elíptico. Prado et al. (2007) e Prado et al. (2013) também observaram comportamento semelhante ao avaliarem os aspersores Plona RL400 e Komet Twin 140 Plus, respectivamente.



**Figura 17.** Comparação entre os perfis do aspersor Komet Twin 202 Pro, de baixa pulverização (I) e adequada pulverização (II), e o perfil teórico de geometria elíptica.

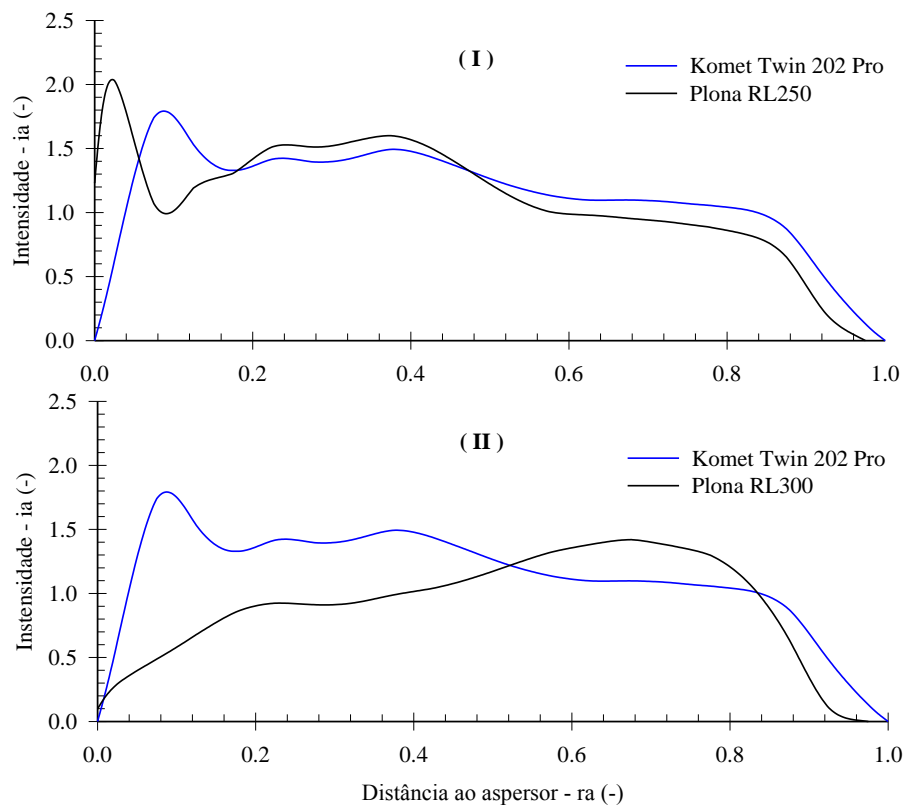
Na Figura 18 o perfil que representa as condições de adequada pulverização do aspersor Komet Twin 202Pro é comparado com perfis dos aspersores Plona RL250 (Figura



18-I) e Plona RL300 (Figura 18-II), determinados por Oliveira (2008) e Prado & Colombo (2005), respectivamente. Observa-se na Figura 18 (I) que os formatos dos perfis são semelhantes. Prado et al. (2012) ao analisarem o aspersor Plona RL250, sugerem que o perfil apresentado por este aspersor tendem ao formato elíptico. Com isso, se confirma a semelhança na aplicação de água com o aspersor Komet Twin 202 Pro.

Nota-se pela Figura 18 (II) que, ao se comparar o aspersor Komet Twin 202 Pro com o aspersor Plona RL300 (Prado & Colombo, 2005), esses não apresentam semelhança em seus formatos. Estes autores afirmam que o formato irregular dos perfis analisados para o aspersor Plona RL300 difere dos formatos geométricos clássicos. M.Ge et al. (2018) também encontraram perfis que não se assemelham às formas geométricas clássicas, ao analisarem o aspersor 50-PYC.

Isso reforça a necessidade em haver o conhecimento dos perfis de distribuição de água específicos de cada aspersor, para que sejam feitas recomendações mais seguras para suas utilizações. Sendo assim, é recomendado para o aspersor Komet Twin 202 Pro trabalhar na região de ocorrência do perfil típico que melhor se ajusta ao perfil elíptico (adequada pulverização).



**Figura 18.** Comparação entre o perfil de adequada pulverização do aspersor Komet Twin 202 Pro e perfis dos aspersores Plona RL250 (I) e Plona RL300 (II).

## 5 CONCLUSÕES

O aspersor Komet Twin 202 Pro apresenta dois perfis geométricos típicos que possibilitam a tomada de decisão adequada para operações, quanto à escolha das diferentes combinações de bocal e pressão de serviço. Esses perfis típicos expressam bem as condições de grau de pulverização do jato de água.

Nas condições de ausência de vento, espaçamentos maiores que 90% não são recomendados para o perfil típico que apresentou adequada pulverização. Assim como, para o perfil típico que apresentam baixa pulverização, é inviável trabalhar com espaçamentos entre 55 e 75% do diâmetro molhado, para ângulos entre 220 e 340°.

Para todos os perfis adimensionais analisados foi observado que o grau de influência do ângulo setorial de trabalho do aspersor em deslocamento linear, depende do espaçamento entre carreadores considerados. De uma forma geral, foi observado que ângulos de giro menores que 240° e maiores que 330° proporcionam maiores valores de CUC.

As diferenças observadas neste estudo, entre os perfis adimensionais do Komet Twin 202 operando em diferentes combinações de bocal e pressão de serviço, e mesmo, entre os perfis geométricos triangular, uniforme e elíptico, ou de outros canhões disponíveis no mercado, reforçam a necessidade da realização de ensaios de campo para determinação das características do perfil radial de distribuição de água dos diferentes modelos de canhões disponíveis no mercado.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017 A. 86p.

ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017 B. 31p.

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.4, n.2, p.152-158, maio/ago. 2000.

BASTOS, A. V. S.; OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F.; BASTOS, F. J. C.; TEIXEIRA, M. B. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. Irriga, Edição Especial 01, p. 94-103, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 2011. 625 p.

BITTINGER, Morton W.; LONGENBAUGH, Robert A. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. 1962.

BRENNAN, M. S.; NARASIMHA, M.; HOLTHAM, P. N.; Multiphase modelling of hydrocyclones. Prediction of cut-size. Minerals Engineering, Porto, Portugal, v. 20, p. 395-406, 2007.

CAMARGO, A. P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; PINTO, M. F.; FRIZZONE, J. A. Aplicação WEB para processamento de dados do ensaio de distribuição radial de aspersores. II INOVAGRI International Meeting. Fortaleza - CE, 2014.

CARVALHO, J. A.; OLIVEIRA, L. F. C. de. Instalações de bombeamento para irrigação: hidráulica e consumo de energia. 2º ed. rev. e amp. Lavras: UFLA, 2014. 429 p

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 124p. Bulletin, 670

- CUNHA, F. N. et al. Correlação da uniformidade da lâmina d'água de um autopropelido sob lançamento oblíquo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 3, p. 1500, 2017.
- FARIA, L. C. Simulação da uniformidade de aplicação de água em sistemas convencionais de irrigação operando sob diferentes condições de vento. Lavras: UFLA, 2008, 76p. Dissertação Mestrado.
- FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E.; PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. *Engenharia Agrícola*, v.29, p.19-27, 2009.
- FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L DE. Irrigação por aspersão. Maringá: EDUEM, 2011. 271p.
- GE, Maosheng et al. Construction and application of mobile spraying uniformity model of hard hose traveler. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 32, n. 11, p. 130-137, 2016.
- GE, Maosheng et al. Analysis of kinetic energy distribution of big gun sprinkler applied to continuous moving hose-drawn traveler. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 118-132, 2018.
- HART, W. E.; REYNOLDS, W. N. Analytical design of sprinkler systems. *Transactions of the ASAE*, v. 8, n. 1, p. 83-0085, 1965.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 8224-1: traveler irrigation machines: part 1: operational characteristics and laboratory and field test methods. Switzerland, 2004. 36p.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 15886-3 – Agricultural irrigation equipment – sprinklers – part 3- Characterization os distribution and test methods, 2012.
- JIANG Y, CHEN C, LI H, XIANG Q J. Influences of nozzle parameters and low-pressure on jet breakup and droplet characteristics. **Int J Agric & Biol Eng**, 2016; 9(4): 22–32.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.

KOECH, R. et al. Intercomparison testing and evaluation of sprinklers within the INITL. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 142, n. 2, p. 04015048, 2016.

LI, J. Sprinkler performance as function of nozzle geometrical parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.122, n.4, p. 244-247, July/Aug. 1996.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. *Irrigação Princípios e Métodos*. 2 ed. Viçosa: UFV, 2009. 318 p.

MATSURA, E., E.; TESTEZLAF, R. Autopropelido. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. *Irrigação*. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p 179-207.

MOLLE, B.; GAT, Y. L. Model of water applications under pivot sprinkler. II Calibrations and results. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.126, p.348-354, 2000.

NEWELL, G. F.; FOLEY, J.; SMITH, R. TRAVGUN-Travelling Gun Simulation model user's manual: Version 1.1. **TRAVGUN-Travelling Gun Simulation model user's manual: Version 1.1**, 2003.

OLIVEIRA, H. F. E.; COLOMBO, A.; FARIA, L. C.; PRADO, G. Efeitos da velocidade e da direção do vento na uniformidade de aplicação de água de sistemas autopropelidos. *Revista de Engenharia*, v.32, p.669-678, 2012.

PRADO, G. Aplicativo computacional para simulações da distribuição de água pelo aspersor PLONA-RL300 em sistemas autopropelidos de irrigação. Lavras: UFLA, 2004, 86p. Dissertação Mestrado.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. *Irriga*, v.10, p.53-63, 2005.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONA-RL250 em sistemas autopropelidos de irrigação. *Irriga*, Botucatu, SP. v.12, p.249-262, 2007.

PRADO, G.; COLOMBO, A; BIAGIONI, P. F. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONA-RL400 em sistemas autopropelidos de irrigação. *Revista de Engenharia*, v.27, p.346-353, 2007.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Distribuição espacial da água aplicada por equipamentos autopropelidos de irrigação - Parte I: Modelagem com o Simulasoft. *Irriga*, Botucatu v.15, p.51-62, 2010.

PRADO, G.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H.F.E.; FARIA, L.C. Uniformidade de aplicação de água de equipamentos autopropelidos de irrigação com aspersores de perfil radial triangular, elíptico e retangular. *Engenharia Agrícola*, v.32, n.3, p.522-529, 2012.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de distribuição de água de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, p.355-361, 2013.

PRADO, G. et al. Efeito do ângulo do jato nas características técnicas de um canhão hidráulico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 7, 2013.

PRADO, G. Water distribution from medium-size sprinkler in solid sei sprinkler systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEE/UFCG. v.20, n.3, p.195-201, 2016.

RICHARDS, P. J.; WEATHERHEAD, E. K. Prediction of raingun application patterns in windy conditions. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 54, n. 4, p. 281-291, 1993.

ROCHA, A. F. Desempenho de um equipamento de irrigação autopropelido em condições de campo. 2000. 80 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação de Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

ROCHA, Felizardo Adenilson et al. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. **Irriga**, v. 10, n. 1, p. 96-106, 2005.

ROCHA, F.A.; PEREIRA, G.M.; ROCHA, F.S.; SILVA, J.O. Análise da uniformidade de distribuição de água de um equipamento autopropelido. *Irriga*, Botucatu, SP. v.10, n.1, p.96-106, 2005.

ROCHESTER, Eugene W. Initial delay requirements in traveler irrigation. **TRANSACTIONS of the ASAE**, v. 26, n. 1, p. 137-0140, 1983.

ROCHESTER, E. W.; HACKWELL, S. G.; YOO, K. H. Pressure vs. flow control in traveler irrigation evaluation. **Transactions of the ASAE**, v. 32, n. 6, p. 2029-2034, 1989.

ROLIM, J.; PEREIRA, L.S.. Design and evaluation of traveling-gun system: the simulation model TRAVGUN. EFITA/WCCA JOINT CONGRESS ON IT IN AGRICULTURE, 2005, Vila Real, p. 166-171.

SEGINER, I.; KANTZ, D.; NIR, D.; BERNUTH, R. D. von. Indoor measurement of single-radius sprinkler patterns. *Transactions of the American society of Agricultural Engineers*, v.35, p.523-533, 1992.

SOLOMON, K.; BEZDEK, J. C. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, v.23, p.899- 906, 1980.

TARJUELO, J. M; MONTEIRO, J.; CARRIÓN, P. A.; HONRUBIA, F. T.; CALVO, M. A. Irrigation uniformity with medium size sprinkler part II: Influence of wind and other factors on water distribution. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, St. Joseph, v.42, n.3, p.677-689, May/June 1999.

TARJUELO, J. M. *El Riego por Aspersión y su Tecnología*. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 2005. 581p.

VELLAME, L.M.; SOUZA, W.J.; ARMINDO, R.A.; COELHO, R.D. determinação do perfil radial e da uniformidade do aspersor modelo komet 140 plus operado em sistema autopropelido. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.5, nº. 2, p.105–112, 2011

## ANEXOS

<b>Tabela 1A.</b> Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 30 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	55
<b>Tabela 2A.</b> Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 35 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	56
<b>Tabela 3A.</b> Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 37,5 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	57
<b>Tabela 4A.</b> Valores de vazão, raio de alcance e ocorrência dos perfis típicos (I e II), em função das combinações de diâmetro de bocal e pressão de serviço para o aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	58
<b>Tabela 5A.</b> Catálogo comercial do aspersor Komet Twin 202 Pro. ....	59



**Tabela 1A.** Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 30 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro.

Fração do raio de alcance - r (-)	Fração da intensidade média - i (-)				
	294 kPa	343 kPa	392 kPa	441 kPa	490 kPa
0.025	0.336	0.343	0.431	0.477	0.552
0.075	1.007	1.029	1.293	1.431	1.656
0.125	1.112	1.123	1.412	1.239	1.528
0.175	1.618	1.309	1.206	1.097	1.354
0.225	1.390	1.365	1.260	1.224	1.385
0.275	1.500	1.288	1.351	1.453	1.441
0.325	1.336	1.132	1.265	1.476	1.466
0.375	1.234	1.142	1.441	1.615	1.617
0.425	1.129	1.073	1.365	1.977	1.755
0.475	1.077	0.994	1.390	1.943	1.499
0.525	1.055	1.030	1.236	1.562	1.316
0.575	1.026	1.029	1.191	1.264	1.131
0.625	1.020	1.095	1.110	1.076	1.087
0.675	0.976	1.160	1.176	1.055	1.078
0.725	0.970	1.206	1.173	1.063	1.088
0.775	0.927	1.211	1.144	1.018	1.070
0.825	1.058	1.255	1.053	0.895	0.875
0.875	1.089	1.151	0.923	0.551	0.666
0.925	1.023	0.663	0.438	0.260	0.364
0.975	0.175	0.071	0.065	0.108	0.169

**Tabela 2A.** Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 35 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro.

Fração do raio de alcance - r (-)	Fração da intensidade média - i (-)				
	294 kPa	343 kPa	392 kPa	441 kPa	490 kPa
0.025	0.318	0.375	0.569	0.700	0.782
0.075	0.953	1.126	1.706	2.101	2.099
0.125	0.991	1.308	1.527	1.763	1.664
0.175	1.211	1.301	1.332	1.540	1.450
0.225	1.234	1.417	1.524	1.600	1.498
0.275	1.292	1.354	1.535	1.326	1.382
0.325	1.025	1.160	1.507	1.230	1.489
0.375	0.851	1.099	1.457	1.181	1.414
0.425	0.793	0.992	1.431	1.049	1.312
0.475	0.784	0.885	1.330	1.049	1.164
0.525	0.783	0.907	1.215	1.093	1.132
0.575	0.864	0.932	1.067	1.094	1.171
0.625	0.901	0.972	0.973	1.152	1.195
0.675	1.047	1.016	1.015	1.130	1.159
0.725	1.040	1.064	0.971	1.074	1.124
0.775	1.112	1.185	0.956	1.099	1.068
0.825	1.299	1.244	1.085	1.074	1.032
0.875	1.540	1.462	0.976	0.987	0.942
0.925	1.347	0.774	0.634	0.618	0.414
0.975	0.185	0.098	0.190	0.232	0.116

**Tabela 3A.** Representação da fração da intensidade de aplicação de água em função da fração do raio de alcance para o bocal de 37,5 mm do aspersor Komet Twin 202 Pro.

Fração do raio de alcance - r (-)	Fração da intensidade média - i (-)				
	294 kPa	343 kPa	392 kPa	441 kPa	490 kPa
0.025	0.272	0.393	0.446	0.697	0.767
0.075	0.815	1.179	1.337	1.822	1.819
0.125	0.834	1.221	1.129	1.658	1.459
0.175	1.049	1.208	0.930	1.518	1.143
0.225	1.187	1.415	1.109	1.489	1.355
0.275	1.204	1.344	1.157	1.402	1.277
0.325	1.039	1.145	1.277	1.450	1.503
0.375	0.853	1.010	1.432	1.447	1.773
0.425	0.727	0.819	1.456	1.198	1.394
0.475	0.678	0.769	1.208	0.989	1.217
0.525	0.737	0.779	1.015	1.001	1.147
0.575	0.764	0.836	1.017	1.051	1.109
0.625	0.881	0.863	0.975	1.059	1.127
0.675	0.993	0.967	1.030	1.057	1.114
0.725	1.042	1.125	1.093	1.087	1.097
0.775	1.284	1.182	1.110	1.073	1.035
0.825	1.794	1.481	1.148	1.109	1.044
0.875	1.744	1.769	1.063	1.005	0.934
0.925	0.762	0.797	0.915	0.566	0.548
0.975	0.212	0.052	0.096	0.134	0.036

**Tabela 4A.** Valores de vazão, raio de alcance e ocorrência dos perfis típicos (I e II), em função das combinações de diâmetro de bocal e pressão de serviço para o aspersor Komet Twin 202 Pro.

Pressão (kPa)	Diâmetro do Bocal (mm)								
	30			35			37,5		
	R (m)	Q (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Perfil	R (m)	Q (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Perfil	R (m)	Q (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Perfil
294	42.63	58.65	I	45.99	79.83	I	47.1	91.6	I
343	47.09	63.35	I	50.37	86.22	I	53.4	99.0	I
392	50.37	67.72	II	55.21	92.18	II	55.2	105.6	I
441	54.26	71.83	II	57.60	97.77	II	61.0	112.2	II
490	55.89	75.72	II	61.04	103.06	II	64.0	118.3	II

Tabela 5A. Catálogo comercial do aspersor Komet Twin 202 Pro.

Presión Pressão		Boquilla cônica / Bocal cônico Trayectoria / Trajetória de 24°																									
		Boquilla / Bocal 20 mm - 0.79"			Boquilla / Bocal 22,5 mm - 0.89"			Boquilla / Bocal 25 mm - 0.98"			Boquilla / Bocal 27,5 mm - 1.08"			Boquilla / Bocal 30 mm - 1.18"			Boquilla / Bocal 32,5 mm - 1.28"			Boquilla / Bocal 35 mm - 1.38"			Boquilla / Bocal 37,5 mm - 1.48"			Boquilla / Bocal 40 mm - 1.58"	
bar	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio	Caudal Vazão		Radio Raio
	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m	m³/h	l/s	m
3,0	26,07	7,24	37,2	32,99	9,16	38,9	40,73	11,31	41,5	49,28	13,69	43,5	58,65	16,29	45,7	68,83	19,12	47,5	79,83	22,17	49,5	91,64	25,46	50,7	104,27	28,96	52,3
3,5	28,16	7,82	41,4	35,63	9,90	43,8	43,99	12,22	46,5	53,32	14,81	48,7	63,35	17,59	51,3	74,35	20,65	53,6	86,22	23,95	56,0	98,98	27,50	57,8	112,27	31,28	59,5
4,0	30,10	8,36	44,2	38,09	10,58	47,3	47,03	13,06	49,9	56,90	15,80	52,5	67,72	18,81	55,2	79,48	22,08	57,9	92,18	25,60	60,2	105,82	29,39	62,1	120,40	33,44	64,2
4,5	31,98	8,87	46,0	40,41	11,22	49,4	49,38	13,85	52,4	60,36	16,76	55,2	71,83	19,95	57,8	84,30	23,42	60,5	97,77	27,16	62,8	112,24	31,18	64,9	127,70	35,47	67,0
5,0	33,65	9,36	47,5	42,59	11,83	51,0	52,58	14,60	54,0	63,62	17,67	57,0	75,72	21,03	60,0	88,86	24,68	62,5	103,06	28,63	64,9	118,31	32,86	66,8	134,61	37,39	68,6
5,5	35,29	9,80	49,0	44,67	12,41	52,5	55,15	15,32	55,4	66,73	18,53	58,5	79,41	22,06	61,5	93,20	25,88	63,9	108,09	30,02	66,3	124,08	34,47	68,3	141,18	39,22	69,7
6,0	36,86	10,24	50,0	46,66	12,96	53,4	57,60	16,00	56,5	69,69	19,36	59,7	82,90	23,05	62,5	97,34	27,04	65,0	112,89	31,36	67,3	129,60	36,00	69,2	147,46	40,96	70,5
6,5	38,37	10,66	50,5	48,56	13,49	54,0	59,95	16,65	57,4	72,54	20,15	60,7	86,33	23,98	63,3	101,32	28,14	65,7	117,50	32,64	68,0	134,89	37,47	69,9	153,48	42,63	71,2
7,0	39,82	11,06	51,1	50,39	14,00	54,6	62,21	17,28	57,9	75,28	20,91	61,3	89,59	24,88	63,9	105,14	29,20	66,2	121,94	33,87	68,5	139,98	38,88	70,5	159,27	44,24	71,8

N.B. Estos datos fueron obtenidos bajo condiciones ideales de ensayo. El viento y otros factores pueden afectar adversamente el desempeño del equipo. Los datos sobre niveles de presión se refieren a la presión de la boquilla. El bajar el ángulo de la trayectoria ayuda a mejorar la eficacia del riego bajo condiciones de viento. Por cada 3° que se baje el ángulo de la trayectoria, el alcance del chorro se reduce aproximadamente entre un 3 y un 4%. Dados obtidos sob condições ideais de ensaio. Vento e outros fatores podem afetar o desempenho do equipamento. Os dados sobre níveis de pressão referem-se à pressão no bocal. Ao baixar o ângulo da trajetória a eficiência da irrigação é melhorada sob condições de vento. Para cada 3° que se baixa no ângulo da trajetória, o alcance do jato reduz-se aproximadamente entre 3 a 4%.