

RELAÇÕES FUNCIONAIS DE ASPERSORES TIPO *SPRAY* USADOS EM PIVÔ CENTRAL

Cid Sidney G. de Oliveira ⁽¹⁾

Henner A. Gomide

Sonia A. G. Oliveira

Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Federal de Uberlândia - FEMEC/UFU
CEP 38400 089 Uberlândia, MG, Brasil – E-mail hagomide@ufu.br

(1) Aluno de Mestrado em Eng. Mecânica e Pesquisador da EMBRAPA – Sete Lagoas MG

Resumo

A grande extensão de áreas plantadas no Brasil, cerca de 150 milhões de hectares, as grandes reservas pluviais e as áreas propícias à irrigação tornam o método de irrigação por aspersão ideal para as lavouras brasileiras. Por seu bom desempenho na irrigação, devido ao menor consumo de energia e por se adaptarem bem as condições de vento, os pivôs centrais que utilizam aspersores fixos tipo *spray* são bem aceitos pelos agricultores. Apesar destas vantagens, produzem altas taxas de precipitação que podem prejudicar o solo e algumas culturas. A distribuição de água através do sistema *spray* tem sido muito investigada, apesar das relações funcionais entre a geometria do dispositivo e os parâmetros físicos do processo não terem merecido ainda a devida atenção. Este trabalho usa a Análise Dimensional e Similitude para identificar e estabelecer a relação entre os parâmetros geométricos e físicos envolvidos no fenômeno da aspersão. Desta forma, é analisado e definido a importância dos parâmetros do problema e as relações funcionais entre eles, permitindo que se determine a equação componente do sistema físico.

Palavras Chaves: Irrigação, Aspersores, Pivô Central, Análise Dimensional, Similitude.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de alimentos tem sido uma das preocupações básicas do homem desde os primórdios da civilização. A conscientização deste problema levou ao desenvolvimento de técnicas especiais, através da Engenharia de Água e Solo e da Engenharia de Irrigação. A prática da irrigação teve sua origem com os povos antigos às margens dos grandes rios, evoluindo para métodos de condução e distribuição de água, desde sistemas de inundação, canais, gotejamento até os sistemas atuais de aspersão, com modernos equipamentos comerciais (Marchetti, 1989 e Jensen, 1983).

A irrigação por aspersão é uma forma de precipitação artificial que mais se assemelha à natural, produzida por jato d'água que emitidos contra obstáculos e desintegrados na forma de gotas, são distribuídas sobre a superfície do solo. Os primeiros sistemas de aspersão eram lineares e estacionários, sendo hoje móveis sob a forma de pivô central (Raposo, 1979 e Costalonga, 1986). A incorporação das inovações tecnológicas e a busca de menor consumo

de energia determinaram a utilização dos aspersores tipo *spray* como sendo os mais recomendados (Wilmes et alli, 1993, James and Blair, 1984). Os *sprays* com aspersores de baixa pressão tem sido intensamente investigados, principalmente quanto ao tamanho das gotas (Solomon et alli, 1985, Kohl and Deboer, 1984, Deboer et alli, 1992).

Alguns trabalhos experimentais desenvolvidos recentemente em laboratórios têm buscado melhor compreender o comportamento de aspersores fixos (Silva et alli, 1995, Sousa et alli, 1995, Reis et alli, 1993). Esses trabalhos tem contribuído com resultados importantes, porém pouco se tem feito para determinar as relações funcionais globais entre os parâmetros físicos envolvidos nos problemas estudados, deixando uma lacuna sobre o fenômeno da aspersão por *sprays*. A Análise Dimensional e a Similitude tem sido úteis no estudo de fenômenos físicos desta natureza, constituindo em ferramenta poderosa na solução de problemas tecnológicos e na elucidação de fenômenos físicos complexos (Murphy, 1950; Szücs, 1980; Carneiro, 1993).

Seguindo esta tendência experimental desenvolvida em laboratórios, o presente trabalho utiliza a Análise Dimensional e Similitude para identificar e estabelecer as relações entre os parâmetros geométricos e físicos envolvidos no fenômeno de aspersão.

2. O SISTEMA PIVÔ CENTRAL

Um sistema pivô central consiste de uma linha lateral solteira de aspersores, com uma extremidade ancorada em uma estrutura de pivô fixa e a outra movendo-se ao redor do pivô, enquanto aplica água sobre o solo. A água é suprida da fonte para a lateral através do pivô. A tubulação de aspersores é articulada, sendo sustentada por unidades móveis e suspensa por um sistema de treliças, tirantes ou cabos entre estas unidades (Marchetti, 1987; Costalonga, 1986; Raposo, 1979). A Figura 1 ilustra o esquema de um pivô central equipado com aspersores tipo *spray*.

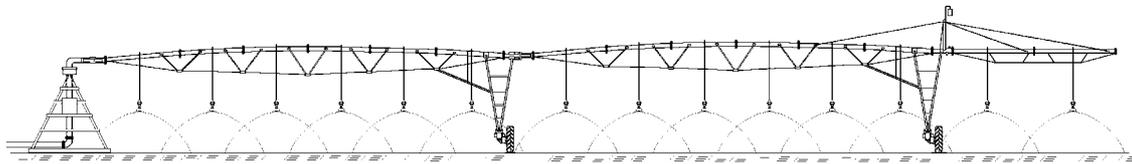


Figura 1 - Esquema de um pivô central.

O principal componente para o dimensionamento de um sistema pivô central é o arranjo dos emissores de água. A partir de dois princípios diferentes da quebra do jato de água emitido por um bocal, dois tipos principais de aspersores são usados em pivôs centrais, os aspersores rotativos de impacto e os aspersores tipo *spray*, sendo este último o foco de atenção neste trabalho.

A Figura 2 mostra o esquema de um aspersor fixo tipo *spray*, que consiste de um bocal cônico que emite o jato de água contra uma placa defletora que o dispersa, distribuindo a água em forma de gotas sobre uma área circular.

3. PARÂMETROS E RELAÇÕES FUNCIONAIS DO PROBLEMA

Para a realização do estudo experimental proposto, foram usados os fundamentos da Análise Dimensional e de Similitude, visando determinar as relações funcionais do problema. Para isto, foi feita a identificação dos principais parâmetros envolvidos no sistema físico estudado. A Figura 3 mostra os parâmetros que melhor descrevem o fenômeno, sem considerar o efeito do vento.

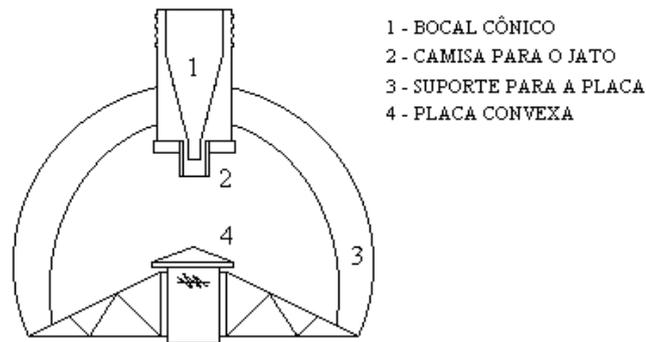


Figura 2 - Aspersor fixo tipo *spray*.

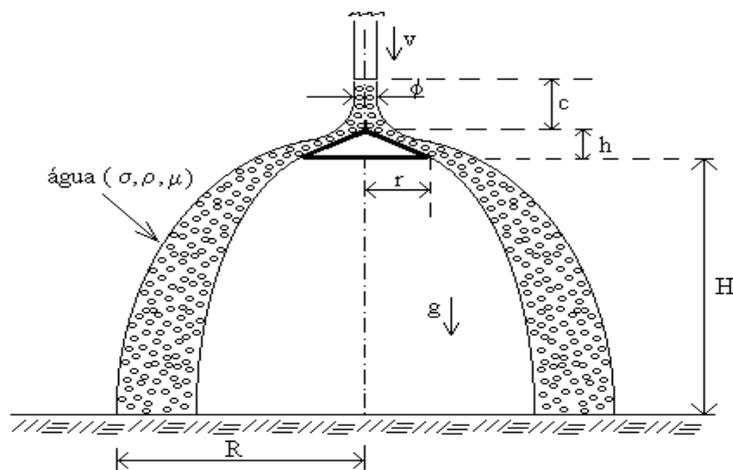


Figura 3 - Esquema de um aspersor tipo *spray* com os parâmetros do sistema físico.

Os parâmetros mostrados na Figura 3, foram divididos em parâmetros geométricos (λ_i), variável de escoamento (v), constante física universal (g) e propriedades da água em função das grandezas primárias, ou seja:

- R - raio de alcance do aspersor (L)
- H - altura de operação do aspersor (L)
- r - raio da placa defletora (L)
- h - altura do vértice da placa (L)
- c - distância entre a saída do bocal e a placa (L)
- ϕ - diâmetro do jato de água emergente do bocal (L)
- v - velocidade do jato (LT^{-1})
- g - aceleração da gravidade local (LT^{-2})
- μ - viscosidade dinâmica da água ($L^{-1} MT^{-1}$)
- ρ - densidade da água (MT^{-3})
- σ - tensão superficial da água (MT^{-2})

Como grandezas determinantes, foram escolhidos os parâmetros c , v e ρ , que tem dimensões independentes entre si e incluem as três grandezas fundamentais do problema.

Sendo o número de parâmetros $n = 11$ e o posto da matriz dimensional $r = 3$, o fenômeno pode, em princípio, ser descrito através de 8π -termos, segundo Buckingham (Murphy, 1950 e Szücs, 1980). Assim, a distribuição radial de água de um aspersor é definida pela função:

$$\frac{R}{c} = f\left(\frac{h}{r}, \frac{H}{c}, \frac{\phi}{c}, \frac{h}{c}, \frac{v^2}{gc}, \frac{\rho v \phi}{\mu}, \frac{\rho v^2 \phi}{\sigma}\right)$$

ou

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) \quad (1)$$

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 Formulação simplificada

Para possibilitar a determinação das equações componentes ou relações funcionais do sistema em estudo, foram selecionados os parâmetros (π - termos) mais importantes a serem incluídos nos experimentos, após a identificação daqueles de menor importância ou mantidos constantes no experimento. Assim, o π - termo π_2 foi avaliado experimentalmente (Oliveira, 1999) mostrando que o raio de alcance (R) é máximo e tem uma distribuição mais uniforme para um ângulo de placa (Fig.3) $\alpha = \arctan(h/r) \approx -12^\circ$, valor este utilizado pela maioria dos fabricantes na construção de placas convexas. Da mesma forma, os π -termos π_4 , π_5 e π_8 foram negligenciados, por serem constantes, por terem incompatibilidade de escala ou por serem considerados pouco representativos no fenômeno físico como um todo (Oliveira, 1999).

Desta forma, a equação resultante considerada neste trabalho, ou seja, o raio de alcance (R/r) do aspersor em função da altura de operação (h/c), do número de Froude e de Reynolds, permite a avaliação de dependência entre estes parâmetros, definida como:

$$\frac{R}{c} = F\left(\frac{H}{c}, \frac{\rho v \phi}{\mu}, \frac{v^2}{gc}\right) \quad \text{ou} \quad \pi_1 = F(\pi_3, \pi_8, \pi_6) \rightarrow \Pi_1 = F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3) \quad (2)$$

4.2 Montagem experimental

Tendo em vista o caráter experimental do presente trabalho, essencial para a determinação de dependência do raio de alcance (R/r) em relação aos outros parâmetros (Eq.2), foi simulado o fenômeno em laboratório, com a montagem de uma bancada de testes, composta de um Sistema de Abastecimento de Água, um Sistema de Controle, um Sistema de Aspersão e de Medição. A Figura 4 mostra uma foto do Sistema de Controle, com um grupo de rotômetros trabalhando em paralelo, com válvulas de ajuste da vazão e manômetros, ligado ao aspersor através de mangueiras flexíveis de alta pressão.

No Sistema de Aspersão utilizou-se um único aspersor em tamanho real. Para a sustentação do aspersor e variação da altura do mesmo, visando o estudo do π - termo $\Pi_2=H/c$, ele foi instalado em um braço horizontal de uma coluna vertical em tubo de aço galvanizado e fixada em uma sapata, permitindo mobilidade na direção vertical. A montagem foi feita de modo que o eixo vertical do aspersor passasse pelo centro do primeiro coletor, de uma série instalados ao longo do raio de alcance ou área molhada.



Figura 4 – Sistema de Controle das variáveis de escoamento.



Figura 5 – Vista do conjunto, Sistema de Aspersão e de Medição.

A Figura 5 mostra uma foto do sistema em funcionamento, incluindo a série de coletores cilíndricos destinados à medição da intensidade de precipitação através do volume de água ao longo do raio. Foram utilizados vários bicos injetores comerciais. Adotou-se um tempo de aspersão de 15 minutos, suficiente para estabelecer um volume mensurável na menor precipitação ocorrida. Esses volumes, relacionados com a área da boca dos coletores, permitiram determinar as lâminas distribuídas e estas, relacionadas com o tempo de aspersão, possibilitaram a completa determinação da precipitação radial.

5. AVALIAÇÃO E RESULTADOS

Um método conciso e rápido de estimar o raio de alcance e caracterizar a distribuição de água de aspersores operando em condições estáticas e na ausência de vento, consiste na captura da água aspergida utilizando-se uma seqüência de coletores de precipitação, instalados em uma única posição radial no círculo molhado pelo aspersor. O relacionamento dos volumes de água coletados ao longo do raio com o tempo de aspersão e com a vazão ou com o volume total descarregado pelo aspersor, permite interpolar o raio de alcance, analisar o erro experimental, estimar a distribuição de água e obter outras funções de interesse (Oliveira,

1999). Assim, utilizando este princípio e os fundamentos teóricos definidos pela Eq. (2), foram obtidos três funções componentes do sistema físico estudado. A Figura 6 mostra a função componente da altura, com ângulo da placa de -12° e $+12^\circ$, Número de Reynolds constante ($Re=100000$) e o Número de Froude fixo em 500, ou seja $\Pi_1 = F_2(\Pi_2, \bar{\Pi}_3, \bar{\Pi}_4)$.

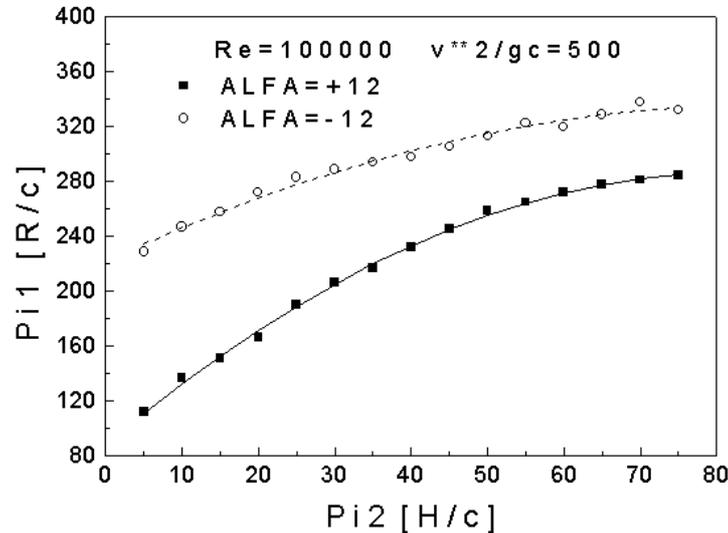


Figura 6 -. Função componente da altura.

Da mesma forma, foram obtidas funções componentes de Reynolds, $\Pi_1 = F_2(\bar{\Pi}_2, \Pi_3, \bar{\Pi}_4)$, mostrado na Fig. 7, e a função componente de Froude, $\Pi_1 = F_3(\bar{\Pi}_2, \bar{\Pi}_3, \Pi_4)$, mostrado na Fig.8.

6. DISCUSSÃO

É importante observar que o raio da área molhada é significativamente maior para placas com ângulo de -12° (placa côncava), como pode ser observado nas Figuras 6, 7 e 8. Outro fato importante a ser destacado é que, para um determinado valor dos Números de Reynolds e Froude, o raio da área molhada tem tendências à estabilização, que para $Re=100000$ e $Fr=500$, assume um valor de $H/c \approx 70$. Ressalta-se também que, o raio da área molhada aumenta com o Número de Reynolds, tendendo para um valor máximo em $Re \approx 160000$, valor próximo aos valores dos sistemas hoje comercialmente instalados e em funcionamento.

Merece destaque neste trabalho a inclusão simultânea dos efeitos das forças viscosas atuantes no fluido (Número de Reynolds) e o efeito da força gravitacional (Número de Froude). A incompatibilidade desses dois números, principalmente para fator de escala diferentes da unidade, leva a maioria dos pesquisadores a negligenciar um deles, quase sempre o Número de Reynolds, quando o fluido utilizado é a água. A importante observação neste trabalho é que, como mostrado nas Figs. 7 e 8, a variação do Número de Reynolds provoca maiores variações no raio da área molhada do que o Número de Froude, normalmente assumido pela maioria dos pesquisadores como sendo a mais importante.

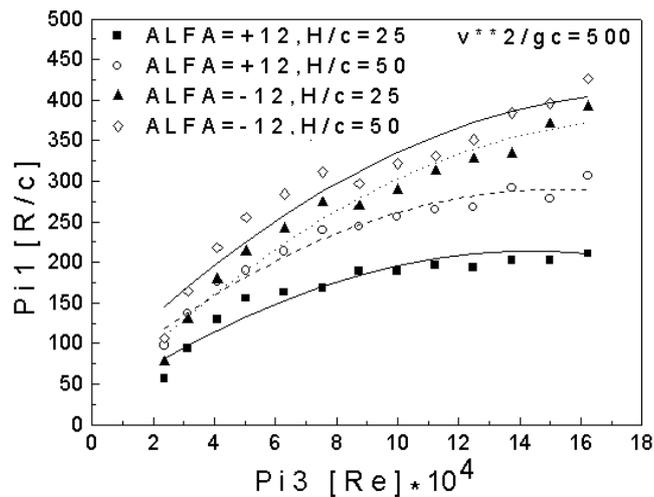


Figura 7 - Função componente de Reynolds.

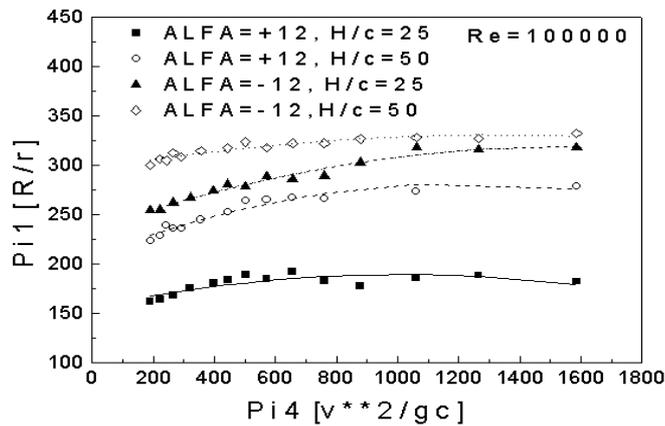


Figura 8 - Função componente de Froude.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado neste trabalho, apesar das restrições da formulação simplificada utilizada, permite a determinação do modelo matemático de cada relação funcional ou função preditiva e a conseqüente determinação da Equação Componente do sistema físico como um todo. Essa determinação pode ser feita em função dos principais parâmetros do problema, conforme definido, ou seja, R , c , H , ϕ , v , μ , ρ , para ângulo da placa de -12° e $+12^\circ$ e dentro dos limites definidos. A determinação experimental das funções componentes mostradas nas Figs. 7 e 8, para dois valores de H/c , constituem informações complementares e essenciais para comprovar e validar a combinação das equações preditivas, se por soma ou produto.

Com base na equação componente, equação matemática obtida das funções preditivas mostradas nas Fig. 6, 7 e 8, tem-se o modelo matemático do fenômeno físico em consideração. Esta equação empírica constitui uma importante ferramenta para a definição dos parâmetros a serem utilizados em sistemas de Pivô Central com aspersores tipo *spray*.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFU e a EMBRAPA – Sete Lagoas/MG, pelo suporte financeiro dessa pesquisa.

9. REFERÊNCIAS

- Carneiro, F.L., 1993, Análise Dimensional e Teoria da Semelhança e dos Modelos Físicos, Editora UFRJ, Rio de Janeiro.
- Costalonga, A., 1986, O Sistema de Irrigação por Pivô Central, CODEVASF, Brasília DF, 16p.
- Deboer, D.W., Beck, D.L. & Bender, A.R., 1992, A Field Evaluation of Low, Medium and High Pressure Sprinklers, Transactions of the ASAE, St. Joseph, 35(4), p. 1185-1189.
- James, L.G. & Blair, S.K., 1984, Performance of Low Pressure Center Pivot Systems, Transactions of the ASAE, St. Joseph, p. 1753-1762.
- Jensen, M.E., 1983, Design and Operation of Farm Irrigation Systems, St. Joseph, ASAE, Cap. 1, p. 2-9.
- Kohl, R.A. & Deboer, D.W., 1984, Drop Size Distribution for a Low-Pressure Spray Type Agricultural Sprinklers, Transactions of the ASAE, St. Joseph, p. 1836-1840.
- Marchetti, D., 1989, Irrigação por Pivô Central, EMBRAPA - Depto. de Difusão de Tecnologia, 2a ed., 23 p. Brasília DF.
- Murphy, C.E., 1950, Similitude in Engineering, The Ronald Press Company, N.Y.
- Oliveira, C.S.G., 1999, Estudo de Aspersores Tipo *Spray* para Pivô Central, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Eng. Mecânica da Univ. Federal de Uberlândia, em fase de Conclusão, Uberlândia MG.
- Raposo, J.R., 1979, A Rega por Aspersão, Clássica Editora, Lisboa.
- Reis, W., Oliveira, C.S.G. & Silveira Neto, A., 1993, Comportamento Dinâmico de um Jato Incidente Sobre Placas Aspersoras - Cenário da Transição à Turbulência, Anais do XII COBEM, vol. II, pp. 1033-1036, Brasília DF.
- Silva, D.D. da, Ramos, M.M., Deniculi, W., Martinez, M.A. & Soares, A.A., 1995, Desenvolvimento e Avaliação de uma Placa Defletora Auxiliar para Aspersores Fixos, Anais do XXIV CONBEA, p. 252, SBEA no 95-3-252.
- Solomon, K.H., Kincaid, D.C.; Bezdek, J.C., 1985, Drop size distribution for irrigation spray nozzles, Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(6), p. 1966-1974.
- Sousa, S.A.V. de; Ramos, M.M., Mantovani, E.C., Pruski, F.F. & Soares, A.A., 1995, Desenvolvimento de um Aspersor Fisco Equipado com Placa Defletora Estriada com Movimento Rotativo, Anais do XXIV CONBEA, p. 214, SBPEA no 95-3-214.
- Szücs, E., 1980, Similitude and Modelling, Elsevier Scientific Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- Wilmes, G.J., Martin, D.L. & Supalla, R.J., 1993, Decision Support System for Design of Center Pivots, Transactions of the ASAE, St. Joseph, 37(1), p. 165-175.