

JOSÉ ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA

**DESEMPENHO DE MICROASPERSORES OPERANDO COM
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE AVICULTURA E BOVINOCULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2005**

JOSÉ ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA

**DESEMPENHO DE MICROASPERSONS OPERANDO COM
ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE AVICULTURA E BOVINOCULTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Aprovada: 11 de fevereiro de 2005.

**Prof. Antonio Teixeira de Matos
(Conselheiro)**

**Prof. Paulo Roberto Cecon
(Conselheiro)**

Prof. Everardo Chartuni Mantovani

Prof. Luís César Dias Drumond

**Prof. Wilson Denículi
(Orientador)**

Á Deus.

Á minha mãe Cristina Rodrigues de Souza,

Ao meu pai Genésio Gomes de Souza (*in memória*),

Dedico.

À Juliana Cruz Costa Val,

Ofereço.

**“ÀQUELES QUE SE JULGAM ESTAR DE PÉ, CUIDEM PARA QUE NÃO
CAIAM” (I COR.10:12).**

AGRADECIMENTO

A Deus, pela minha existência e pela força que me foi concedida nos momentos de fraqueza.

À minha mãe e à Juliana, pelo carinho, incentivo, apoio, compreensão nos momentos difíceis e, principalmente, por acreditarem em mim, mesmo quando eu mesmo não acreditava.

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

Aos amigos William, Natanael, Ana Márcia, Gilmar, Pablo e a Márcia Cruz Costa Val, pela amizade, pelas palavras de incentivos e apoio nos momentos de dificuldades.

Ao professor Wilson Denículi, pela orientação neste trabalho.

Aos professores conselheiros Antonio Teixeira de Matos, Rubens Alves de Oliveira e Paulo Roberto Cecon, pela colaboração e assistência durante os trabalhos.

Á Cristiano Tagliaferre, pela orientação e a Roberto e Eduardo, pela ajuda imprescindível na execução deste o trabalho.

Ao Cristiano Zinato, por ter realizado minha matrícula no momento de indecisão.

A todas as pessoas que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

JOSÉ ANTONIO RODRIGUES DE SOUZA, filho de Cristina Rodrigues de Souza e Genésio Gomes de Souza, nasceu em Brasília, DF, em 14 de abril de 1977.

Em 1992, iniciou o curso Técnico em Contabilidade na Escola Estadual Argemiro do Prado, em Buritis, MG, concluindo-o em dezembro de 1994.

Em 1998, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, concluindo-o em março de 2003.

Em março de 2003, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa de tese em 11 de fevereiro de 2005.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE FIGURAS.	viii
LISTA DE TABELAS.	x
RESUMO.	xiii
ABSTRACT.	xv
1. INTRODUÇÃO.	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.	4
2.1 Situação atual da avicultura e bovinocultura brasileira.	4
2.2 Uso de águas residuárias na agricultura.	5
2.3 Susceptibilidade de microaspersores ao entupimento.	6
2.4 Redução da vazão inicial como critério de identificação de entupimento dos emissores.	10
2.5 Considerações sobre fertirrigação.	11
2.6 Características hidráulicas do microaspersor.	13
3. MATERIAL E MÉTODOS.	16
3.1 Caracterização da área experimental.	16
3.2 Obtenção das concentrações de sólidos totais nas águas residuárias utilizadas nos ensaios.	17
3.3 Condução do experimento.	19
3.4 Descrição da bancada experimental para determinar as curvas vazão-pressão e avaliar a suscetibilidade do microaspersor ao entupimento.	19
3.4.1 Características do microaspersor utilizado no experimento.	21
3.4.2 Coleta e caracterização física e química da ARA e ARB.	22
3.4.3 Determinação da uniformidade de vazão.	22
3.4.4 Susceptibilidade do microaspersor ao entupimento.	23

3.4.5	Determinação da equação característica vazão-pressão do microaspersor.	24
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.	25
4.1	Características físicas e químicas das águas residuárias de avicultura (ARA) e bovinocultura (ARB).	25
4.2	Uniformidade de vazão do microaspersor Fixo.	27
4.3	Comparação entre as vazões estimadas e fornecidas pelo fabricante.	28
4.4	Susceptibilidade do microaspersor Fixo ao entupimento.	29
4.4.1	Vazão média dos microaspersores.	29
4.4.1.1	Vazão média dos microaspersores operando com ARA.	29
4.4.1.2	Vazão média dos microaspersores operando com ARB.	33
4.5	Curvas características vazão-pressão.	37
4.5.1	Curvas características vazão-pressão para ARA.	37
4.5.2	Curvas características vazão-pressão para ARB.	42
5.	RESUMO E CONCLUSÕES.	46
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	49
	APÊNDICES.	55

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1- Vista geral da bancada experimental.	16
Figura 2 - Esquema representando a bancada experimental.	17
Figura 3 - Detalhe do reservatório inferior mostrando os dois compartimentos (a) e do reservatório intermediário com as telas utilizadas nos ensaios (b).	18
Figura 4 - Instalação dos microaspersores nas linhas de ensaios (a) e detalhe do microaspersor instalado no interior do balde (b).	20
Figura 5 - Detalhe da derivação da linha de ensaios (a) e do tê para leitura da pressão de funcionamento do microaspersor (b).	21
Figura 6 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 0,90 mm.	37
Figura 7 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,00 mm.	38
Figura 8 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,20 mm.	38

Figura 9 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,40 mm.	39
Figura 10 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,80 mm.	39
Figura 11 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 0,90 mm.	42
Figura 12 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,00 mm.	42
Figura 13 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,20 mm.	43
Figura 14 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,40 mm.	43
Figura 15 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,80 mm.	44

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação.	7
Tabela 2 - Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento.	8
Tabela 3 - Classificação dos emissores de acordo as normas da ASAE.	14
Tabela 4 - Características técnicas do microaspersor Fixo.	21
Tabela 5 - Valores médios das análises físicas e químicas das amostras de ARA.	25
Tabela 6 - Valores médios das análises físicas e químicas das amostras de ARB.	26
Tabela 7 - Valores médios da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf) do microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com os cinco diâmetros de bocais, na aplicação de água limpa, sob diferentes pressões. ...	27
Tabela 8 - Valores médios de vazão para cada pressão de ensaio e diâmetro de bocal e o valor fornecido pelo fabricante, para o microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa.	28

Tabela 9 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $0,3211 \text{ dag } L^{-1}$	30
Tabela 10 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $0,3248 \text{ dag } L^{-1}$	30
Tabela 11 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $1,4434 \text{ dag } L^{-1}$	31
Tabela 12 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $1,5437 \text{ dag } L^{-1}$	31
Tabela 13 -	Resumo da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARA, dos diâmetros de bocais e do tempo de funcionamento do sistema.	32
Tabela 14 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de $0,6834 \text{ dag } L^{-1}$	33
Tabela 15 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,4576 \text{ dag } L^{-1}$	34
Tabela 16 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,4829 \text{ dag } L^{-1}$	34
Tabela 17 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,7955 \text{ dag } L^{-1}$	35
Tabela 18 -	Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,8629 \text{ dag } L^{-1}$	35

Tabela 19 - Resumo da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARB, dos diâmetros de bocais e do tempo de funcionamento do sistema	36
Tabela 20 - Equações ajustadas e respectivas vazões (Q, em L h ⁻¹) em função da pressão (H, em kPa), operando com água limpa e ARA, nas quatro concentrações de sólidos totais, para cada diâmetro de bocal.	41
Tabela 21 - Equações ajustadas e respectivas vazões (Q, em L h ⁻¹) em função da pressão (H, em kPa), operando com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais, para cada diâmetro de bocal.	45

RESUMO

SOUZA, José Antonio Rodrigues de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005. **Desempenho de microaspersores operando com águas residuárias de avicultura e de bovinocultura.** Orientador: Wilson Deniculi. Conselheiros: Antonio Teixeira de Matos, Rubens Alves de Oliveira e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho foi desenvolvido com o propósito de caracterizar hidraulicamente o microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa, água residuária de avicultura (ARA) e água residuária de bovinocultura (ARB), bem como avaliar a susceptibilidade desse microaspersor ao entupimento quando em operação com ARA e ARB, além de se determinar a máxima concentração de sólidos totais na água residuária com a qual o microaspersor apresente o mesmo desempenho hidráulico quando em operação com água limpa. Os resultados possibilitaram concluir que: (a) o microaspersor, nos cinco diâmetros de bocais avaliados, apresenta excelente qualidade sob o ponto de vista de controle de qualidade no processo de fabricação, apresentando CVf menor ou igual a 0,05; (b) a tela de 80 mesh de malha mostrou-se mais adequada à filtragem da ARA e ARB para sua posterior disposição final no solo via de sistemas de irrigação por microaspersão, tomando-se por base apenas o entupimento ocasionado por agentes físicos; (c) a ARA com concentração de $1,5437 \text{ dag L}^{-1}$ (1,5437 %) de sólidos totais causou o entupimento dos bocais de

diâmetros 0,90 e 1,00 mm, e a ARB com concentração de 1,8629 dag L⁻¹ (1,8629 %) de sólidos totais causou o entupimento do microaspersor operando com os bocais de diâmetros 0,90; 1,00; 1,20 e 1,40 mm; (d) as curvas características vazão-pressão para os bocais de diâmetro 0,90; 1,00 e 1,80 mm, tanto para ARA como para ARB, não diferiram estatisticamente em relação à curva da água limpa e nem em relação às curvas das suas respectivas concentrações de sólidos totais avaliadas; (e) para o microaspersor operando com o bocal de 1,20 mm de diâmetro, as curvas vazão-pressão para as concentrações 0,3211 e 0,3248 dag L⁻¹ de sólidos totais na ARA, não diferiram estatisticamente entre si e nem em relação à curva da água limpa, enquanto na ARB, as cinco concentrações de sólidos totais avaliadas não diferiram entre si, todavia, diferiram em relação à curva da água limpa; (f) para o microaspersor operando com o bocal de 1,40 mm de diâmetro, as curvas vazão-pressão, para as quatro concentrações de sólidos totais na ARA, diferiram estatisticamente em relação à curva da água limpa, enquanto na ARB, as concentrações de 0,6834; 1,4576 e 1,4829 dag L⁻¹ não diferiram entre si e nem em relação à curva da água limpa.

ABSTRACT

SOUZA, José Antonio Rodrigues de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005. **Microsprinklers performance distributing wastewaters from poultry and cattle.** Adviser: Wilson Denículi. Committee Members: Antonio Teixeira de Matos, Rubens Alves de Oliveira and Paulo Roberto Cecon.

This work was performed to determine hydraulics characteristics of the Fixed microsprinkler of the mark Carborundum when in operation with clear water, poultry wastewater and cattle wastewater, moreover, the susceptibility to clogging up of the microsprinkler that distributes wastewater from poultry and cattle and determine the maxim concentration of total solid in wastewater with which the microsprinkler shows the same hydraulic in distributing clear water. The following conclusions were drawn: (a) the microsprinkler, of five nozzles diameters evaluated, presents excellent quality in point of view about quality control production process, presenting production variation coefficient smaller or equal to 0,05; (b) the screen of 80 mesh it showed more adequate to the filtration of the ARA and ARB for posterior final disposition in the irrigation systems in the soil by microsprinkler, considering only clogging caused by physical agents; (c) the wastewater from poultry with concentration of 1,5437 dag L⁻¹ (1,5437 %) of total solid caused the clogging of the microsprinkler with nozzles of 0,90 and 1,00 mm, and wastewater from cattle with concentration of 1,8629 dag L⁻¹ (1,8629 %) of total solid caused the clogging of the microsprinkler with nozzles 0,90; 1,00;

1,20 and 1,40 mm; (d) the characteristic curves flow-pressure for the microsprinkler nozzles of 0,90; 1,00 and 1,80 mm, for both wastewater, did not differ statistically relating the curve of clear the of yours respective concentrations of total evaluated solid; (e) for the microsprinkler with of 1,20 mm nozzle diameter, the flow-pressure curves for the concentrations 0,3211 and 0,3248 dag L⁻¹ of total solid in the poultry wastewater, they did not differ statistically to each other and neither relating the curve of clear water, while in the cattle wastewater, the five concentrations of total evaluated solid did not differ to each other, however, they differed relating the curve of water; (f) for the microsprinkler with of 1,40 mm nozzle diameter, the flow-pressure curves for the four concentrations of total solid in wastewater from poultry, differed statistically relating the curve of clear water, while in wastewater from cattle, the concentrations of 0,6834; 1,4576 and 1,4829 dag L⁻¹ did not differ to each other and neither relating the curve of clear water.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da agricultura e da pecuária, pelo aumento da demanda e, em particular, da exploração animal em grande escala, tem gerado uma série de danos ao meio ambiente, relacionados à disposição final dos dejetos produzidos. As modificações no sistema produtivo visam o aumento da produtividade, com animais confinados em pequenos espaços e alimentados adequadamente para um maior ganho de peso em menores áreas e tempo possíveis.

Com a intensificação da produção houve, como consequência, aumento do volume de dejetos gerados por unidade de área, os quais passaram a ser lançados nos cursos d'água sem tratamento prévio ou sem um manejo adequado. Esses dejetos se transformaram em fonte poluidora dos mananciais de água devido à alta concentração de matéria orgânica, nutrientes, além de patógenos e metais pesados (SCHERER e BALDISSERA, 1995), constituindo fator de risco à saúde animal e humana e obstáculo à expansão da produção como atividade econômica rentável.

Os dejetos de aves e bovinos possuem potencial poluidor superior ao do dejetos humano. A água residuária produzida por vacas leiteiras gera uma Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) de 4 a 14 vezes maior que a do esgoto urbano (MATOS, 2004b), enquanto na água residuária da avicultura a DBO_5 é cerca de 8 vezes maior do que a do esgoto urbano (KONZEN, 1980).

Apesar destas características poluidoras, os dejetos de aves e de bovinos, quando incorporados ao solo, podem melhorar suas propriedades físicas, químicas e biológicas devido ao seu alto conteúdo de matéria orgânica. A utilização de águas residuárias resulta em importantes contribuições para a minimização da poluição, pela redução do lançamento de águas residuárias nos mananciais, além de constituir alternativa econômica para a propriedade rural, sem o comprometimento da qualidade ambiental.

Atualmente, a utilização de águas residuárias na fertirrigação está sendo considerada uma forma de tratamento alternativo, tornando-se objeto de vários estudos. Os recursos hídricos de alta qualidade estão também escassos, o que tem resultado na busca de meios para se utilizar água de qualidade inferior, reduzindo, assim, a pressão sobre os mananciais, principalmente em regiões onde eles se encontram restritos para irrigação (TAGLIAFERRE, 2003).

Geralmente, os métodos de irrigação por superfície e aspersão são utilizados para a disposição de águas residuárias no solo. Apesar destes métodos serem eficientes na aplicação de efluentes, eles possuem limitações relacionadas à contaminação de culturas, do homem, pelo contato direto com o efluente, e do ar. Ao contrário, o método de irrigação localizada tem surgido nos últimos anos como uma inovação na aplicação de efluentes, possibilitando a minimização dos riscos de contaminação do homem e do meio, além de maior precisão na aplicação dos efluentes.

A maioria das informações relativas à utilização de equipamentos de irrigação na aplicação de águas residuárias são genéricas e, para a maioria das situações, não correspondem à realidade. Em geral, os gráficos e tabelas fornecidos pelos fabricantes de emissores são obtidos, conforme ABNT (1986), por meio de ensaios utilizando-se como fluido circulante a água limpa e, portanto, podem não se aplicar à situação de operação com águas que apresentam elevadas concentrações de sólidos, como é o caso das águas residuárias. Para a seleção de um emissor e, conseqüentemente, a seleção de um conjunto moto-bomba que seja o mais apropriado para uma determinada situação, necessita-se tanto de conhecimento técnico, quanto de informações destes equipamentos sob condições de operação com águas residuárias. O não conhecimento destes

parâmetros pode acarretar conseqüências sérias tais como o consumo excessivo de energia, sobrecarga no motor, entupimentos, desuniformidade de emissão e abandono do sistema, retornando a métodos de aplicação menos eficientes.

Considerando-se que são poucas as informações referentes à utilização de águas residuárias aplicada por sistemas de irrigação localizada e na perspectiva da utilização de fontes de água de baixa qualidade, notadamente no que esteja associado ao entupimento de emissores, objetivou-se neste trabalho:

- Caracterizar hidraulicamente o microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa, água residuária de avicultura (ARA) e água residuária de bovinocultura (ARB);
- Avaliar a susceptibilidade desse microaspersor ao entupimento, quando em operação com ARA e ARB;
- Determinar a máxima concentração de sólidos totais na água residuária com a qual o microaspersor apresente o mesmo desempenho hidráulico quando em operação com água limpa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Situação atual da avicultura e bovinocultura brasileira

A produção brasileira de carne tem crescido muito nos últimos anos. A produção de carne de frango alcançou 7,560 milhões de toneladas em 2003 e com expectativa de atingir 7,825 milhões de toneladas em 2004; já a produção de carne bovina atingiu, em 2003, a quantidade de 7,629 milhões de toneladas e com expectativa de produção de 7,810 milhões de toneladas em 2004 (ANUALPEC, 2004). Como fatores que justificam este crescimento, destacam-se as contínuas evoluções tecnológicas e sanitárias do plantel, o desenvolvimento de novos produtos industrializados e a globalização dos mercados.

De acordo com dados divulgados pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a produção global de carne de frangos em 2004 está prevista em 49,344 milhões de toneladas, enquanto para carne bovina a estimativa é de 50,007 milhões de toneladas. Os Estados Unidos, China e Brasil serão responsáveis por cerca de 66,62% da produção mundial de carne de frango e por 51,43% de carne bovina, sendo que o Brasil representará 23,80% e 30,37% deste total, respectivamente (ANUALPEC, 2004).

2.2. Uso de águas residuárias na agricultura

A escassez de recursos hídricos no mundo, às vezes por falta absoluta d'água e outras vezes pela contaminação das fontes naturais, é motivo de preocupação da comunidade científica e tem fomentado discussões e pesquisas no campo do aproveitamento das águas residuárias.

O reuso da água, planejado e controlado, é definido como o uso das águas residuárias renovadas para fins benéficos como a irrigação e a recarga de aquíferos subterrâneos (METCALF e EDDY, 1995). Essa prática, centenária e corrente em muitos países, possui registros desde o século XIX (ASANO e LEVINE, 1996).

A intensificação da produção, a industrialização, bem como o rápido crescimento demográfico urbano, têm contribuído muito para incrementar a poluição ambiental. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura minimiza a potencial contaminação das águas subterrâneas e superficiais, sendo de grande importância nas regiões áridas e semi-áridas, onde a escassez de água faz com que se aproveitem todos os recursos hídricos disponíveis.

Até a metade da década de 80 existiam no mundo cerca de 2 milhões de hectares recebendo a aplicação de águas residuárias (BARTONE e ARLOSOROFF, 1987). Atualmente, o aumento das áreas fertirrigadas com esse recurso é atribuído, sobretudo, à disponibilidade permanente dessa fonte de água, à presença de grandes quantidades de nutrientes, ao aumento de produtividade das culturas, à melhoria da qualidade dos solos e à ampliação de fronteiras agrícolas.

A aplicação desses efluentes na fertirrigação pode ser feita de várias formas: via superfície (sulcos, faixas, inundação), aspersão e localizada. Entretanto, nos últimos anos, o interesse por sistemas de irrigação localizada para a aplicação de água residuária tem crescido muito.

A prevenção da poluição e a eficiência no uso de águas residuárias podem ser alcançadas com a utilização de sistemas de irrigação localizada para sua aplicação no solo (HILLS e BRENES, 2001). De acordo com ORON et al. (1993), a aplicação em superfície reduz o risco de poluição associado à água residuária,

uma vez que o solo atua como filtro. Para TROOEN et al. (2000), o uso de sistemas de irrigação por gotejamento para aplicar água residuária proveniente de lagoas de armazenagem de águas residuárias de animais tem muitas vantagens, que incluem a redução do contato humano com a água residuária; redução do odor; redução do escoamento superficial dessas águas para águas superficiais; aplicação de água rica em fósforo abaixo da superfície do solo, onde o escoamento superficial é reduzido; garantia de elevada uniformidade de aplicação de água, resultando no melhor controle de água, nutriente e sais; redução da corrosão dos sistemas de irrigação e, ainda, de acordo com SADOVSKI et al. (1978), eliminação do risco de transporte de patógenos via aérea, provocada por aspersores.

2.3. Susceptibilidade de microaspersores ao entupimento

Uma característica inerente aos métodos de irrigação localizada é a pequena área de passagem da água nos emissores. Em virtude dos pequenos diâmetros de orifício, o entupimento de emissores configura-se como um dos principais problemas relacionados ao método (GILBERT e FORD, 1986; KELLER e BLIESNER, 1990; PIZARRO CABELLO, 1990; BOMAN e ONTERMAA, 1994; SAGI et al., 1995; PITTS et al., 1996). Em nossas condições, uma combinação de fatores favorece o desenvolvimento de algas e bactérias nas águas utilizadas em irrigação localizada, como: predominância de temperatura na faixa ótima para o desenvolvimento microbiano; uso freqüente da prática de fertirrigação, a qual se constitui em fonte de nutrientes para algas e bactérias; uso freqüente de águas de reservatórios e canais, os quais favorecem o crescimento populacional de algas e bactérias; lançamento de esgotos em rios que são utilizados como fonte hídrica, etc. A obstrução de emissores afeta a uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, via água de irrigação, na mesma proporção da redução de uniformidade de aplicação.

A baixa qualidade da água de irrigação, especialmente as residuárias, que contêm altas concentrações de sólidos, pode obstruir rapidamente os emissores.

Em geral, as principais causas desse entupimento foram divididas por GILBERT e FORD (1986), PITTS et al. (1990) e SMAJSTRIA e BOMAN (1999) em três categorias: entupimento de origens química, física e biológica. A determinação da causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, uma vez que vários agentes na água podem interagir entre si, agravando o problema do entupimento (RAVINA et al., 1992).

Atualmente, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pela utilização de sistemas de irrigação localizada para aplicação de determinada água, residuária ou não. A dificuldade reside no fato de que alguns fatores intervenientes são variáveis como, por exemplo, a temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microrganismos (PIZARRO CABELLO, 1990). No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo, Bucks et al. (1979), citados por NAKAYAMA e BUCKS (1991), propuseram uma classificação da água de irrigação indicando critérios relativos ao risco de entupimento de gotejadores, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Risco potencial de entupimento de gotejadores pela água de irrigação.

Fator de Entupimento	Risco de entupimento		
	Baixo	Moderado	Severo
<i>Físico</i>			
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	50-100	> 100
<i>Químico</i>			
pH	< 7,0	7,0-8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	500-2.000	> 2.000
Manganês (mg L ⁻¹)	< 0,1	0,1-1,5	> 1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2-1,5	> 1,5
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2	0,2-2,0	> 2,0
<i>Biológico</i>			
Número de bactérias (NMP mL ⁻¹)	< 10.000	10.000-50.000	> 50.000

Fonte: Bucks et al., 1979, citados por NAKAYAMA e BUCKS (1991).

Segundo ADIN e SACKS (1991), o entupimento de emissores, quando em operação com água residuária armazenada é causado, primeiramente, pelos sólidos suspensos na água, porém estes não causam entupimentos necessariamente no início do processo. A taxa de entupimento é mais afetada pelo tamanho da partícula do que o seu número e densidade. Esses autores

também concluíram que o potencial de entupimento diminuiu com a modificação do “design” interno dos emissores e o pré-tratamento químico com oxidantes e floculantes.

As águas contendo sólidos suspensos podem ser aplicadas utilizando-se sistemas de irrigação localizada se estes sólidos forem constituídos por partículas de tamanho argila e a sua floculação não ocorrer no interior da tubulação. Os trabalhos de pesquisas indicam que o uso de água com concentrações acima de 500 mg L⁻¹ de sólidos suspensos não causaram entupimento de emissores com a filtragem das partículas maiores (PITTS et al., 1990).

No dimensionamento de sistema de filtragem, um dos critérios levados em consideração é o de não permitir a passagem de partículas com diâmetros maiores que um décimo e um quinto do diâmetro do orifício do emissor, para gotejadores e microaspersores, respectivamente (KELLER e BLIESNER, 1990; PIZARRO CABELLO, 1996). De acordo com RESENDE et al. (2000), esse critério pode ser insuficiente, uma vez que partículas de argila que comumente conseguem passar através do sistema de filtragem, embora não constituam problema por si só, podem sofrer processo de floculação, favorecida pela presença de mucilagem de algas filamentosas ou bactérias, causando obstrução física nos emissores. GILBERT et al. (1979) observaram, em linhas secundárias de um sistema de irrigação por gotejamento, uma concentração de sólidos suspensos de 10 a 100 vezes maior que a encontrada na captação no Rio Colorado (EUA), resultado da formação de agregados após ter passado por um conjunto de filtros de areia e de tela de 200 mesh.

Segundo PIZARRO CABELLO (1996), o risco de entupimento de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de passagem e da velocidade do fluido. Nesse sentido, este autor propôs uma classificação que agrupa os emissores quanto à sensibilidade ao entupimento, com base no diâmetro mínimo de passagem do fluido, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2- Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento.

Diâmetro Mínimo dos Emissores (mm)	Sensibilidade ao Entupimento
0,7	Alta
0,7 a 1,5	Média
1,5	Baixa

Fonte: PIZARRO CABELLO (1996).

BOMAN (1995), estudando o efeito de diâmetros de orifício na taxa de entupimento de microaspersores, quando em operação com água limpa, observou que aproximadamente 22% dos emissores de 0,76 mm de diâmetro requereram limpeza ou substituição a cada trimestre, em comparação com os 14% dos de 1,02 mm, 7% dos de 1,27 mm e 5% dos de 1,52 mm. Nesse estudo, 46% dos casos de entupimento foram devidos a algas, 34% à obstrução causado por formigas e aranhas, 16% por lesmas e 4% por partículas de areia e pedaços de PVC. Ele recomendou os emissores com diâmetro de 1,27 mm ou mais para minimizar os custos de manutenção associados ao entupimento de emissores. Segundo BOMAN e PARSONS (1999), emissores com maiores diâmetros de orifício são mais efetivos na limpeza e saída de partículas, insetos ou algas do que emissores com orifícios menores.

De acordo com RAVINA et al. (1992), os emissores com maiores vazões são menos suscetíveis ao entupimento e a sensibilidade ao entupimento não está relacionada com o tipo de emissor, embora emissores do tipo orifício sejam os mais sensíveis. Para RESENDE et al. (2000), o entupimento de causa biológica está mais relacionado à arquitetura interna dos emissores do que propriamente à vazão e diâmetro do orifício.

Os métodos de prevenção ao entupimento de emissores devem envolver tanto aspectos relacionados ao manejo (filtragem, inspeção de campo, lavagem de redes de distribuição), quanto ao tratamento químico na água. Segundo YUAN et al. (1998), o entupimento de origem física pode ser prevenido com o uso de sistemas de filtragem eficientes, os biológicos, com cloração e outros métodos de desinfecção, e a precipitação química com controle do pH da água de irrigação.

RAVINA et al. (1992), trabalhando com 12 gotejadores de diferentes modelos e marcas comerciais, determinaram que o nível de

entupimento causado pelo esgoto sanitário submetido a tratamento secundário foi similar tanto em filtros de tela de 80 mesh de malha como nos de 120 mesh, sendo, no entanto, maior na abertura de 40 mesh. Esses autores concluíram que a maioria dos tipos de gotejadores apresentou maior confiabilidade de operação quando se associaram a filtro de tela de 80 mesh, cloração diária (10 mg L^{-1}) e lavagem das laterais a cada duas semanas. TAGLIAFERRE (2003), trabalhando com microaspersores operando com água residuária da suinocultura, verificou que as telas de 40 e 60 mesh de malhas favoreceram a passagem de pêlos de suínos, enquanto a tela de 80 mesh de malha apresentou-se eficiente para o sistema de filtragem desta água residuária.

2.4 Redução da vazão inicial como critério de identificação de entupimento dos emissores

A aplicação localizada pode ser uma forma eficiente de suprimento de água e nutrientes às plantas, o que depende da uniformidade de aplicação. Em virtude dos reduzidos diâmetros dos emissores e da baixa velocidade de escoamento, o entupimento configura-se como a maior causa da variação de vazão em um sistema, visto que uma pequena percentagem de emissores entupidos podem afetar significativamente a uniformidade de aplicação do fluido (NAKAYAMA e BUCKS, 1981; BRALTS et al., 1981).

Do ponto de vista prático, a vazão média de emissores pode ser considerada bom indicativo do processo de entupimento, sendo utilizado em todos os trabalhos pertinentes (NAKAYAMA et al., 1977; GILBERT et al., 1979; RAVINA et al., 1992). Todavia, diversos autores adotam diferentes valores de redução da vazão inicial para caracterização de entupimento, não se tendo, portanto, um valor padronizado. SOLOMON (1985), desenvolvendo modelo de simulação, para estudo de uniformidade em irrigação localizada, estabeleceu como referencial de entupimento valores de 25% e 50% de redução da vazão inicial, considerado como entupimento médio e alto, respectivamente. ADIN e SACKS (1991), estudando fatores de entupimento em gotejadores, quando em operação com esgoto sanitário submetido a tratamento secundário, considerou que havia

entupimento quando os emissores apresentavam redução da vazão inicial igual ou superior a 10%. RAVINA et al. (1992), estudando o controle de entupimento de emissores de irrigação por gotejamento, operando com esgoto sanitário submetido a tratamento secundário e, TAJRISHY et al. (1994), estudando pré-tratamento de efluente secundário para irrigação por gotejamento, consideraram que havia entupimento quando a vazão inicial apresentava redução igual ou superior a 50%. RESENDE et al. (2000), estudando a susceptibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica, quando em operação com água proveniente de um lago, estabeleceram faixas de redução da vazão inicial, sendo essas faixas estabelecidas como: menor que 5%, considerado como sem entupimento, 5-15%; 15-25%; 25-35%; 35-45%; 45-55%; 55-65%; 65-75%; 75-85%; 85-95%, faixas de crescente grau de entupimento, e maior que 95%, considerado como completamente entupido. TAGLIAFERRE (2003), avaliando a susceptibilidade de microaspersores ao entupimento de origem física, operando com água residuária de suinocultura, considerou entupimento quando se constatava uma redução da vazão inicial igual ou superior a 15%. BATISTA (2004), trabalhando com aplicação de esgoto sanitário tratado via sistema de irrigação por gotejamento, adotou como critério de entupimento a redução na vazão dos gotejadores da ordem de 20%.

2.5 Considerações sobre fertirrigação

Por ser o sistema de irrigação localizada um sistema fixo, o turno de rega deve ser pequeno, normalmente variando de 1 a 4 dias, o que mantém a umidade do solo na zona radicular próxima a capacidade de campo e, em consequência, a planta transpira continuamente em seu potencial máximo, o que é uma característica peculiar deste método de irrigação (PINTO, 2001).

O uso de irrigação localizada associada com a fertirrigação é muito difundido nas regiões áridas, devido à substancial economia de água e nutrientes. Segundo BERNARDO (1989), a fertirrigação é uma das maneiras mais eficientes e econômicas de se aplicar fertilizantes no solo, para nutrição das plantas, pois, a aplicação de fertilizantes em pequenas doses e com maior frequência torna

possível manter um nível uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo vegetativo da cultura, aumentando a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas e, como consequência, sua produtividade.

O aproveitamento de águas residuárias deve servir, prioritariamente, como fonte de nutrientes para as plantas e sua aplicação deve vislumbrar a satisfação das necessidades da cultura sem, contudo, disponibilizar no ambiente quantidades de nutrientes acima das capacidades da absorção pelas culturas, a fim de se evitar o risco de contaminação de águas subterrâneas. Para se evitar a adição de nutrientes em excesso, até mesmo em quantidades superiores à da capacidade de retenção do solo, recomenda-se calcular a dose de aplicação do efluente tomando-se, por base, o nutriente que estiver em maior concentração na água residuária. Para isso, é necessário quantificar a disponibilidade de nutrientes do solo, determinada pela análise química, a exigência da cultura e a concentração de nutrientes nas águas residuárias (MATOS et al, 2003).

Os procedimentos adequados para a aplicação de fertilizantes via água de irrigação compreendem três etapas distintas. Na primeira, o sistema funciona por um período correspondente a 1/4 do tempo de irrigação, para equilibrar hidraulicamente as subunidades de rega. Na segunda, faz-se a injeção de fertilizantes no sistema de irrigação, através de equipamentos apropriados, por um período que corresponde a 2/4 do tempo total de irrigação. Na terceira etapa, o sistema de irrigação deverá continuar funcionando, visando completar o tempo total de irrigação, para lavá-lo completamente e carrear os fertilizantes da superfície para as camadas do solo como maior concentração de raízes (PINTO, 2001).

Segundo VIEIRA (2002), quando for feita uma fertirrigação, é recomendado eliminar todo o fertilizante das tubulações antes de desligar o sistema, evitando-se, assim, a formação de depósitos, a corrosão de partes metálicas da rede de irrigação e o amolecimento (“softening”) de tubulações plásticas. COSTA et al. (1994) afirmam que os efeitos negativos dos produtos químicos sobre o sistema de irrigação podem ser minimizados quando se utilizam fertilizantes bem diluídos e, principalmente, quando se opera o sistema com água limpa, por um tempo determinado, depois de efetuada a fertirrigação.

2.6. Características hidráulicas do microaspersor

A seleção dos emissores para a aplicação localizada de água limpa ou residuária constitui-se numa etapa de muito critério e sensibilidade, pois o sucesso do projeto depende da escolha do emissor. De acordo com VERMEIREN e JOBLING (1980) e KELLER e BLIESNER (1990), os emissores devem apresentar descarga constante e uniforme, suficiente abertura para não provocar entupimentos, robustez, homogeneidade e serem de baixo custo. Segundo PAES (1985), os emissores constituem um dos componentes de maior importância, tanto no dimensionamento como no manejo dos sistemas de irrigação localizada, sendo de extrema importância o conhecimento das suas características hidráulicas.

As características hidráulicas de emissores de irrigação localizada constituem-se na uniformidade de fabricação, na relação vazão versus pressão, na grandeza de seu raio efetivo e na distribuição d'água ao longo de seu raio (PAES, 1985).

Gilliad et al. (1980), citados por PAES (1985), relataram que as características hidráulicas dos microaspersores são influenciadas pela geometria, pelo tipo de material, pelo processo de fabricação e pelo método de instalação do microaspersor na linha lateral. De acordo com SOLOMON (1979), é impossível fabricar dois emissores perfeitamente iguais. Algumas variações sempre existirão entre objetos supostamente idênticos, devido a uma série de variáveis de controle na máquina de moldagem, como a temperatura, pressão e velocidade de injeção, temperatura do molde, tempo do ciclo e operação do molde. Qualquer um desses fatores pode causar mudanças nas condições em que o material está sendo moldado.

Para mensurar essas diferenças, KELLER e KARMELI (1974), SOLOMON e KELLER (1978) e BRALTS et al. (1981), introduziram o conceito do coeficiente de variação de fabricação (CVf), como uma medida estatística de avaliação da variação de fabricação dos emissores. De acordo com SOLOMON (1979), o coeficiente de variação de fabricação (CVf) é o melhor referencial para avaliar as diferenças individuais entre emissores, sendo também uma informação que representa bem o projeto do emissor, o material empregado e os cuidados

aplicados na sua construção; tem sido utilizado, também, para avaliar a variação de fluxo do emissor ao longo de uma linha lateral de irrigação localizada.

Apesar de ser impossível fabricar um grupo de emissores com o mesmo coeficiente de descarga, a alteração resultante do processo de construção normalmente tende a distribuir-se em torno de um valor médio (KELLER e KARMELI, 1974; BRALTS et al., 1981). A variação da vazão do emissor, resultado da variação de fabricação, segue a distribuição normal de Gauss. Deste modo, o CVf pode ser definido pela razão entre o desvio-padrão da vazão do emissor e sua vazão média, conforme apresentado na Equação 1:

$$CVf = \frac{1}{q_m} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{n-1}} \quad (1)$$

em que:

CVf = coeficiente de variação de fabricação, adimensional;

q_i = vazão de cada emissor, em $L h^{-1}$;

q_m = vazão média dos emissores, em $L h^{-1}$; e

n = número de emissores, adimensional.

De acordo com as normas da ASAE, citadas por KELLER e BLIESNER (1990), os emissores podem ser classificados em função do coeficiente de variação de fabricação conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos emissores de acordo as normas da ASAE.

CVf	Classificação
0,05	Excelente
0,05 – 0,07	Médio
0,07 – 0,11	Marginal
0,11 – 0,15	Deficiente
0,15	Inaceitável

Fonte: KELLER E BLIESNER (1990).

Segundo SOLOMON (1985), a vazão de um emissor individual depende da pressão de serviço, da temperatura da água, do coeficiente de variação de fabricação e do estágio em que os emissores estão entupidos.

KELLER e KARMELI (1975), VON BETMUTH e SOLOMON (1986) e ABREU et al. (1987), sugerem a função potencial como a equação que descreve as características de vazão *versus* pressão do emissor, cuja vazão se relaciona diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor, conforme expresso na Equação 2.

$$q = k H^x \quad (2)$$

em que:

q = vazão do emissor, em L h⁻¹;

k = coeficiente de proporcionalidade, adimensional;

H = pressão de operação, em kPa; e

x = constante que caracteriza o regime de escoamento, adimensional.

A constante k inclui, no seu valor, os fatores relacionados à fabricação do emissor como, por exemplo, a área da seção transversal dos emissores do tipo orifício. Portanto, quando se consideram as variações de vazão do emissor devido à fabricação, deve-se referir sempre ao valor de k. Em contrapartida, o expoente x descreve como a vazão varia com a pressão e seu valor, geralmente, está compreendido entre 0 e 1 (BRALTS et al., 1981).

De acordo com KELLER e KARMELI (1975), o expoente “x” que caracteriza o regime de escoamento do emissor, sendo classificado de acordo com o seguinte critério:

- $0 < x \leq 0,5$: o regime de escoamento varia de turbulento a francamente turbulento e sua vazão sofre menor influência da variação da pressão;
- $0,5 < x < 1,0$: o regime de escoamento varia de instável a laminar, verificando-se maior influência das variações de pressão sobre a vazão.

De acordo com AZEVEDO (1986) e ABREU et al. (1987), para “x” igual a zero a vazão é constante, ou seja, independente da variação de pressão, o que torna o emissor auto-compensante, que é uma condição ideal, por permitir grandes variações de carga nas laterais, provocadas pela fricção ou pelo aclave do terreno.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da área experimental

O presente trabalho foi conduzido na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG. Na Figura 1 tem-se uma vista geral do experimento em campo, constituído por um sistema com tubulações, conjuntos motobombas e reservatórios.



Figura 1 - Vista geral da bancada experimental.

Na Figura 2 está apresentado o esquema da bancada experimental, mostrando os conjuntos motobombas, as tubulações, os detalhes internos dos reservatórios e as linhas de ensaios, onde se instalaram os microaspersores, dentro de baldes plásticos, e o manômetro.

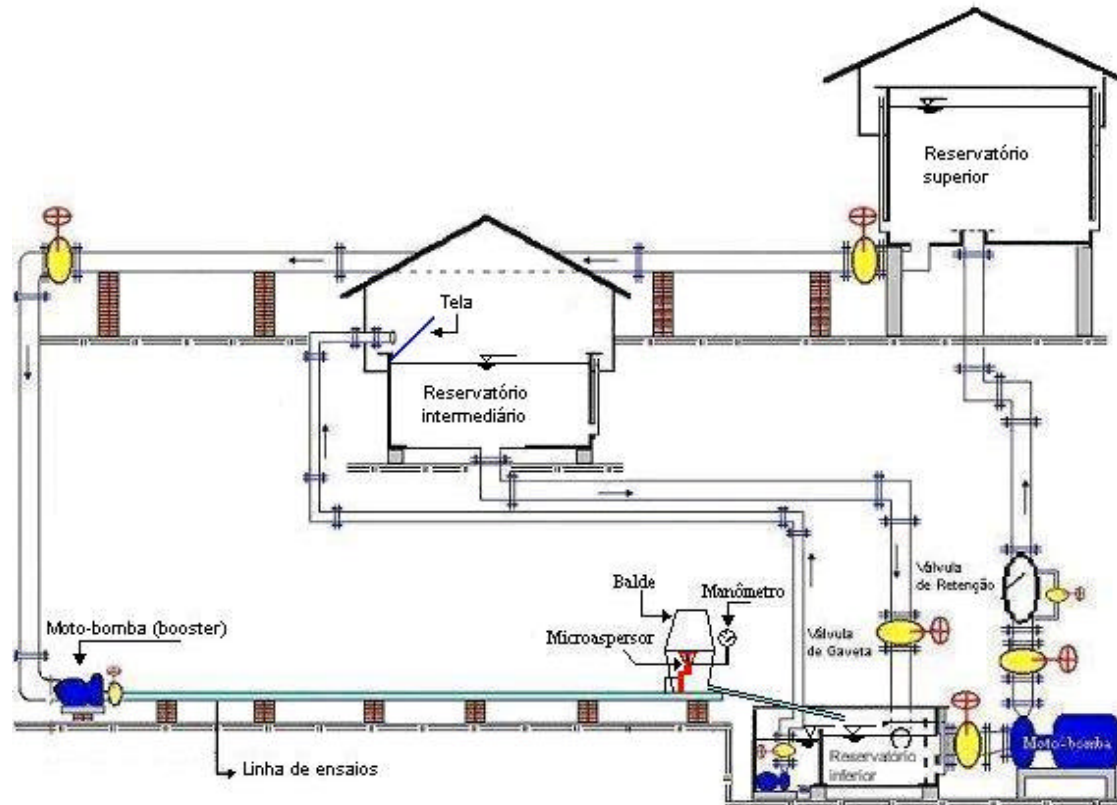


Figura 2 - Esquema representando a bancada experimental.

3.2 Obtenção das concentrações de sólidos totais nas águas residuárias utilizadas nos ensaios

Os esterco de aves utilizados nos ensaios foram obtidos de aves poedeiras, criadas em gaiolas suspensas cujo piso do galpão não dispunha de sistemas de camas. Já os dejetos de bovinos foram obtidos no tanque aerado do sistema free-stall de criação de gado leiteiro. Ambos esterco foram coletados no Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa. A fim de se reduzir a quantidade de esterco necessária à condução dos ensaios, bem como evitar o entupimento precoce dos microaspersores, os esterco foram depositados sobre lonas plásticas para redução da umidade inicial, procedendo-se,

posteriormente, a sua trituração.

O reservatório inferior dispunha de dois compartimentos com capacidade volumétrica de 4,5 e 1 m³ (Figura 3a), aos quais se adicionaram os volumes de 4 e 0,5 m³ de água potável, respectivamente. As diversas concentrações de sólidos totais, tanto da ARA como da ARB, foram obtidas por adição, homogeneização, e posterior repouso do esterco triturado no compartimento de menor capacidade, onde, após nova homogeneização, o fluido era bombeado por um conjunto motobomba da marca SCHNEIDER de 3 cv, modelo BCS 305, com rotor de 127 mm, para o reservatório intermediário, passando-o por um sistema de filtragem composto por uma tela, que tinha a finalidade de reter as partículas maiores, evitando o entupimento precoce dos microaspersores, bem como servir de indicação para um sistema de filtragem (Figura 3b).

No reservatório intermediário, que apresentava o fundo cônico e era conectado ao maior compartimento do reservatório inferior por meio de tubos e válvulas de gaveta de 150 mm, após bombeamento e filtragem do fluido, procedia-se a abertura da válvula de gaveta para que fluido escoasse e se misturasse com a água potável que se encontrava no maior compartimento do reservatório inferior, obtendo-se, assim, a primeira concentração de sólidos totais na água residuária. Para obtenção das demais concentrações, o mesmo procedimento foi adotado, diferenciando do inicial, em razão de que o sistema operava com água residuária e não mais água potável, a qual parte desta, era derivada para o menor compartimento do reservatório inferior, onde se adicionava o esterco triturado.



Figura 3 - Detalhe do reservatório inferior mostrando os dois compartimentos (a) e do reservatório intermediário com as telas utilizadas nos ensaios (b).

3.3. Condução do experimento

Em todos os ensaios envolvendo as águas residuárias, tanto de avicultura quanto de bovinocultura, após a obtenção da concentração de sólidos totais, o sistema funcionava da seguinte forma: a água residuária no maior compartimento do reservatório inferior era bombeado por meio de um conjunto motobomba montado sobre base metálica e constituído de um motor elétrico da marca WEG, de 20 cv, e de uma bomba centrífuga da marca REFAGA, modelo TU-70, com rotor tubular de 200 mm de diâmetro, para o reservatório superior (Figuras 1 e 2).

No reservatório superior, o qual apresentava um desnível de 4,5 m em relação à linha de ensaios, a água residuária era homogeneizada por meio de um agitador, cuja finalidade era a de evitar sedimentações. A partir do reservatório superior, a água residuária descia por gravidade e obtinha a pressão necessária aos ensaios por meio de um conjunto motobomba da marca DANCOR, modelo CAM-W6 e potência de 2 cv, instalado antes das linhas de ensaios (Figura 2). Após passar pelas linhas de ensaios, a água residuária era coletada e conduzida ao maior compartimento do reservatório inferior fechando-se, assim, o ciclo.

3.4. Descrição da bancada experimental para determinar as curvas vazão-pressão e avaliar a suscetibilidade do microaspersor ao entupimento

Na bancada experimental, foram montadas 15 linhas de ensaios com 10 m de comprimento, constituídas de uma tubulação de polietileno flexível com diâmetro de 20 mm, onde foram inseridos os microaspersores. O final das linhas de ensaios foram mantidos fechados durante os ensaios.

Os microaspersores foram instalados na tubulação por meio de conectores de microaspersores comerciais ligados por tubos de polietileno de 4 mm, com 55 cm de comprimento. Foram colocados em funcionamento, simultaneamente, 15 microaspersores, um em cada linha de ensaio, montados dentro de baldes plásticos, conforme mostrado na Figura 4.

No processo de medição da vazão pelo método direto, o microaspersor era coberto com outro balde invertido, retendo a água aplicada e conduzindo-a para o maior compartimento do reservatório inferior, por meio de uma mangueira conectada a uma perfuração localizada no fundo do balde. A vazão era obtida, então, determinando-se o tempo necessário para encher um recipiente de 6 L, calibrado anteriormente. O tempo de coleta foi medido com um cronômetro com precisão de centésimos de segundos.

No início das linhas de ensaios, fez-se uma derivação de modo que cada conjunto de 3 microaspersores, de mesmo diâmetro de bocal, tivessem sua vazão e pressão controladas por uma mesma válvula de gaveta e um mesmo manômetro, conforme mostrado na Figura 5a.

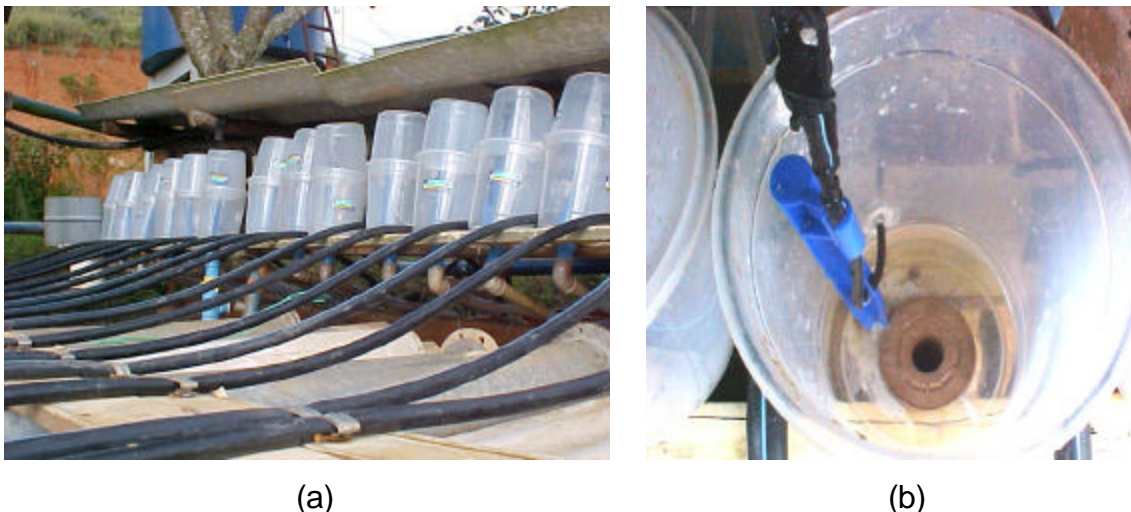


Figura 4 - Instalação dos microaspersores nas linhas de ensaios (a) e detalhe do microaspersor instalado no interior do balde (b).

Para a leitura da pressão de operação do microaspersor foi inserido um tê comercial de 4 mm entre a extremidade do tubo de 4 mm e o ponto de inserção do microaspersor (Figura 5b). A partir deste tê, derivou-se outro tubo de 4 mm de diâmetro e 30 cm de comprimento, onde eram feitas as leituras da pressão de operação de cada microaspersor. A extremidade deste tubo era mantida dobrada durante os ensaios, liberando-a, apenas, no momento da leitura da pressão. O manômetro utilizado apresentava a pressão máxima de 4 kgf cm^{-2} , com graduação a cada $0,05 \text{ kgf cm}^{-2}$.

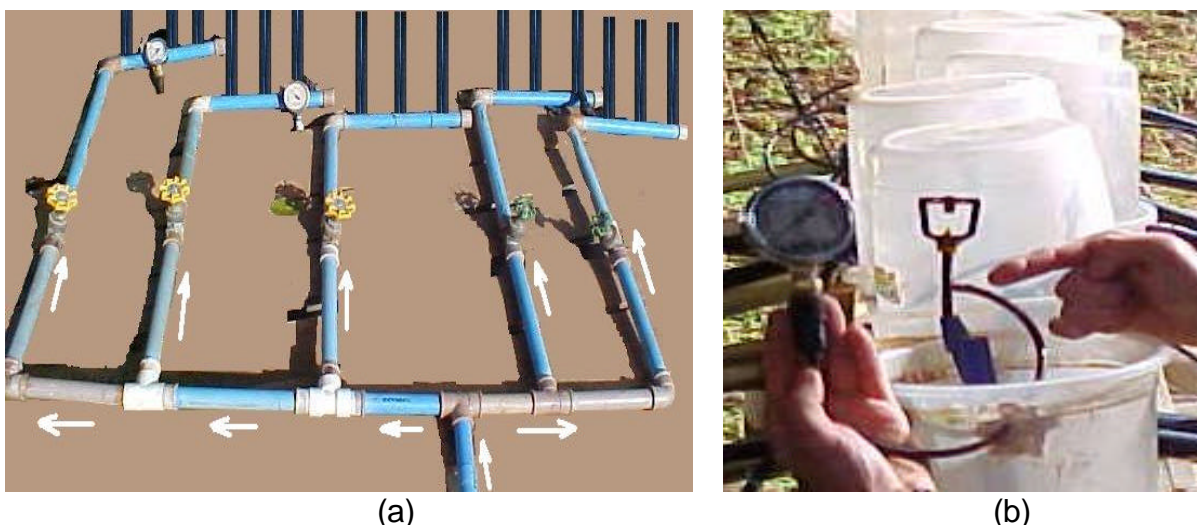


Figura 5: Detalhe da derivação da linha de ensaios (a) e do tê para leitura da pressão de funcionamento do microaspersor (b).

3.4.1. Características do microaspersor utilizado no experimento

Procurou-se escolher um fabricante que fosse atuante na região, enquanto para a escolha do modelo do microaspersor, procurou-se um modelo que fosse resistente ao entupimento. Utilizou-se o microaspersor Fixo, da marca Carborundum, que operava com bocais de 0,90; 1,00; 1,20; 1,40 e 1,80 mm de diâmetro, cujas características técnicas estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características técnicas do microaspersor Fixo.

Diâmetro do bocal (mm)	Pressão (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)	Diâmetro molhado (m)
0,90	100	27	1,5
	150	36	1,5
	200	42	1,5
1,00	100	34	1,5
	150	43	1,5
	200	50	1,5
1,20	100	57	1,5
	150	64	1,5
	200	77	1,5
1,40	100	66	1,5
	150	80	1,5
	200	94	1,5
1,80*	100	-	-
	150	-	-
	200	-	-

*Não existem informações do microaspersor operando com este diâmetro de bocal no catálogo do fabricante.

3.4.2. Coleta e caracterização física e química da ARA e ARB

Para as caracterizações física e química da ARA e ARB usadas em cada avaliação, foram coletadas amostras nas mangueiras conectadas ao fundo dos baldes, onde foram instalados os microaspersores (Figura 4b). Dessa forma, garantia-se que as amostras representavam uma média das concentrações que circulavam pelos microaspersores. As caracterizações das águas residuárias foram realizadas no Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola, da Universidade Federal de Viçosa, seguindo-se a metodologia da APHA (1995).

As características físicas determinadas foram: sólidos sedimentáveis (SP), determinados em cone de Imhoff; sólidos totais (ST), após a secagem em estufa a 110 °C, por 24 horas; sólidos fixos totais (SFT), por combustão em mufla a 550 °C; sólidos voláteis totais (SVT), por diferença entre os totais e os fixos, e sólidos em suspensão (SS), quantificados em filtros de acetato de celulose de 0,45 µm de diâmetro de poro. As análises químicas foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), obtida com a determinação do oxigênio dissolvido, método Winkler. O nitrogênio total (N) foi obtido pelo método de Kjeldahl, o fósforo total (P) determinado por colorimetria, o cálcio e o magnésio por titulometria e o potássio e sódio por fotometria de chama (HUMP e KRIST, 1992). Os óleos e graxas foram obtidos pelo método Soxhlet e o pH foi determinado em peagâmetro. A temperatura dos fluidos foi determinada durante a realização dos ensaios.

3.4.3. Determinação da uniformidade de vazão

As variações de vazão entre os bocais foram avaliadas considerando suas diferenças individuais, decorrentes do processo de fabricação dos emissores.

Para cada diâmetro de bocal, retirou-se uma amostra constituída de 20 unidades, conforme recomendado nas normas da ABNT (1986). As vazões dos emissores foram determinadas com pressões de operação de 100, 150, 200, 250 e 300 kPa. Nos cálculos, foram usadas as vazões médias dos emissores, relativas

a três repetições, para cada pressão de operação avaliada, sendo o coeficiente de variação de fabricação (CVf) calculado com a utilização da Equação 1.

3.4.4. Susceptibilidade do microaspersor ao entupimento

Para avaliar a susceptibilidade do microaspersor ao entupimento conduziu-se o experimento no esquema de parcelas sub-subdivididas, constituída pelas concentrações de sólidos totais nas águas residuárias como parcelas, dos diâmetros de bocais (0,90; 1,00; 1,20; 1,40 e 1,80 mm) como sub-parcelas e do tempo (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 e 27 horas) como sub-subparcelas, no delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições.

As diferentes concentrações de sólidos totais na ARA foram obtidas com adição de esterco triturado e filtradas em tela de 80 mesh de malha. Devido à grande quantidade de esterco retido na tela de 80 mesh e as dificuldades em se aumentar as concentrações de sólidos totais, pela adição de dejetos animais, para obtenção das concentrações de sólidos totais da ARB, substituiu-se a tela de 80 mesh por outra de malha de 60 mesh.

Considerando-se que, após a aplicação de águas residuárias, o sistema de irrigação deva ser lavado por meio da passagem de água limpa (COSTA, 1994; VIEIRA, 2002), e, portanto, a fertirrigação dificilmente ultrapassaria o tempo de aplicação de 27 horas, os ensaios tiveram duração de três dias para cada concentração de sólidos totais nas águas residuárias, funcionando nove horas diárias, totalizando 27 horas de funcionamento. Diariamente, a cada três horas de atividade do sistema, determinavam-se as vazões dos emissores por meio do método direto.

A pressão de operação utilizada foi de 150 kPa, considerada uma pressão média para funcionamento do microaspersor. Finalizada a avaliação com uma determinada concentração de sólidos totais nas águas residuárias, os bocais dos microaspersores eram substituídos por outros novos.

Para efeito de avaliação da eficiência dos tratamentos, foi analisada a vazão média dos microaspersores ao longo do período de operação do sistema,

expressa como um percentual do valor inicial (vazão medida no início de cada ensaio). Como diversos autores adotam diferentes valores de redução da vazão inicial como referência para caracterizar a intensidade de entupimento, não se tendo, portanto, um valor padronizado, foi considerada a ocorrência de entupimento dos emissores quando se constatava uma redução de vazão igual ou superior a 10% da vazão inicial, visto que pequenas variações de vazão afetam o CVf, a uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, reduzem a eficiência da aplicação de produtos químicos.

Os resultados foram submetidos à análise de regressão com uso do aplicativo computacional SAEG (Sistema de Análises Estatística e Genética).

3.4.5. Determinação da equação característica vazão-pressão do microaspersor

Para este estudo, o experimento foi montado seguindo-se um esquema de parcela sub-subdividida, tendo nas parcelas as concentrações de sólidos totais nas águas residuárias, nas subparcelas os diâmetros de bocais e nas sub-subparcelas as pressões, no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições.

Os valores de vazões obtidas para cada pressão de serviço avaliada, nas diversas concentrações de sólidos totais, foram analisados por meio de regressão e o modelo da Equação 2 foi ajustado aos dados experimentais, conforme recomendado por KELLER e KARMELI (1975), VON BETMUTH e SOLOMON (1986) e ABREU et al. (1987).

Para se verificar a igualdade entre as curvas ajustadas, nas diversas concentrações de sólidos totais, procedeu-se ao teste de identidade de modelo, conforme recomendado por REGAZZI (2003).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas e químicas das águas residuárias de avicultura (ARA) e bovinocultura (ARB)

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os valores médios das características físicas e químicas das águas residuárias usadas nos ensaios.

Tabela 5 - Valores médios das análises físicas e químicas das amostras de ARA.

Características	ARA			
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	1,00	2,50	3,00	3,50
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	3.211,00	3.248,00	14.434,00	15.437,00
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	224,00	318,00	753,00	748,00
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	227,97	210,54	212,57	415,60
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	20,43	42,13	61,71	75,33
Fósforo total (mg L ⁻¹)	8,03	17,40	64,70	79,43
Potássio (mg L ⁻¹)	< 1	< 1	182,00	230,80
Sódio (mg L ⁻¹)	< 1	< 1	130,00	130,80
Cálcio (mg L ⁻¹)	2,65	4,80	15,73	16,08
Magnésio (mg L ⁻¹)	1,13	2,60	6,35	7,80
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	2,00	5,00	232,00	3.334,00
pH	6,16	6,99	7,61	7,74

Tabela 6 - Valores médios das análises físicas e químicas das amostras de ARB.

Características	ARB				
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5
Sólidos sedimentáveis (mL L ⁻¹)	13,00	23,00	32,00	60,00	250,00
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	6.834,00	14.576,00	14.829,00	17.955,00	18.629,00
Sólidos suspensos totais (mg L ⁻¹)	1.520,00	2.106,67	2.300,00	3.740,00	8.613,33
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	441,75	347,89	380,28	470,93	872,24
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	39,58	65,97	94,06	124,70	260,89
Fósforo total (mg L ⁻¹)	13,83	25,43	25,00	45,50	64,25
Potássio (mg L ⁻¹)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Sódio (mg L ⁻¹)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Cálcio (mg L ⁻¹)	5,33	10,08	11,00	16,93	38,63
Magnésio (mg L ⁻¹)	1,73	3,65	4,00	5,85	9,88
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	215,00	430,00	635,00	688,00	8.051,00
pH	7,05	7,24	7,32	7,18	7,30

Analisando os valores apresentados nas Tabelas 5 e 6, verifica-se que houve aumento nas concentrações de sólidos, nutrientes, DBO₅ e óleos e graxas com a adição de dejetos animais triturados. De acordo com Bucks et al. (1979), citados por NAKAYAMA e BUCKS (1991), as diversas concentrações de sólidos totais nas águas residuárias em avaliação neste trabalho apresentam severa restrição para uso, representando risco de entupimento dos emissores.

ZINATO (2003), analisando as características químicas da ARA para a concentração de sólidos totais de 1,631 dag L⁻¹, obteve concentrações de 90,53; 459,42; 267; 809,10; 3,48; 804, e 2.065,10 mg L⁻¹ para o Mg, Ca, Na, N total, P, K e DBO₅, respectivamente, em um pH de 7,12. Já SAMPAIO (1999), analisando as características químicas da ARB para a concentração de sólidos totais de 1,15 dag L⁻¹, determinou as concentrações de 5,46; 8,04; 10,51; 5,17; 12,60 mg L⁻¹ para Mg, Ca, N, P e K, respectivamente, em um pH de 6,97.

Verifica-se que, para a ARA (Tabela 5), na concentração 1,5437 dag L⁻¹ (15.437 mg L⁻¹ ou 1,5437%), as concentrações de nutrientes obtidas apresentam valores menores que aquelas apresentadas por ZINATO (2003), excetuando-se o fósforo, que se apresenta em quantidades maiores. Já para a ARB (Tabela 6), na concentração 1,4576 dag L⁻¹, os valores de N e P obtidos, apresentam-se cerca de 6 e 4 vezes maiores que os valores apresentados por SAMPAIO (1999), respectivamente, entretanto, para as demais concentrações, os valores

determinados foram menores. Verifica-se, ainda, que para ARB na concentração de sólidos totais de 0,6834 dag L⁻¹, as concentrações obtidas de sólidos, nutrientes e DBO₅ apresentam valores menores que aquelas obtidos por MATOS (2004a) para água de recirculação em sistemas free-stall de criação de gado leiteiro, com concentração de sólidos totais de 0,7508 dag L⁻¹.

4.2. Uniformidade de vazão do microaspersor Fixo

A variação de vazão do microaspersor Fixo da marca Carborundum, decorrente do processo de fabricação, foi avaliada para os bocais de 0,90; 1,00; 1,20; 1,40 e 1,80 mm, submetidos às pressões de serviço de 100, 150, 200, 250 e 300 kPa, quando em operação com água limpa. Os valores médios de vazão e do coeficiente de variação de fabricação do microaspersor estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios da vazão e do coeficiente de variação de fabricação (CVf) do microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com os cinco diâmetros de bocais, na aplicação de água limpa, sob diferentes pressões.

Pressão (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)					CVf (adimensional)				
	Diâmetros dos bocais (mm)					Diâmetros dos bocais (mm)				
	0,90	1,00	1,20	1,40	1,80	0,90	1,00	1,20	1,40	1,80
100	32,25	37,90	55,60	69,45	107,57	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05
150	39,54	47,94	67,86	84,60	140,29	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05
200	45,04	54,80	80,61	100,65	153,93	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05
250	49,40	60,04	89,36	111,77	-	0,05	0,04	0,04	0,04	-
300	56,27	66,66	96,52	122,07	-	0,02	0,04	0,03	0,04	-
Média						0,032	0,038	0,034	0,034	0,05

Considerando que as condições dos testes foram iguais em todas as unidades ensaiadas, as diferenças de vazão ocorridas foram devidas à variação no processo de fabricação do microaspersor, conforme indicam os valores de CVf para cada diâmetro de bocal. De acordo com as normas da ASAE, citadas por KELLER e BLIESNER (1990), o microaspersor, nos diferentes diâmetros de bocais estudados, pode ser classificado como de excelente qualidade, sob o

ponto de vista do processo de fabricação. Segundo SOLOMON (1979), tais resultados demonstram pequena variação da vazão nos emissores, proporcionada por grande controle de qualidade no processo de fabricação, sendo este o melhor critério para avaliar as diferenças individuais entre os emissores. Segundo este autor, emissores com boa performance hidráulica, quando utilizados em projetos de irrigação bem dimensionados, proporcionam condições para a obtenção de elevadas eficiências de aplicação de água.

Observa-se, ainda, na Tabela 7, que os coeficientes de variação de fabricação não dependeram da pressão de serviço do emissor. Para ABREU et al. (1987), isso ocorre quando a pressão está compreendida na faixa de pressão de funcionamento do emissor, recomendada pelo fabricante.

4.3. Comparação entre as vazões estimadas e fornecidas pelo fabricante

Na Tabela 8 estão apresentados dados que possibilitam a comparação entre os valores médios de vazão obtida nas pressões estudadas e as vazões fornecidas pelo fabricante.

Tabela 8 - Valores médios de vazão para cada pressão de ensaio e diâmetro de bocal e o valor fornecido pelo fabricante, para o microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa.

Diâmetro do bocal (mm)	Pressão (kPa)	Vazão Observada (L h ⁻¹)	Vazão do fabricante (L h ⁻¹)	Erro relativo (%)
0,90	100	32,25	27	19,44
	150	39,54	36	9,85
	200	45,02	42	7,23
1,00	100	37,90	34	11,47
	150	47,94	43	11,49
	200	54,80	50	9,60
1,20	100	55,60	57	-2,46
	150	67,86	64	6,04
	200	80,61	77	4,69
1,40	100	69,45	66	5,23
	150	84,60	80	5,75
	200	100,65	94	7,08
1,80	100	107,57	-	-
	150	140,29	-	-
	200	153,93	-	-

De modo geral, conforme pode ser observado na coluna do erro relativo, as vazões experimentais, determinadas na bancada de ensaios, estão próximas das vazões fornecidas no catálogo do microaspersor Fixo da marca Carborundum.

Procedendo-se a análise de regressão com os dados de vazão obtidos experimentalmente e os fornecidos pelo fabricante, verificou-se que estes não diferiram estatisticamente entre si, em nível de 1% de probabilidade, pelo teste t. Não se procedeu esta análise para o bocal 1,80 mm, uma vez que não haviam, para este diâmetro, dados de vazão fornecidos pelo fabricante.

4.4. Susceptibilidade do microaspersor Fixo ao entupimento

Na operação do microaspersor Fixo da marca Carborundum com ARA e ARB avaliou-se apenas o entupimento ocasionado por agentes físicos.

4.4.1. Vazão média dos microaspersores

A vazão média de emissores pode ser considerada bom referencial para avaliar o processo de entupimento, sendo utilizado em todos os trabalhos relacionados ao assunto (NAKAYAMA et al., 1977; GILBERT et al., 1979; RAVINA et al., 1992).

4.4.1.1 Vazão média dos microaspersores operando com ARA

Nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 estão apresentados os valores de vazão média para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, nas diferentes concentrações de sólidos totais da ARA, para a pressão de operação de 150 kPa.

Tabela 9 - Vazão média do microaspersor, em L h⁻¹, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de 0,3211 dag L⁻¹.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,9		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	39,08	(100)	45,26	(100)	68,43	(100)	83,00	(100)	133,33	(100)
3	39,28	(100)	45,06	(100)	68,89	(101)	82,56	(99)	132,80	(100)
6	38,94	(100)	45,20	(100)	68,12	(100)	82,37	(99)	131,75	(99)
9	39,13	(100)	45,51	(101)	68,57	(100)	82,60	(100)	129,11	(97)
12	39,27	(100)	45,07	(100)	68,90	(101)	82,33	(99)	131,26	(98)
15	38,90	(100)	45,13	(100)	68,94	(101)	82,14	(99)	129,09	(97)
18	38,85	(99)	44,88	(99)	69,55	(102)	82,70	(100)	131,80	(99)
20	38,90	(100)	44,88	(99)	70,29	(103)	82,70	(100)	130,73	(98)
24	39,28	(100)	44,76	(99)	70,91	(104)	83,90	(101)	131,23	(98)
27	38,99	(100)	44,75	(99)	70,15	(103)	83,90	(101)	131,20	(98)

Tabela 10 - Vazão média do microaspersor, em L h⁻¹, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de 0,3248 dag L⁻¹.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	33,96	(100)	44,14	(100)	58,15	(100)	89,77	(100)	139,30	(100)
3	33,96	(100)	44,08	(100)	58,08	(100)	89,77	(100)	139,90	(100)
6	33,89	(100)	44,11	(100)	58,14	(100)	89,52	(100)	139,61	(100)
9	33,69	(99)	44,11	(100)	58,46	(101)	89,02	(99)	141,09	(101)
12	35,66	(105)	44,52	(101)	57,42	(99)	90,38	(101)	133,46	(96)
15	35,60	(105)	43,77	(99)	59,23	(102)	87,57	(98)	131,35	(94)
18	35,63	(105)	43,27	(98)	59,57	(102)	87,10	(97)	131,47	(94)
20	35,93	(106)	44,19	(100)	57,58	(99)	85,95	(96)	130,17	(93)
24	36,03	(106)	43,97	(100)	58,45	(101)	85,07	(95)	135,38	(97)
27	35,41	(104)	44,06	(100)	58,68	(101)	84,71	(94)	132,13	(95)

Tabela 11 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $1,4434 \text{ dag L}^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	36,05	(100)	44,06	(100)	64,82	(100)	84,94	(100)	132,76	100
3	36,05	(100)	44,19	(100)	64,82	(100)	84,94	(100)	132,76	100
6	35,66	(99)	44,19	(100)	64,02	(99)	86,86	(102)	136,54	103
9	35,79	(99)	44,03	(100)	64,22	(99)	86,99	(102)	131,46	99
12	36,03	(100)	44,15	(100)	64,50	(100)	87,57	(103)	132,35	100
15	36,36	(101)	44,21	(100)	65,09	(100)	88,65	(104)	135,22	102
18	35,92	(100)	44,36	(101)	65,00	(100)	87,45	(103)	132,37	100
20	35,83	(99)	44,03	(100)	63,33	(98)	88,65	(104)	134,96	102
24	35,77	(99)	44,04	(100)	64,65	(100)	87,81	(103)	135,54	102
27	35,89	100	44,00	100	64,42	99	87,93	104	136,54	103

Tabela 12 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARA com concentração de sólidos totais de $1,5437 \text{ dag L}^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	37,89	(100)	49,09	(100)	66,76	(100)	86,64	(100)	140,97	(100)
3	37,50	(99)	48,72	(99)	66,90	(100)	87,10	(101)	141,23	(100)
6	37,09	(98)	48,36	(99)	66,63	(100)	86,98	(100)	141,57	(100)
9	36,43	(96)	47,30	(96)	66,55	(100)	85,73	(99)	137,13	(97)
12	35,98	(95)	46,72	(95)	66,27	(99)	85,61	(99)	136,57	(97)
15	35,62	(94)	46,59	(95)	66,01	(99)	86,07	(99)	138,26	(98)
18	34,69	(92)	46,19	(94)	65,15	(98)	85,27	(98)	137,95	(98)
20	34,29	(90)	44,54	(91)	65,21	(98)	85,04	(98)	140,37	(100)
24	34,27	(90)	43,87	(89)	65,01	(97)	84,49	(98)	137,75	(98)
27	34,11	(90)	43,61	(89)	64,76	(97)	84,16	(97)	136,88	(97)

Os resultados da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARA, do tempo e dos diâmetros de bocais, mostraram que as interações simples e tripla foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Resumo da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARA, dos diâmetros de bocais e do tempo de funcionamento do sistema.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios
Concentração	3	150,1732 ^{ns}
Erro (a)	6	122,3280
Bocais	4	185771,5*
Bocais x Concentrações	12	265,5980*
Erro (b)	36	100,7208
Tempo	9	12,1535*
Tempo x Concentrações	27	11,0364*
Tempo x Bocais	36	5,5013*
Tempo x Bocais x Concentrações	108	5,3572*
Resíduo	362	1,7943
CV (%) Parcela		15,08
CV (%) Subparcela		1,83
CV(%) Sub-Subparcelas		13,69

^{ns} Não-significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F.

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observando os dados apresentados nas Tabelas 9, 10, 11 e 12, pode-se verificar a ocorrência de alterações na vazão inicial em função das concentrações e do tempo. Verifica-se na Tabela 12 que, para a concentração de sólidos totais de 1,5437 dag L⁻¹, houve redução de 10% na vazão inicial para o bocal de diâmetro 0,90 mm a partir de 20 horas de funcionamento do sistema e 11% para o bocal de diâmetro de 1,00 mm, a partir de 24 horas de funcionamento, que, conforme critério adotado, configura-se como condição de entupimento. TAGLIAFERRE (2003), encontrou redução de vazão inicial de 50% para o bocal de 0,90 mm e 33% para o bocal de 1,20 mm, após 4 e 16 horas, respectivamente, de funcionamento dos microaspersores com água residuária de suinocultura. NAKAYAMA et al. (1977) observaram reduções de vazão de 25 a 50% em gotejadores com dois anos de funcionamento em função da presença de mucilagem formada por colônias de protozoários, enquanto SAGI et al. (1995), determinaram redução de vazão média de gotejadores de 38%. De acordo com PIZARRO CABELLO (1990), os bocais de diâmetros de 0,90 e 1,00 são considerados de média sensibilidade ao entupimento, uma vez que o risco de entupimento de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de saída e da velocidade da água, o que justifica uma maior redução da vazão nestes bocais. Segundo RAVINA et al. (1992) e BOMAN (1995), emissores com maiores vazões são menos suscetíveis ao entupimento.

Apesar desta redução de vazão, a tela de 80 mesh de malha não deixou passar sólidos que comprometessem rapidamente o desempenho do microaspersor nos diâmetros de bocais estudados. A tela de 80 mesh de malha pode ser recomendada para filtragem da ARA antes de sua aplicação no solo, utilizando-se sistemas de irrigação por microaspersão, considerando-se apenas o risco de entupimento proporcionado por agentes físicos. Todavia, em virtude da quantidade de esterco que é retida nesta tela, recomenda-se a utilização de um sistema de tratamento preliminar e primário da ARA, tais como grades e sedimentadores.

4.4.1.2 Vazão média dos microaspersores operando com ARB

Nas Tabelas 14, 15, 16, 17 e 18 estão apresentados os valores de vazão média para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, nas diferentes concentrações de sólidos totais da ARB, para a pressão de operação de 150 kPa

Tabela 14 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $0,6834 \text{ dag L}^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	38,12	(100)	45,15	(100)	64,30	(100)	86,89	(100)	142,26	(100)
3	38,10	(100)	45,15	(100)	64,36	(100)	86,89	(100)	141,61	(100)
6	38,10	(100)	45,12	(100)	64,24	(100)	86,77	(100)	141,25	(99)
9	38,05	(100)	45,09	(100)	64,17	(100)	86,54	(100)	140,94	(99)
12	37,98	(100)	44,96	(100)	64,05	(100)	86,00	(99)	140,34	(99)
15	37,87	(99)	44,93	(100)	63,92	(99)	85,78	(99)	140,34	(99)
18	37,85	(99)	44,84	(99)	63,74	(99)	85,56	(98)	139,74	(98)
21	37,78	(99)	44,82	(99)	63,49	(99)	85,24	(98)	139,16	(98)
24	37,72	(99)	44,72	(99)	63,37	(99)	85,12	(98)	138,26	(97)
27	37,57	(99)	44,62	(99)	63,06	(98)	84,90	(98)	138,26	(97)

Tabela 15 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,4576 \text{ dag } L^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	38,14	(100)	44,57	(100)	63,18	(100)	83,40	(100)	137,15	(100)
3	38,12	(100)	44,39	(100)	63,24	(100)	83,08	(100)	135,72	(99)
6	37,46	(98)	44,18	(99)	62,99	(100)	83,62	(100)	136,32	(99)
9	37,44	(98)	43,05	(97)	62,93	(100)	83,73	(100)	136,58	(100)
12	36,99	(97)	42,73	(96)	62,87	(100)	82,66	(99)	136,02	(99)
15	36,61	(96)	42,73	(96)	62,82	(99)	82,03	(98)	135,72	(99)
18	36,34	(95)	42,76	(96)	62,76	(99)	81,72	(98)	135,72	(99)
21	36,10	(95)	42,76	(96)	62,27	(99)	81,83	(98)	134,37	(98)
24	36,10	(95)	42,73	(96)	62,15	(98)	81,62	(98)	134,37	(98)
27	36,10	(95)	42,22	(95)	62,15	(98)	81,62	(98)	134,37	(98)

Tabela 16 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,4829 \text{ dag } L^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	38,28	(100)	46,10	(100)	64,34	(100)	86,52	(100)	132,35	(100)
3	38,19	(100)	45,84	(99)	63,90	(99)	86,17	(100)	131,27	(99)
6	37,94	(99)	45,63	(99)	63,58	(99)	85,72	(99)	131,55	(99)
9	37,67	(98)	45,66	(99)	63,33	(98)	84,93	(98)	130,48	(99)
12	36,97	(97)	44,37	(96)	63,09	(98)	83,62	(97)	129,45	(98)
15	36,43	(95)	44,17	(96)	62,97	(98)	83,62	(97)	128,65	(97)
18	36,36	(95)	43,65	(95)	62,79	(98)	82,98	(96)	127,89	(97)
21	36,30	(95)	42,45	(92)	61,86	(96)	81,52	(94)	127,37	(96)
24	36,18	(95)	42,42	(92)	60,43	(94)	81,32	(94)	127,37	(96)
27	36,06	(94)	42,31	(92)	59,81	(93)	81,01	(94)	127,37	(96)

Tabela 17 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,7955 \text{ dag } L^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	37,81	(100)	45,10	(100)	65,25	(100)	86,29	(100)	134,88	(100)
3	37,05	(98)	44,39	(98)	64,48	(99)	84,73	(98)	134,88	(100)
6	37,01	(98)	44,43	(99)	64,28	(99)	84,18	(98)	133,51	(99)
9	36,94	(98)	44,43	(99)	63,89	(98)	84,18	(98)	132,35	(98)
12	35,82	(95)	44,03	(98)	63,20	(97)	82,03	(95)	131,86	(98)
15	35,74	(95)	43,61	(97)	62,96	(96)	82,03	(95)	131,86	(98)
18	35,68	(94)	43,52	(97)	62,96	(96)	81,73	(95)	130,50	(97)
21	35,16	(93)	42,21	(94)	61,68	(95)	80,70	(94)	129,43	(96)
24	35,05	(93)	42,21	(94)	60,54	(93)	80,30	(93)	128,89	(96)
27	34,82	(92)	41,55	(92)	60,09	(92)	80,10	(93)	128,89	(96)

Tabela 18 - Vazão média do microaspersor, em $L h^{-1}$, e expressa como percentual da vazão inicial (%), para os diâmetros de bocais e os diversos tempos de avaliação, usando ARB com concentração de sólidos totais de $1,8629 \text{ dag } L^{-1}$.

Tempo de Funcionamento (h)	Diâmetros de bocais (mm)									
	0,90		1,00		1,20		1,40		1,80	
0	38,30	(100)	45,80	(100)	65,02	(100)	88,19	(100)	131,55	(100)
3	37,31	(97)	45,32	(99)	64,06	(99)	87,22	(99)	130,48	(99)
6	36,41	(95)	43,76	(96)	62,76	(97)	84,18	(95)	130,23	(99)
9	36,10	(94)	43,35	(95)	61,86	(95)	83,30	(94)	129,96	(99)
12	35,18	(92)	41,94	(92)	60,25	(93)	82,03	(93)	126,35	(96)
15	34,99	(91)	41,76	(91)	59,86	(92)	80,90	(92)	125,88	(96)
18	34,86	(91)	41,46	(91)	59,36	(91)	80,00	(91)	125,88	(96)
21	34,25	(89)	40,12	(88)	57,16	(88)	78,93	(90)	123,21	(94)
24	34,20	(89)	39,93	(87)	56,96	(88)	78,55	(89)	122,26	(93)
27	33,52	(88)	39,80	(87)	56,23	(86)	78,17	(89)	121,82	(93)

Os resultados da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARA, do tempo e dos diâmetros de bocais, mostraram que as interações simples e tripla foram significativas ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F, conforme mostrado na Tabela 19.

Tabela 19 - Resumo da análise de variância da vazão em função da concentração de sólidos totais na ARA, dos diâmetros de bocais e do tempo de funcionamento do sistema.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios
Concentração	4	728,5591*
Erro (a)	10	153,8053
Bocais	4	230197,5*
Bocais x Concentrações	16	162,0056*
Erro (b)	40	45,4753
Tempo	9	112,9532*
Tempo x Concentrações	36	13,3419*
Tempo x Bocais	36	3,4249*
Tempo x Bocais x Concentrações	144	0,6914*
Resíduo	450	3,5994
CV (%) Parcela		17,12
CV (%) Subparcela		0,71
CV(%) Sub-Subparcelas		9,31

* Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

Observando os dados apresentados nas Tabelas 14 a 18, pode-se verificar a ocorrência de alterações na vazão inicial em função das concentrações e do tempo. Verifica-se na Tabela 18, a partir de 21 horas de funcionamento do sistema, reduções na vazão inicial de 12%, 13%, 14%, 11% e 7% para os bocais de diâmetros de 0,90; 1,00; 1,20; 1,40 e 1,80 mm, respectivamente, as quais, conforme critério adotado, configura-se como condição de entupimento de todos os bocais, exceto o de 1,80 mm. De acordo com PIZARRO CABELLO (1990), diâmetros de bocais maiores que 1,5 mm são de baixa sensibilidade ao entupimento, uma vez que o risco de entupimento de um emissor depende do diâmetro mínimo do orifício de saída e da velocidade da água, o que justifica o não entupimento do bocal de diâmetro de 1,80 mm. Reduções de vazão afetam a uniformidade de aplicação de água e, conseqüentemente, reduzem a eficiência de aplicação de produtos químicos via água de irrigação.

Semelhante à tela de 80 mesh de malha, a tela de 60 mesh de malha não deixou passar sólidos que comprometessem, de forma rápida, o desempenho do microaspersor com os bocais estudados, podendo ser recomendado seu uso na filtragem da ARB. Comparativamente ao uso da tela de 80 mesh de malha, a tela de 60 mesh de malha necessitou de menor tempo para a sua desobstrução, além de se conseguir uma maior concentração de sólidos totais com menor quantidade de material adicionado, o que provocou redução significativa das vazões. TAGLIAFERRE (2003), trabalhando com telas de 40, 60 e 80 mesh de

malhas, não encontrou diferença estatística entre elas, porém, as telas de 40 e 60 mesh de malhas deixaram passar pêlos de suínos. RAVINA et al. (1992), trabalhando com 12 gotejadores de diferentes modelos e marcas comerciais, determinaram que o nível de entupimento foi similar tanto em filtros de tela de 80 mesh quanto nos de 120 mesh, sendo, no entanto, maior na abertura de 40 mesh. Portanto, a tela de 80 mesh de malha mostrou-se mais adequada à filtragem da água residuária tanto da avicultura quanto da bovinocultura para seu tratamento e posterior disposição final no solo via sistemas de irrigação por microaspersão, tomando-se por base apenas o entupimento ocasionado por agentes físicos. Todavia, em virtude da quantidade de esterco que é retida nesta tela, recomenda-se a utilização de um sistema de tratamento preliminar e primário da ARB, tal como grades e sedimentadores.

4.5. Curvas características vazão-pressão

4.5.1 Curvas características vazão-pressão para ARA

Nas Figuras 6 a 10 estão mostradas as curvas características do microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas.

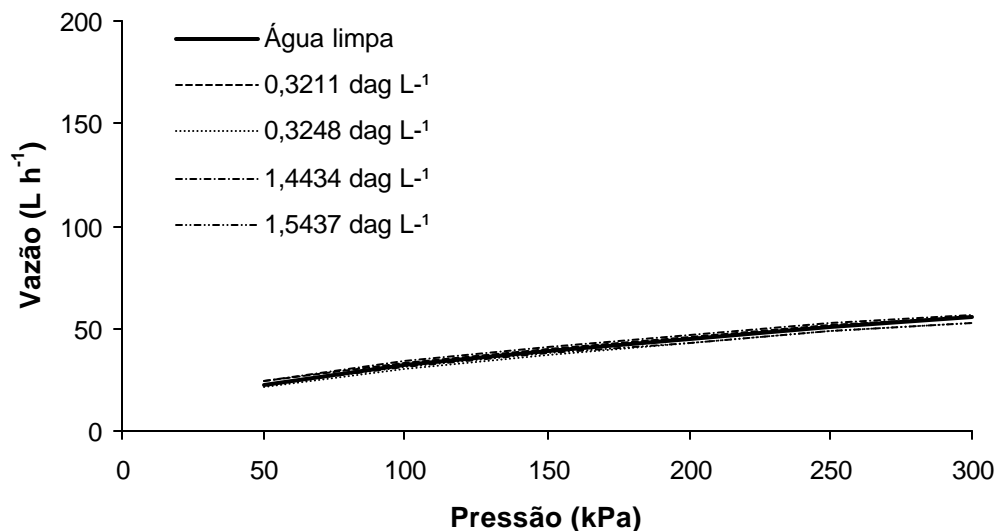


Figura 6 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 0,90 mm.

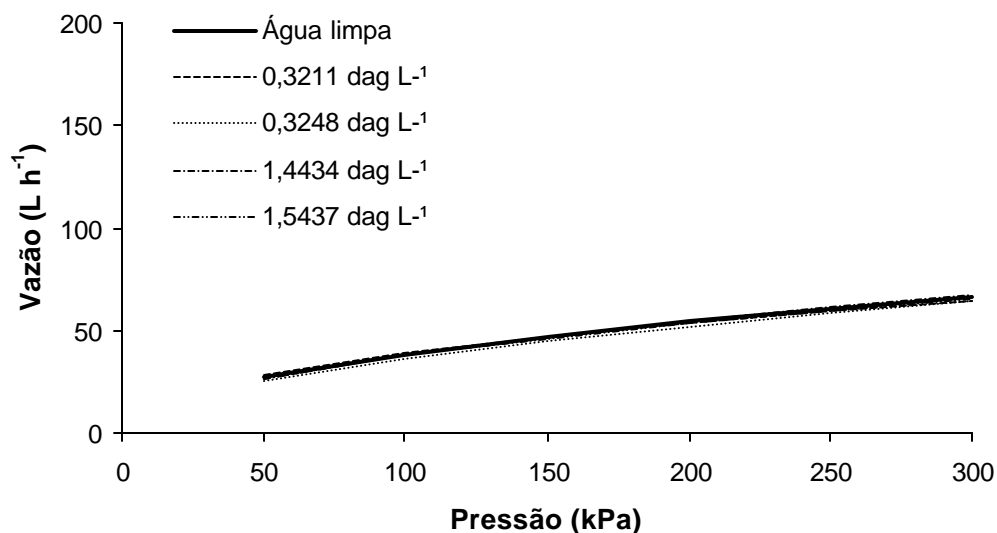


Figura 7 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,00 mm.

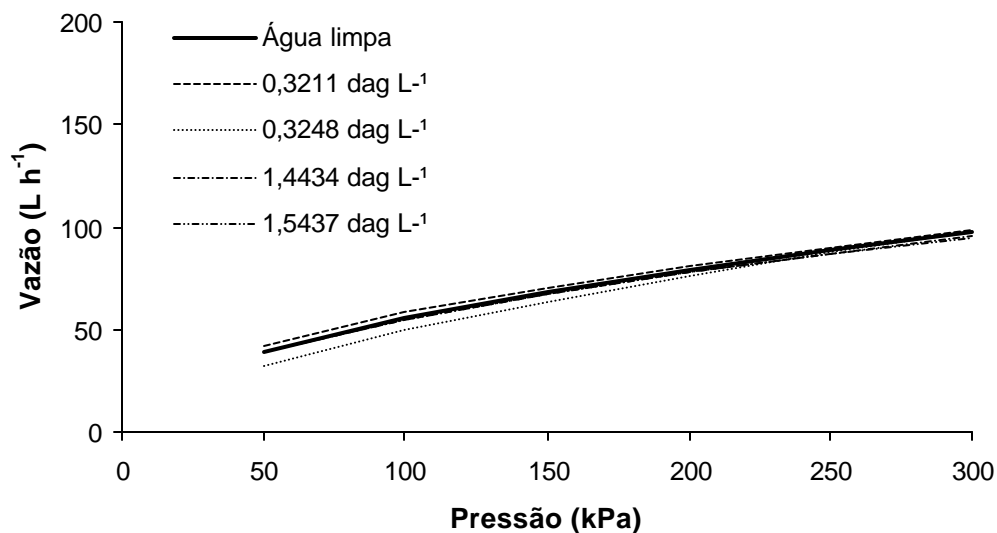


Figura 8 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,20 mm.

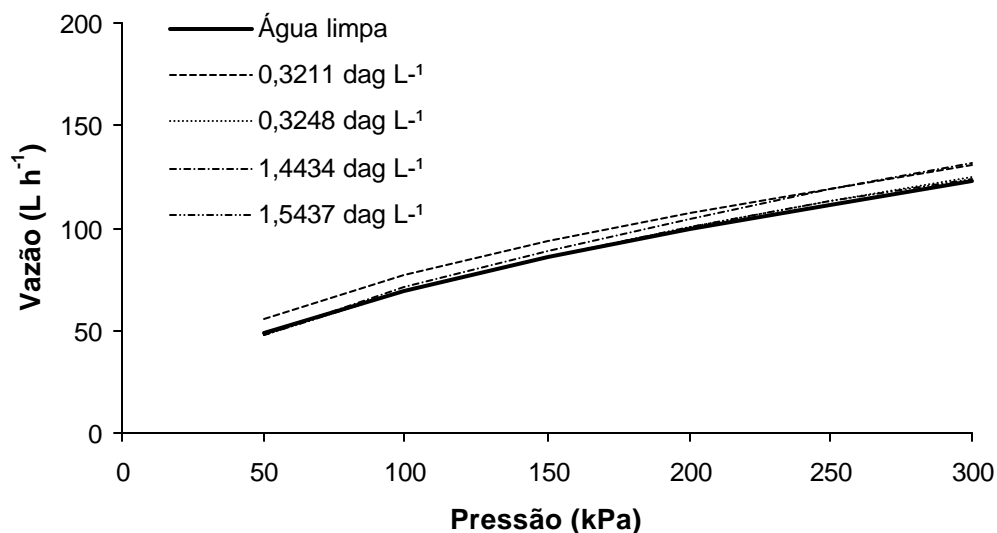


Figura 9 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,40 mm.

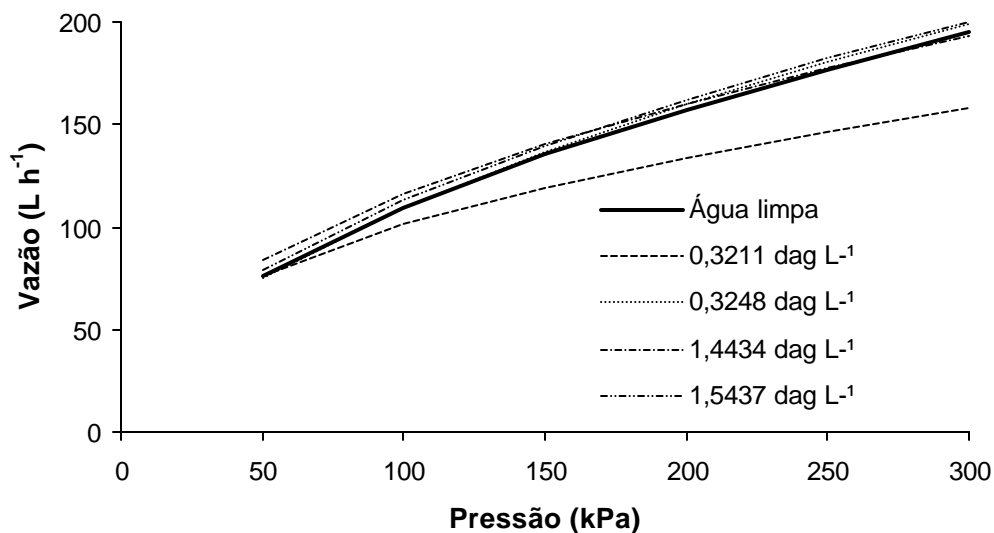


Figura 10 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARA nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,80 mm.

Para se verificar a relação existente entre as curvas apresentadas nas Figuras de 6 a 10, procedeu-se o teste de identidade de modelos. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que as curvas para água limpa e ARA, nas quatro concentrações de sólidos totais, para os diâmetros de bocais 0,90; 1,00 e 1,80 mm, não diferiram estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade, significando que a ARA, nas quatro concentrações de sólidos totais avaliadas, apresenta comportamento hidráulico igual ao da água limpa. Conforme apresentado na Tabela 21, as curvas vazão-pressão podem ser representadas pela equação comum $Q = 3,9816 H^{0,4454}$, para o bocal de 0,90 mm, $Q = 3,5501H^{0,5127}$, para o bocal de 1,00 mm e, $Q = 10,9961 H^{0,5500}$, para o bocal de 1,80 mm.

Para o bocal de 1,20 mm de diâmetro, as curvas vazão-pressão obtidas para ARA com concentrações de 0,3211 e 0,3248 dag L⁻¹, não diferiram entre si e nem em relação à água limpa, podendo ser representada pela equação comum $Q = 4,2799 H^{0,5496}$, enquanto as curvas para as concentrações 1,4434 e 1,5437 dag L⁻¹ não diferiram entre si; todavia diferiram da curva da água limpa, podendo, portanto, serem representadas pela equação comum $Q = 5,4329 H^{0,5021}$. Já para o bocal de 1,40 mm de diâmetro, as curvas obtidas para as concentrações de 0,3248 a 1,5437 dag L⁻¹ não diferiram entre si, todavia diferiram da curva obtida para a água limpa, sendo representada pela equação comum $Q = 5,7519 H^{0,5423}$. Verifica-se, ainda, para o bocal de 1,40 mm, na concentração de 0,3211 dag L⁻¹, um acréscimo de vazão de 9,56%, enquanto para as concentrações de 0,3248 a 1,5437 dag L⁻¹, este acréscimo foi de 1,75%, quando em comparação com um emissor de mesmo diâmetro, distribuindo água limpa numa pressão de 150 kPa.

Tabela 20 - Equações ajustadas e respectivas vazões (Q, em L h⁻¹) em função da pressão (H, em kPa), operando com água limpa e ARA, nas quatro concentrações de sólidos totais, para cada diâmetro de bocal.

Diâmetro do bocal (mm)	Sólidos Totais (dag L ⁻¹)	Equação	r ²
0,90	água limpa	Q = 3,3592 H ^{0,4908}	0,995
	0,3211	Q = 3,9104 H ^{0,4663}	0,995
	0,3248	Q = 2,8624 H ^{0,5118}	0,974
	1,4434	Q = 4,7238 H ^{0,4194}	0,954
	1,5437	Q = 3,2902 H ^{0,4868}	0,995
	equação comum	Q = 3,9816 H ^{0,4434}	0,960
1,00	água limpa	Q = 3,7812 H ^{0,5032}	0,996
	0,3211	Q = 4,5392 H ^{0,4649}	0,993
	0,3248	Q = 3,2740 H ^{0,5212}	0,999
	1,4434	Q = 3,4488 H ^{0,5211}	0,986
	1,5437	Q = 3,6607 H ^{0,5065}	0,991
	equação comum	Q = 3,5501 H ^{0,5127}	0,987
1,20	água limpa	Q = 5,2882 H ^{0,5111}	0,998
	0,3211	Q = 6,3438 H ^{0,4808}	0,988
	0,3248	Q = 2,9053 H ^{0,6168}	0,959
	Equação comum	Q = 4,2799 H ^{0,5496}	0,939
	1,4434	Q = 5,4282 H ^{0,5025}	0,998
	1,5437	Q = 5,4401 H ^{0,5016}	0,999
equação comum	Q = 5,4329 H ^{0,5021}	0,998	
1,40	água limpa	Q = 6,3193 H ^{0,5200}	0,998
	0,3211	Q = 8,7168 H ^{0,4741}	0,993
	0,3248	Q = 5,8876 H ^{0,5355}	0,996
	1,4434	Q = 5,4411 H ^{0,5580}	0,974
	1,5437	Q = 5,9495 H ^{0,5330}	0,998
	equação comum	Q = 5,7519 H ^{0,5423}	0,986
1,80	água limpa	Q = 9,6849 H ^{0,5261}	0,970
	0,3211	Q = 15,5780 H ^{0,4062}	0,992
	0,3248	Q = 9,0213 H ^{0,5425}	0,996
	1,4434	Q = 13,7464 H ^{0,4634}	0,998
	1,5437	Q = 10,4275 H ^{0,5065}	0,996
	equação comum	Q = 10,9961 H ^{0,5500}	0,956

4.5.2 Curvas características vazão-pressão para ARB.

Nas Figuras 11 a 15 estão mostradas as curvas características do microaspersor Fixo da marca Carborundum, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas.

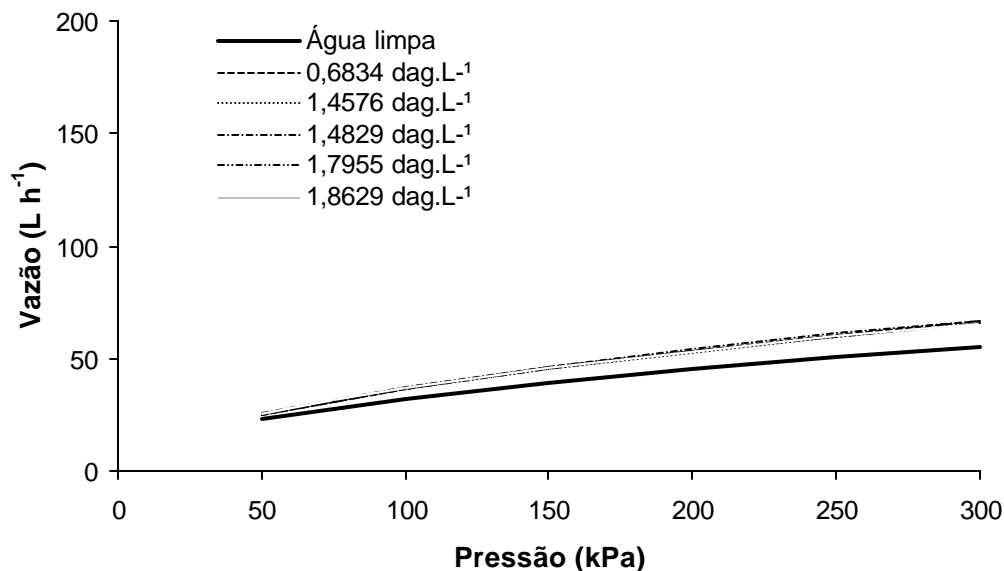


Figura 11 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 0,90 mm.

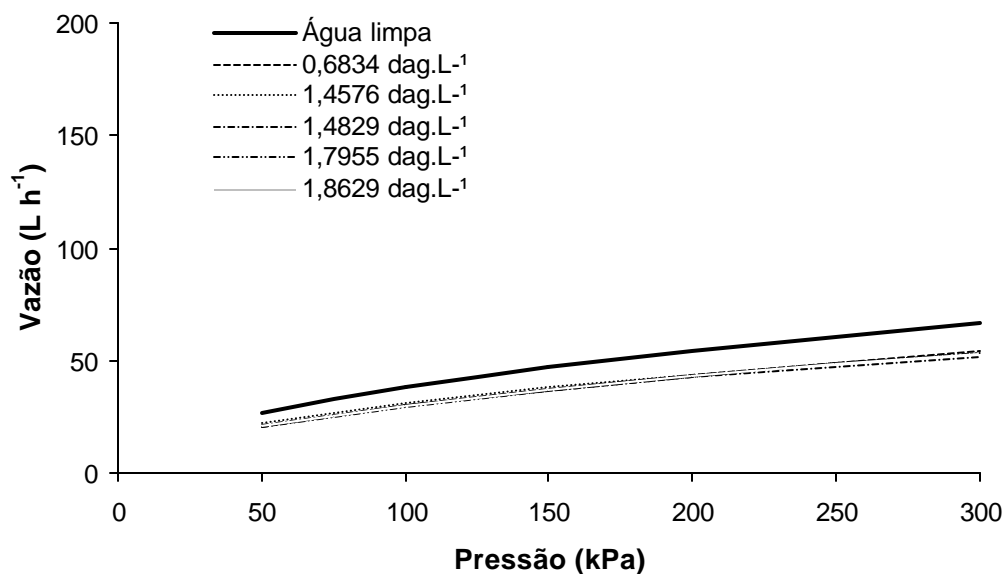


Figura 12 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,00 mm.

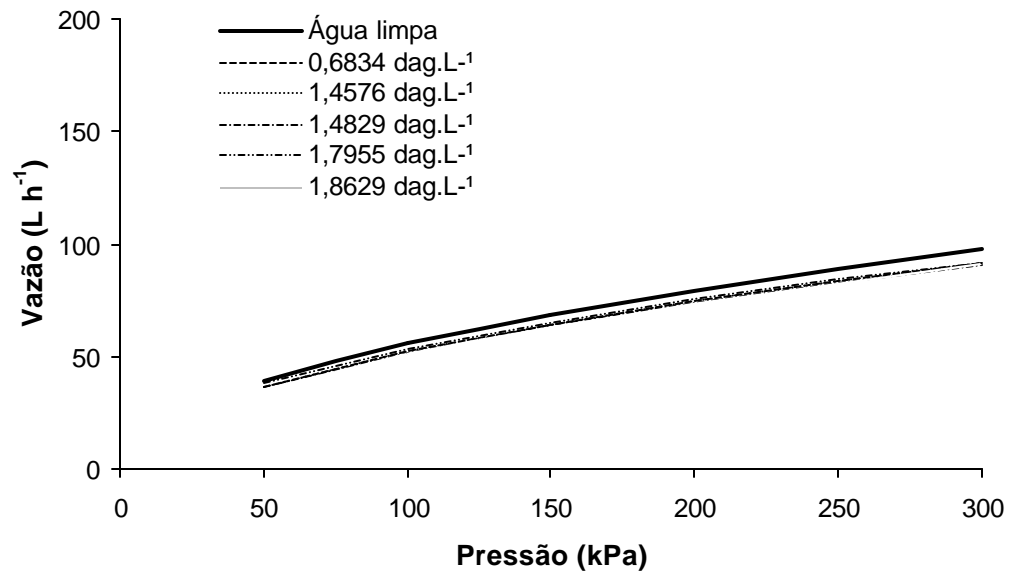


Figura 13 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,20 mm.

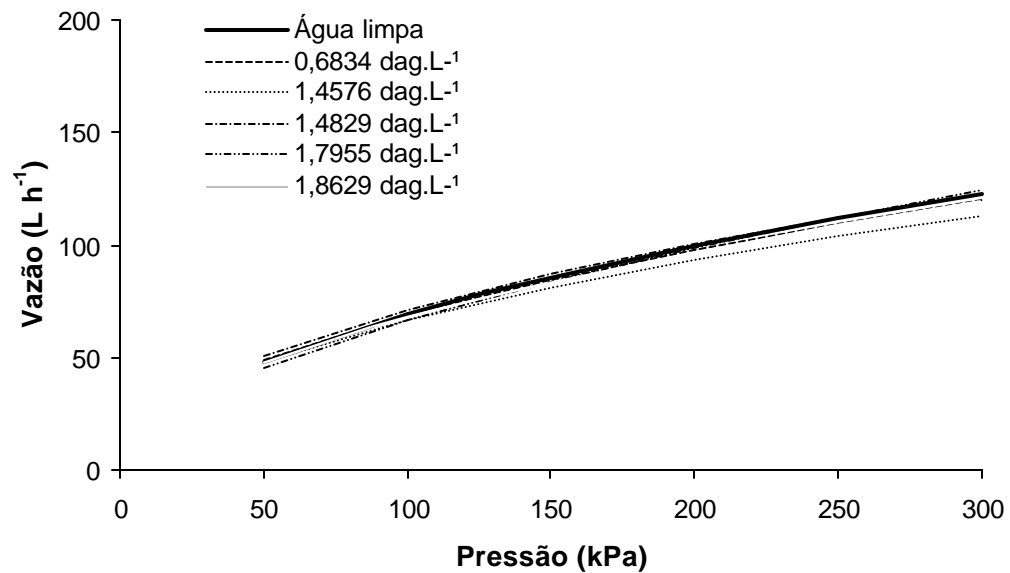


Figura 14 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,40 mm.

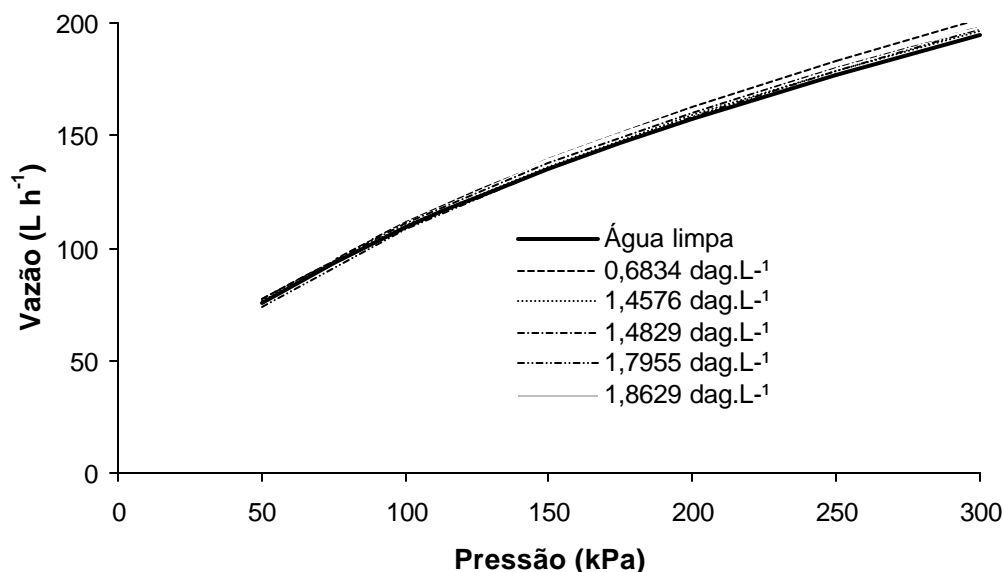


Figura 15 - Curva característica vazão-pressão do microaspersor Fixo, quando em operação com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais avaliadas, para o bocal de 1,80 mm.

Para verificar a relação existente entre as curvas apresentadas nas Figuras de 11 a 15, procedeu-se o teste de identidade de modelos. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que as curvas para água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais, para os diâmetros de bocais 0,90; 1,00 e 1,80 mm, não diferiram estatisticamente entre si, em nível de 5% de probabilidade, significando que a ARB nas cinco concentrações estudadas apresentou o mesmo comportamento hidráulico da água limpa. Conforme apresentado na Tabela 22, estas curvas vazão-pressão podem ser representadas pela equação comum $Q = 2,7709 H^{0,5196}$, para o bocal de 0,90 mm, $Q = 3,1239 H^{0,5355}$, para o bocal de 1,00 mm e $Q = 9,7255 H^{0,5284}$, para o bocal de 1,80 mm.

Para o bocal de 1,20 mm de diâmetro, as curvas vazão-pressão obtidas para ARB com concentrações de 0,6834 a 1,8629 dag L⁻¹ não diferiram entre si, todavia diferiram da curva da água limpa, podendo ser representadas pela equação comum $Q = 5,0243 H^{0,5087}$. Verifica-se, ainda, para o bocal de 1,20 mm, redução de vazão de 6,15%, quando em comparação com um emissor de mesmo diâmetro, distribuindo água limpa numa pressão de 150 kPa. Para o bocal de 1,40 mm de diâmetro, as curvas vazão-pressão para as concentrações de 0,6834 a 1,4829 dag L⁻¹, não diferiram entre si e nem em relação à da água limpa, podendo ser representadas pela equação comum $Q = 7,0577 H^{0,4986}$. Também, verifica-se

que, para a concentração de 1,7955, houve redução de vazão de 2,25%, enquanto para a concentração de 1,8629 dag L⁻¹, a redução foi de 2,18%, quando em comparação com um emissor de mesmo diâmetro, distribuindo água limpa numa pressão de 150 kPa.

Tabela 21 - Equações ajustadas e respectivas vazões (Q, em L h⁻¹) em função da pressão (H, em kPa), operando com água limpa e ARB, nas cinco concentrações de sólidos totais, para cada diâmetro de bocal

Diâmetro do bocal (mm)	Sólidos Totais (dag L ⁻¹)	Equação	r ²
0,90	água limpa	Q = 3,3592 H ^{0,4906}	0,995
	0,6834	Q = 2,5848 H ^{0,5325}	0,995
	1,4576	Q = 3,0486 H ^{0,5024}	0,995
	1,4829	Q = 2,9554 H ^{0,5021}	0,982
	1,7955	Q = 2,4253 H ^{0,5427}	0,999
	1,8629	Q = 2,8713 H ^{0,5122}	0,998
	equação comum	Q = 2,7709 H ^{0,5196}	0,987
1,00	água limpa	Q = 3,7812 H ^{0,5032}	0,996
	0,6834	Q = 3,0729 H ^{0,5391}	0,998
	1,4576	Q = 2,9791 H ^{0,5417}	0,992
	1,4829	Q = 3,3020 H ^{0,5279}	0,999
	1,7955	Q = 3,0253 H ^{0,5409}	0,986
	1,8629	Q = 3,2503 H ^{0,5251}	0,989
	equação comum	Q = 3,1239 H ^{0,5355}	0,992
1,20	água limpa	Q = 5,2882 H ^{0,5111}	0,998
	0,6834	Q = 4,9512 H ^{0,5119}	0,998
	1,4576	Q = 5,0478 H ^{0,5082}	0,998
	1,4829	Q = 5,0504 H ^{0,5062}	0,998
	1,7955	Q = 5,4248 H ^{0,4963}	0,998
	1,8629	Q = 4,6466 H ^{0,5220}	0,997
	equação comum	Q = 5,0243 H ^{0,5087}	0,997
1,40	água limpa	Q = 6,3193 H ^{0,5200}	0,998
	0,6834	Q = 6,8599 H ^{0,5019}	0,994
	1,4576	Q = 7,2649 H ^{0,4915}	0,995
	1,4829	Q = 7,3106 H ^{0,4947}	0,998
	equação comum	Q = 7,0577 H ^{0,4986}	0,995
	1,7955	Q = 4,9824 H ^{0,5630}	0,999
	1,8629	Q = 6,4379 H ^{0,5125}	0,999
1,80	água limpa	Q = 9,6849 H ^{0,5261}	0,970
	0,6834	Q = 9,5584 H ^{0,5348}	0,996
	1,4576	Q = 9,5977 H ^{0,5296}	0,999
	1,4829	Q = 9,7382 H ^{0,5284}	0,995
	1,7955	Q = 8,6166 H ^{0,5491}	0,993
	1,8629	Q = 10,7929 H ^{0,5106}	0,993
	equação comum	Q = 9,7255 H ^{0,5284}	0,992

5. RESUMO E CONCLUSÕES

As águas residuárias geradas pela avicultura e bovinocultura em regime intensivo têm se transformado em sério problema ambiental, devido ao seu grande potencial poluidor. Porém, quando usadas com base em critérios agronômicos corretos, podem se constituir em fontes de fertilizantes e serem aplicadas ao solo utilizando-se sistemas de irrigação. Nos últimos anos, os sistemas de irrigação localizada têm sido considerados como promissora alternativa para disposição final desses resíduos no solo. Entretanto, pouco se conhece sobre o desempenho de microaspersores quando em operação com esses fluidos, dificultando o dimensionamento destes sistemas de aplicação.

Nesse contexto, desenvolveu-se o presente trabalho com os seguintes objetivos: (a) caracterizar hidráulicamente o microaspersor Fixo, da marca Carborundum, quando em operação com água limpa, água residuária de avicultura (ARA) e água residuária de bovinocultura (ARB), (b) avaliar a susceptibilidade desse microaspersor ao entupimento, quando em operação com ARA e ARB, e (c) determinar a máxima concentração de sólidos totais na água residuária com a qual o microaspersor apresente o mesmo desempenho hidráulico quando em operação com água limpa.

Para este estudo, foi utilizada água limpa, ARA em quatro diferentes concentrações e ARB em cinco diferentes concentrações de sólidos totais. A ARA

utilizada apresentou concentrações de 0,3211; 0,3248; 1,4434 e 1,5437 dag L⁻¹ de sólidos totais, enquanto a ARB apresentou concentrações de 0,6834; 1,4576; 1,4829; 1,7955 e 1,8629 dag L⁻¹ de sólidos totais. A vazão foi avaliada por meio do método direto.

Para avaliar a suscetibilidade ao entupimento, utilizou-se o microaspersor Fixo, da marca Carborundum, operando com os bocais de 0,90; 1,00; 1,20; 1,40 e 1,80 mm de diâmetro. As concentrações de sólidos totais na ARA foram obtidas utilizando-se telas de 80 mesh de malha, enquanto para os ensaios com ARB, a tela utilizada era de 60 mesh de malha.

O experimento foi conduzido no esquema de parcelas sub-subdivididas, constituída pelas concentrações de sólidos totais nas águas residuárias como parcelas, os diâmetros de bocais como sub-parcelas e o tempo como sub-subparcelas, no delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. O sistema funcionou nove horas diárias, durante três dias, para cada concentração de sólidos totais das águas residuárias, perfazendo um total de 27 horas de operação. As vazões foram determinadas a cada três horas de funcionamento do sistema e a condição de entupimento dos emissores foi considerada atingida quando se constatava uma redução de vazão igual ou superior a 10% da vazão inicial, medida no início de cada teste, para cada água residuária utilizada.

Para as condições do experimento e de acordo com os resultados concluiu-se que:

- O microaspersor, nos cinco diâmetros de bocais avaliados, apresenta excelente qualidade sob o ponto de vista de controle de qualidade no processo de fabricação, apresentando CVf menor ou igual a 0,05;
- A tela de 80 mesh de malha mostrou-se mais adequada à filtragem da ARA e ARB para sua posterior disposição final no solo via de sistemas de irrigação por microaspersão, tomando-se por base apenas o entupimento ocasionado por agentes físicos;
- A ARA com concentração de 1,5437 dag L⁻¹ (15.437 mg L⁻¹ ou 1,5437 %) de sólidos totais causou o entupimento dos bocais de diâmetros 0,90 e 1,00 mm, e a ARB com concentração de 1,8629 dag L⁻¹ (18.629 mg L⁻¹ ou 1,8629 %) de sólidos totais causou o entupimento dos bocais de diâmetros

0,90; 1,00; 1,20 e 1,40 mm;

- As curvas características vazão-pressão para o microaspersor operando com os bocais de diâmetro 0,90; 1,00 e 1,80 mm, tanto para ARA como para ARB, não diferiram estatisticamente em relação à curva da água limpa e nem em relação às curvas das suas respectivas concentrações de sólidos totais avaliadas;
- Para o microaspersor operando com o bocal de diâmetro de 1,20 mm, as curvas vazão-pressão para as concentrações 0,3211 e 0,3248 dag L⁻¹ de sólidos totais na ARA, não diferiram estatisticamente entre si e nem em relação à curva da água limpa, enquanto na ARB, as cinco concentrações de sólidos totais avaliadas não diferiram entre si, todavia, diferiram em relação à curva da água limpa;
- Para o microaspersor operando com o bocal de diâmetro de 1,40 mm, as curvas vazão-pressão, para as quatro concentrações de sólidos totais na ARA, diferiram estatisticamente em relação à curva da água limpa, enquanto na ARB, as concentrações de 0,6834; 1,4576; 1,4829 dag L⁻¹ não diferiram entre si e nem em relação à curva da água limpa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada. São Paulo, ABNT, 1986, 8p. PNBR 12:02.08-022.

ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987, 317p.

ADIN, A.; SACKS, M. Dripper- clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.6, p.813-826, 1991.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA) – **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. New York: APHA, WWA, WPCR, 19º. Ed., 1995.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA - **ANUALPEC 2004** – 11ª edição: FNP Consultoria e Agroinformativos. São Paulo, p.63-67, 84-87,250-255, 2004.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. **Water Science e Technology**, 33(10-11), 1-14, (1996).

AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.139, p.40-53,1986.

BARTONE, C.; ARLOSOROFF, S. Irrigation reuse of pond effluents in developing countries. **Water Science and Technology**, v.19, n.12, p.289-297, 1987.

BATISTA, R. O. **Influência da aplicação de esgoto sanitário tratado sobre sistemas de irrigação por gotejamento**. Viçosa, 2004. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 2004.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, imprensa universitária, 1989. Cap.9, p.490-491, 1989.

BOMAN, B. J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. **Transactions of the ASAE**, v.11, n.6, p.839-843, 1995.

BOMAN, B. J.; PARSONS, L.R. Microsprinkler experiences in Florida Citrus. **Applied Engineering in Agriculture**, v.15, n.5, p.465-475, 1999.

BOMAN, B.; ONTERMAA, E. **Citrus microsprinkler clogging: Costs, causes, and cures**. Procedure: Florida State Horticultural Society, n.107.p.39-47, 1994.

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **Transactions on the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.1, p.113-119, 1981.

COSTA, E. F. DA.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-CNPMS, 315p. 1994.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BULCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3. p.142-163.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, v.22, n.3, p.514-519, 1979.

HILLS, D. J.; BRENES, M. J. Microirrigation of wastewater effluent using drip tape. **Applied Engineering in Agriculture**, v.17, n.3, p.303-308, 2001.

HUMP, H.H.; KRIST, H. **Laboratory manual for the examination of water, waste water, and soil**. Weinheim: VCH. 190p, 1992.

KELLER, J., BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. a: **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird sprinkles manufacturing corporation. 1975, 133p.

KONZEN, E. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em forma líquida**. Belo Horizonte, 1980. 556p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, UFMG, 1980.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Caderno didático n.38, Viçosa: AEAMG, 130p, 2004a.

MATOS, A. T. **Manejo e Tratamento de resíduos agroindustriais**. Caderno didático n.31, Viçosa: AEAMG, 120p, 2004b.

MATOS, A. T.; BRASIL, M. S.; FONSECA, S. P. P. **Aproveitamento de efluentes líquidos domésticos e agroindustriais na agricultura**. In: ENCONTRO DE PRESERVAÇÃO DE MANANCIAS DA ZONA DA MATA MINEIRA, 3, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: ABES-MG, 2003. p. 69.

METCALF e EDDY, INC. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales: **Tratamiento, Vertido y Reutilización**. Tercera Edición, McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A., Madrid, España.

NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**. St Joseph, v.24, n.1, p. 77-80, 1981.

NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A. Water quality in drill/trickle irrigation: a review. **Irrigation Science**, New York, v.12, p.187-192, 1991.

NAKAYAMA, F. S.; BULKS, D. A.; FRENCH, O. F. Reclaiming partially clogged trickle. **Transactions of the ASAE**, St Joseph, v.20, n.2, p. 278-280, 1977.

ORON, G.; MALACH, Y.; HOFFMAN, Z.; MANOR, Y., De-MALACH, Y. Secondary wastewater reuse. **Water and Irrigation**. Review, v.13, n.1, p.17-20, 1993.

PAES, L. A. D. **Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão**. Viçosa, 1985. 85p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 1985.

PINTO, J. M. Fertirrigação em fruticultura irrigada. **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna ITEM-ABID**. Brasília. n.49, 81p, 2001.

PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRLA, A.G. **Causes and prevention of emitter plugging in micro irrigation systems**. Florida Cooperative Extension Service. University of Florida . Bulletin 258. p.12, 1990.

PITTS, D.; PETERSON, K.; GILBERT, G.; FASTENAU, R. **Field assessment of irrigation system performance**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.12, n.3, p.307-313, 1996.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos Localizados de Alta Frecuencia**. 2 ed. Madrid: Mundi Prensa, 1990. 471p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**. Israel, v.13, n.1, p. 129-139, 1992.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar igualdade de parâmetros e identidade de modelos de regressão não linear. **Revista Ceres**, 50 (2897): 9-26, 2003.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.3, p.368-375, 2000.

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial Contamination of Vegetables Irrigated with Sewage Effluent by the Drip Method. **Journal of Food Protection**, v.41, n.5, p.336-340, 1978.

SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I.; SCHISCHA, A.; MARCU, A.; YECHIELY, Z. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. **International Microirrigation Congress**, 5, 1995. **Proceedings...**[S.P.:s.n.], 1995.

SAMPAIO, S. C. **Perda de carga em tubulações comerciais conduzindo águas residuárias de bovinocultura e suinocultura**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 158p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; DIAS, L. R. X. Potencial fertilizante do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense. **Agropecuária catarinense**, Florianópolis, v.8, n.2, p.35-43, 1995.

SMAJSTRIA, A. G. ; BOMAN, B. J. **flushing procedures for microirrigation systems**. Florida. Cooperative Extension Service. University of Florida . Bulletin 333. p.12, 1999.

SOLOMON, K. H. Global uniformity of trickle emitters. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.28, n.4, p.1151-1158, 1985.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038, 1979.

SOLOMON, K.; KELLER, J. Trickle irrigation uniformity and efficiency. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, ASCE 104(IR3), pag.293-306, 1978.

TAGLIAFERRE, C. **Perda de carga em tubulações de polietileno e avaliação da suscetibilidade ao entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura**. Viçosa, 2003. 75p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 2003.

TAJRISHY, M. A.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. **Journal of irrigation and drainage engineering**, ASCE, ISSN 0733, pag. 716-731, 1994.

TROOIJEN, T. P.; LAMM, F. R.; STONE, L. R.; ALAM, M.; ROGERS, D. H.; CLARK, G. A.; SCHLEGEL, A. J. Subsurface drip irrigation using livestock wastewater: dripline flow rates. **Applied Engineering in Agriculture**, v.16, n.5, p.505-508, 2000.

VERMEIREN, I.; JOBLING, G.A. Localized irrigation. Rome : FAO, 1980. 203p. **Irrigation and Drainage Paper**, 36.

VIEIRA, G. H. S. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido a utilização de águas ferruginosas**. Viçosa, 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 2002.

VON BERMUTH, R.; SOLOMON, K.H. Emitter construction. IN: (NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.). **Trincke irrigation for crop production**. Phoenix, Chapter 2, p.27-52, 1986

YUAN, Z.; WALLER, P. M.; CHOI, C. Y. Effects of organic acids on salt precipitation in drip emitters and soil. **Transactions of the ASAE**, St, Joseph. V.41, n.6, p.1689-1696, 1998.

ZINATO, C. E. **Perda de carga em tubulações comerciais operando com água residuária de avicultura**. Viçosa, 2003. 54p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – UFV, 2003.

APÊNDICES

Tabela 1b - Vazão média ($L h^{-1}$) de três repetições, em função da pressão (kPa), para as 20 amostras dos bocais de diâmetros 0,90 e 1,00 mm, operando com água limpa.

Bocal 0,90 mm					Bocal 1,00 mm				
100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
32,93	38,99	44,63	50,94	57,14	39,27	49,32	54,55	60,00	65,45
32,73	39,27	44,81	50,23	56,84	39,27	48,00	58,38	61,02	69,68
33,75	39,56	46,96	51,43	59,02	37,89	47,16	54,27	59,34	65,45
33,33	39,71	44,81	50,94	56,84	38,71	48,21	53,47	60,67	70,13
32,43	39,56	45,57	50,47	56,25	36,86	46,75	52,68	62,07	63,53
32,14	38,16	42,52	50,23	56,54	39,27	49,09	54,82	57,45	67,08
33,03	39,13	46,15	45,38	52,43	36,86	46,96	54,00	58,70	63,53
33,33	40,00	44,81	45,00	56,84	40,15	51,43	58,38	65,85	71,52
31,67	40,00	45,00	50,94	57,45	37,63	46,35	52,68	56,84	63,91
31,67	40,45	45,76	51,92	54,27	38,57	50,70	58,70	64,29	70,59
31,58	38,85	46,55	50,47	56,54	39,27	45,96	54,00	58,06	69,23
31,12	41,54	45,76	51,92	56,25	36,86	49,32	55,96	62,43	65,45
33,23	42,35	45,76	49,54	56,54	36,49	48,43	54,55	60,34	67,92
33,13	40,60	46,96	50,47	55,96	36,73	50,70	56,25	61,36	66,26
31,12	39,42	44,63	50,23	54,27	38,71	45,38	51,92	57,75	72,00
31,58	37,89	42,35	50,23	56,84	39,27	51,18	59,67	63,53	65,06
31,67	38,16	45,00	45,00	56,25	36,49	46,15	52,94	57,75	63,53
31,67	39,13	42,52	51,92	56,54	36,49	45,96	53,47	56,84	63,53
31,12	38,99	44,81	45,38	56,54	36,73	45,38	52,68	59,02	65,45
31,67	39,13	45,38	45,38	55,96	36,49	46,35	52,68	57,45	63,91

Tabela 2b - Vazão média ($L h^{-1}$) de três repetições, em função da pressão (kPa), para as 20 amostras dos bocais de diâmetros 1,20 e 1,40 mm, operando com água limpa.

Bocal 1,20 mm					Bocal 1,40 mm				
100	150	200	250	300	100	150	200	250	300
53,73	68,35	81,20	90,00	99,08	64,67	78,83	92,31	106,93	127,06
56,54	69,68	81,82	91,53	97,30	71,52	85,71	102,86	113,68	109,09
55,67	69,23	80,00	93,91	95,58	68,79	89,26	102,86	113,68	125,58
57,75	69,68	81,82	93,10	99,08	67,92	87,80	101,89	112,50	121,35
55,96	69,23	80,60	87,80	96,43	68,35	87,80	98,18	108,00	117,39
60,00	67,08	84,38	93,10	102,86	71,05	84,38	101,89	113,68	114,89
54,00	66,67	83,72	86,40	92,31	68,35	83,08	98,18	105,88	118,68
54,00	69,68	77,70	91,53	96,43	71,52	85,71	102,86	122,73	127,06
53,20	65,85	76,60	84,38	93,91	67,08	84,38	100,93	106,93	122,73
59,02	71,05	83,72	93,91	100,00	69,68	84,38	102,86	113,68	127,06
55,38	66,26	78,83	87,80	95,58	70,59	84,38	102,86	113,68	127,06
58,06	69,68	83,72	92,31	100,00	71,52	85,71	102,86	113,68	127,06
54,55	69,23	80,60	90,76	96,43	70,59	84,38	102,86	113,68	127,06
56,84	68,79	83,72	90,00	95,58	70,59	85,71	102,86	114,89	127,06
55,67	63,53	78,26	85,71	96,43	69,68	84,38	100,00	113,68	127,06
57,45	70,13	83,08	90,00	100,00	68,79	83,08	100,93	110,20	122,73
52,94	65,85	78,83	84,38	93,91	71,05	81,20	102,86	110,20	121,35
54,00	63,53	77,70	86,40	95,58	64,67	83,08	93,91	106,93	117,39
54,00	66,26	76,60	86,40	92,31	71,52	84,38	100,93	114,89	120,00
53,20	67,50	79,41	87,80	91,53	71,05	84,38	98,18	105,88	113,68

Tabela 3b - Vazão média ($L h^{-1}$) de três repetições, em função da pressão (kPa), para as 20 amostras do bocal de diâmetros 1,80 mm, operando com água limpa.

Bocal 1,80mm		
100	150	200
108,00	138,46	154,29
108,00	145,95	152,11
110,20	154,29	161,19
108,00	145,95	161,19
117,39	154,29	161,19
114,89	142,11	161,19
110,20	128,57	145,95
102,86	135,00	168,75
103,85	145,95	145,95
100,00	135,00	144,00
112,50	142,11	161,19
117,39	138,46	156,52
108,00	145,95	154,29
104,85	145,95	142,11
102,86	131,71	161,19
105,88	133,33	161,19
104,85	145,95	142,11
102,86	131,71	154,29
105,88	133,33	145,95
102,86	131,71	144,00

Tabela 4b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARA na concentração de sólidos totais de $0,3211 \text{ dag L}^{-1}$.

Bocal 1,40 mm		Bocal 1,20 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 1,00 mm		Bocal 0,90 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} ($L h^{-1}$)	Pressão (kPa)	\bar{Q} ($L h^{-1}$)	Pressão (kPa)	\bar{Q} ($L h^{-1}$)	Pressão (kPa)	\bar{Q} ($L h^{-1}$)	Pressão (kPa)	\bar{Q} ($L h^{-1}$)
50	56,40	60	45,63	50	76,33	60	29,78	60	26,75
80	69,23	100	59,45	80	93,91	100	39,13	100	33,09
120	81,82	140	66,12	120	104,85	140	46,69	145	39,04
160	96,43	200	78,45	175	130,12	210	54,27	210	46,55
220	114,89	270	97,01	280	153,19	270	60,11	270	54,45
240	121,35								
290	124,14								

Tabela 5b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARA na concentração de sólidos totais de 0,3248 dag L⁻¹.

Bocal 1,40 mm		Bocal 1,20 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 1,00 mm		Bocal 0,90 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	46,65	50	32,19	50	73,64	40	22,31	50	20,86
100	71,05	100	53,42	100	111,72	100	36,26	100	32,42
150	88,52	150	54,36	150	141,48	150	44,29	150	33,91
200	100,62	180	77,14	195	157,28	190	51,02	190	43,40
240	110,02	230	86,06	250	178,51	240	57,45	250	48,11
300	122,26	260	90,00	300	195,77	300	63,10	300	53,42

Tabela 6b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARA na concentração de sólidos totais de 1,4434 dag L⁻¹.

Bocal 1,40 mm		Bocal 1,20 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 1,00 mm		Bocal 0,90 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	47,86	50	38,62	50	84,49	50	27,05	20	19,35
100	73,97	100	56,15	100	116,97	100	38,23	40	19,42
150	84,93	150	66,26	150	136,71	150	43,75	80	28,35
200	101,25	215	79,02	225	171,43	200	54,68	90	29,94
250	131,17	260	89,63	310	196,36	250	62,73	150	36,36
300	124,62	305	97,15			290	68,57	205	42,35
						300	63,91	250	50,55
						310	71,05	270	52,05
								290	54,00

Tabela 7b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARA na concentração de sólidos totais de 1,5437 dag L⁻¹.

Bocal 1,40 mm		Bocal 1,20 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 1,00 mm		Bocal 0,90 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	47,13	50	38,92	50	77,23	50	25,76	50	22,39
100	70,59	100	54,36	100	116,76	95	37,44	95	30,17
150	86,63	150	67,50	150	142,73	150	47,89	150	36,20
200	101,25	200	76,69	215	167,01	200	54,92	185	42,08
250	111,34	250	87,21	255	181,01	250	60,28	250	49,09
300	123,43	300	95,58	300	199,38	300	62,61	300	53,25

Tabela 8b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARB na concentração de sólidos totais de 0,6834 dag L⁻¹.

Bocal 1,20 mm		Bocal 1,40 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 0,90 mm		Bocal 1,00 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹) ¹	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
40	32,12	30	38,07	45	72,97	60	22,43	30	19,27
95	52,17	100	68,35	95	107,11	105	31,15	100	36,00
150	64,29	150	86,86	150	144,32	150	38,12	150	46,59
180	72,00	210	94,60	195	161,19	225	46,96	200	54,75
245	82,44	250	111,72	250	185,14	300	52,34	245	58,86
320	92,97	300	122,96	300	196,36			305	66,60

Tabela 9b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARB na concentração de sólidos totais de 1,4576 dag L⁻¹.

Bocal 1,20 mm		Bocal 1,40 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 0,90 mm		Bocal 1,00 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	37,35	45	48,76	55	79,51	50	21,58	45	22,59
95	50,74	95	67,15	100	110,77	150	38,14	90	36,10
150	63,16	100	67,78	150	137,00	160	40,00	150	44,26
200	73,39	150	83,40	210	163,64	250	46,96	185	51,67
250	84,71	215	102,37	260	183,57	305	54,68	265	60,34
290	91,27	250	110,39	300	194,01			305	64,99
		300	122,50						

Tabela 10b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARB na concentração de sólidos totais de 1,4829 dag L⁻¹.

Bocal 1,20 mm		Bocal 1,40 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 0,90 mm		Bocal 1,00 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	36,99	30	39,85	50	76,33	25	14,49	50	26,05
105	52,38	110	73,22	100	114,89	105	30,80	105	38,12
150	63,04	150	86,52	150	133,61	150	38,28	150	47,23
180	71,13	200	99,08	190	153,19	200	43,78	255	61,42
255	82,55	250	113,68	245	182,54	230	47,65	300	66,80
300	91,78	300	125,10	300	197,56	300	46,42		

Tabela 11b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARB na concentração de sólidos totais de 1,7955 dag L⁻¹.

Bocal 1,20 mm		Bocal 1,40 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 0,90 mm		Bocal 1,00 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
50	37,20	50	45,16	50	75,52	50	20,31	45	25,04
100	54,18	100	66,67	100	106,75	100	29,12	90	31,84
150	66,19	150	84,71	150	129,34	150	37,05	150	44,44
185	73,14	215	102,69	215	160,79	195	43,03	200	54,00
250	82,23	245	110,39	245	184,62	300	53,07	250	60,93
300	91,65	300	124,14	300	199,38			300	67,29

Tabela 12b - Dados experimentais da vazão média (\bar{Q}) em função da pressão para a ARB na concentração de sólidos totais de 1,8629 dag L⁻¹.

Bocal 1,20 mm		Bocal 1,40 mm		Bocal 1,80 mm		Bocal 0,90 mm		Bocal 1,00 mm	
Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)	Pressão (kPa)	\bar{Q} (L h ⁻¹)
55	37,98	55	50,12	35	68,35	45	20,22	45	24,92
100	50,90	100	68,14	100	108,18	120	33,84	120	37,81
150	62,13	150	84,38	150	134,16	150	36,40	150	43,75
200	75,97	200	98,18	200	163,22	210	44,23	210	54,00
250	83,08	250	106,40	240	183,05	250	49,28	240	59,10
300	90,76	300	121,12	300	200,62			315	68,57