

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA

**DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZADO NA APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007**

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA

**DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO UTILIZADO NA APLICAÇÃO DE ÁGUA
RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA**

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

APROVADA: 17 de julho de 2007.

**Prof. Antonio Teixeira de Matos
(Co-Orientador)**

Prof. Márcio Mota Ramos

Prof. Edvaldo Fialho dos Reis

Prof. Fernando Alves Pinto

**Prof. Rubens Alves de Oliveira
(Orientador)**

**Aos meus queridos pais
Teresinha e Jorge
e às minhas queridas irmãs Raquel e Rosana.**

Dedico.

**À minha querida esposa Adriana,
fonte de amor sincero, incentivo constante
e presença em todos os momentos.**

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

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

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), por meio do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pela oportunidade e por ter ministrado os conhecimentos necessários à realização do curso.

Ao Professor Rubens Alves de Oliveira, pela orientação e participação efetiva neste trabalho.

Aos Professores Antônio Alves Soares, Antonio Teixeira de Matos, Paulo Roberto Cecon e Wilson Denículi, pelo aconselhamento e pela colaboração.

Ao Professor Everardo Chartuni Mantovani, pela colaboração e indicação das empresas Irriplan e Plastro.

Aos meus colegas de curso Denise, Delfran, Roberto, José Antônio, Adilson, José Alberto, Salomão, Paola, Fernando, Daniel, Marcelo, Cristiano, Onofre, Ronaldo, Fátima e Débora, pela amizade e convívio durante o curso.

Aos Professores Walter Yoshizo Okano, do Departamento de Biologia Animal; Rosane Maria de Aguiar Euclides, do Departamento de Biologia Vegetal; e Maria Cristina Dantas Vanetti, do Departamento de Microbiologia, pela colaboração na realização das análises biológicas.

À Doutora Iolanda Cristina Silveira Duarte, do Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, pela contribuição nas análises microscópicas do biofilme.

Às empresas Irriplan e Plastro, pela doação de material para a montagem das bancadas experimentais.

Ao estagiário Pedro, do Departamento de Engenharia Agrícola, pela dedicação e colaboração durante a coleta de dados.

À estudante Janaína, do Departamento de Biologia Animal, pela colaboração nas análises hidrobiológicas.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV Carlos Henrique (*in memoriam*), Altair, Gilberto, Francisco, Eduardo e Luiz, pela presteza na montagem da área experimental e na coleta de dados.

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

BIOGRAFIA

RAFAEL OLIVEIRA BATISTA, filho de Teresinha Oliveira Batista e Jorge Luiz Batista, nasceu em Brasília, DF, em 16 de junho de 1979.

Em 1994, iniciou o Curso Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Antônio Versiani Athayde, do Núcleo de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), em Montes Claros, MG, concluindo-o em dezembro de 1996.

Em 1997, matriculou-se no Curso de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG, graduando-se em maio de 2002.

Em abril de 2002, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, da UFV, submetendo-se à defesa da dissertação em fevereiro de 2004.

Em março de 2004, iniciou o Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Ambientais, da UFV, submetendo-se à defesa da tese em julho de 2007.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMO.....	xvii
ABSTRACT.....	xx
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A suinocultura nos cenários nacional e mundial.....	3
2.2. Volume dos dejetos de suínos.....	5
2.3. Caracterização dos dejetos de suínos.....	6
2.4. Impactos ambientais que podem ser provocados por dejetos de suínos.....	8
2.5. Legislação ambiental aplicada aos dejetos de suínos.....	11
2.6. Tratamento e disposição final dos dejetos de suínos.....	15
2.7. Vantagens e desvantagens da aplicação de águas residuárias utilizando-se sistemas de irrigação por gotejamento.....	20
2.8. Suscetibilidade ao entupimento de elementos filtrantes de sistemas de filtração.....	21
2.9. Medidas mitigadoras contra o entupimento de elementos filtrantes de sistemas de filtração.....	24
2.10. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores quanto às suas características construtivas.....	25
2.11. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores quanto à qualidade da água.....	26

2.11.1. Agentes físicos ocasionadores de entupimento em gotejadores.....	27
2.11.2. Agentes químicos ocasionadores de entupimento em gotejadores.....	29
2.11.3. Agentes biológicos ocasionadores de entupimento em gotejadores.....	32
2.11.4. Combinação dos agentes ocasionadores de entupimento em gotejadores.....	34
2.12. Equações utilizadas na análise do efeito da aplicação de águas residuárias sobre sistemas de irrigação por gotejamento.....	35
2.12.1. Efeito do entupimento na vazão de gotejadores.....	37
2.12.2. Efeito do entupimento de gotejadores na uniformidade de aplicação de efluente.....	38
2.12.3. Efeito do entupimento na pressão de serviço de sistemas de irrigação por gotejamento.....	39
2.13. Medidas mitigadoras contra o entupimento de gotejadores.....	40
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3.1. Localização e descrição da área experimental.....	44
3.2. Experimento 1: Remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com água residuária de suinocultura.....	46
3.2.1. Montagem da bancada experimental.....	46
3.2.2. Condução do experimento.....	47
3.3. Experimento 2: Influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água.....	48
3.3.1. Montagem da bancada experimental.....	48
3.3.2. Descrição dos gotejadores testados.....	49
3.3.3. Pressões de serviço testadas em fertirrigação com água residuária de suinocultura.....	50
3.3.4. Condução do experimento.....	51
3.3.5. Análise estatística.....	54
3.4. Experimento 3: Efeito da proporção de água na minimização do entupimento de gotejadores em fertirrigação com água residuária de suinocultura.....	54
3.4.1. Montagem da bancada experimental.....	54
3.4.2. Proporções de água limpa testadas em fertirrigação com água residuária de suinocultura.....	55
3.4.3. Condução do experimento.....	56
3.4.4. Análise estatística.....	58
3.4.5. Análise do tratamento da água residuária de suinocultura na UTARS.....	58

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
4.1. Experimento 1: Remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com água residuária de suinocultura.....	60
4.2. Experimento 2: Influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água.....	62
4.2.1. Curvas relacionando vazão e pressão para distintos gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água.....	62
4.2.2. Qualidade da água residuária de suinocultura e da água.....	63
4.2.3. Desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas pressões de serviço.....	72
4.2.4. Análise estatística do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas pressões de serviço.....	85
4.3. Experimento 3: Efeito da proporção de água no entupimento de gotejadores em fertirrigação com água residuária de suinocultura.....	93
4.3.1. Qualidade da água residuária de suinocultura e da água.....	93
4.3.2. Desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas proporções de água residuária de suinocultura e água.....	102
4.3.3. Análise estatística do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas proporções de água residuária de suinocultura e água.....	115
4.3.4. Caracterização do biofilme formado nas linhas laterais e gotejadores.....	128
4.3.5. Tratamento da água residuária de suinocultura na UTARS.....	132
5. RESUMO E CONCLUSÕES.....	134
6. REFERÊNCIAS.....	137

LISTA DE QUADROS

	Página
1 - Localização do plantel de suínos por região geográfica em 2006.....	3
2 - Principais países produtores de carne suína.....	4
3 - Produção média diária de esterco (E), de esterco mais urina (EU) e de dejetos líquidos (DL) nas diferentes fases produtivas dos suínos.....	6
4 - Volume de dejetos produzidos de acordo com o sistema produtivo e o nível de diluição.....	6
5 - Características física e química dos dejetos de suínos (mg L^{-1}) de acordo com o nível de diluição.....	7
6 - Características física e química dos dejetos de suínos nas fases de gestação (G), maternidade (M), creche (CR), crescimento (CS) e terminação (T).....	8
7 - Resumo dos padrões complementares de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme as legislações dos Estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS).....	13
8 - Concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos (SS), em função da vazão do efluente (Q) a ser lançado no corpo hídrico receptor, para a situação de fonte poluidora no Estado do Rio Grande do Sul.....	13

9 - Limites da aplicação de dejetos no solo em alguns países europeus.....	14
10 - Aspectos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada.....	27
11 - Principais constituintes químicos associados com problemas de entupimento.....	30
12 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.....	41
13 - Caracterização dos tanques da UTARS.....	45
14 - Especificações técnicas das telas usadas no experimento.....	47
15 - Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios: vazão nominal (Q), área do orifício (A), comprimento do labirinto (L), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e faixa de pressão recomendada (P).....	50
16 - Média e desvio-padrão das características sólidos suspensos (SS) e óleos e graxas (OG) obtidas a montante (M) e a jusante (J) das distintas peneiras operando com água residuária de suinocultura.....	60
17 - Equações de regressão ajustadas à variável vazão em função da pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água e os respectivos coeficientes de determinação.....	62
18 - Características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura filtrada, ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação.....	65
19 - Valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), média (M), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura.....	66
20 - Características física, química e microbiológica da água ao longo do tempo de funcionamento do equipamento de irrigação com respectivas médias e desvios-padrão.....	71
21 - Resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subdivididas.....	86

22 - Equações de regressão ajustadas às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, em função das pressões de serviço (P) e dos tempos de funcionamento (T), para os tipos de gotejadores estudados e os respectivos coeficientes de determinação.....	87
23 - Valores médios da variável CUC (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.....	89
24 - Valores médios da variável CUD (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.....	90
25 - Valores médios da variável CVQ (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.....	92
26 - Características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura filtrada ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação.....	94
27 - Valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), média (M), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura.....	95
28 - Caracterização dos grupos biológicos presentes na água residuária de suinocultura, ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação, identificados por microscopia óptica.....	99
29 - Características física, química e microbiológica da água ao longo do tempo de funcionamento do equipamento de irrigação com respectivas médias e desvios-padrão.....	101
30 - Resumo das análises de variância das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subdivididas.....	116
31 - Equações de regressão ajustadas à variável CUC em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água.....	117
32 - Valores médios da variável CUC (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água.....	119

33 - Equações de regressão ajustadas à variável CUD em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água.....	120
34 - Valores médios da variável CUD (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água.	122
35 - Equações de regressão ajustadas à variável CVQ em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água.....	123
36 - Valores médios da variável CVQ (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água.	125
37 - Equações de regressão ajustadas à variável vazão (Q) em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água.....	126
38 - Valores médios da variável vazão (Q, em L h ⁻¹) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água.....	127
39 - Caracterização das bactérias presentes no biofilme formado nas subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E.....	132
40 - Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas da água residuária de suinocultura a montante e a jusante dos tanques A, B, C e D, na UTARS.....	133

LISTA DE FIGURAS

	Página
1 - Comportamento do ferro, em meio líquido, na presença da matéria orgânica e do oxigênio dissolvido. As reações de complexação e oxidação ocorrem na vertical e na horizontal, respectivamente.....	31
2 - Vista parcial da Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS).....	44
3 - Bancada de testes: (a) vista dos tanques A, B, C e D; e (b) peneira inclinada com tela metálica posicionada sobre o tanque D.....	46
4 - Bancada experimental, destacando-se as unidades de controle para bombeamento de água residuária de suinocultura (a) e de água (b), a plataforma de testes (c) e as unidades de fertirrigação (d).....	49
5 - Gotejadores G1, G2 e G3 utilizados nos ensaios.....	50
6 - Bancada experimental com as quatro unidades de fertirrigação (a) e a marcação dos gotejadores nas linhas laterais (b).....	55
7 - Curvas relacionando vazão e pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água.....	63

8 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	73
9 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 = 75 kPa (a), P2 = 145 kPa (b), P3 = 215 kPa (c) e P4 = 285 kPa (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	76
10 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	78
11 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 = 75 kPa (a), P2 = 145 kPa (b), P3 = 215 kPa (c) e P4 = 285 kPa (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	80
12 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	82
13 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 = 75 kPa (a), P2 = 145 kPa (b), P3 = 215 kPa (c) e P4 = 285 kPa (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.....	84

14 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G1 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	103
15 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G1 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	106
16 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G2 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	108
17 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G2 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	110
18 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G3 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	112

19 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G3 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).....	114
20 - Gotejadores G1 (a), G2 (b) e G3 (c) limpos e com a presença de biofilme.....	129
21 - Morfologias observadas por microscopia no biofilme dos gotejadores das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E: bacilo curvo (a), bacilos em pares (b), cocos bacilos (c), filamento (d), bactéria filamentosa semelhante a <i>Methanosaeta</i> (e) e diatomácea (f) (objetiva 100, ocular 10 e zoom 1,25).....	131

RESUMO

BATISTA, Rafael Oliveira, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura.** Orientador: Rubens Alves de Oliveira. Co-Orientadores: Antônio Alves Soares, Antonio Teixeira de Matos e Paulo Roberto Cecon.

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de analisar o desempenho de sistema de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura, avaliando-se: (a) a remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas com a passagem do efluente em peneiras estáticas inclinadas; (b) a influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores operando com efluente e água; e (c) o efeito da proporção de água no entupimento de gotejadores, após a aplicação de efluente. O experimento foi conduzido na Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS), situada no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG. Na primeira etapa do trabalho, montou-se uma bancada experimental constituída de cinco peneiras com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm , destinadas à filtração de efluente da suinocultura. A amostragem da água residuária foi realizada a montante e a jusante das peneiras com frequência horária, durante um período de quatro horas. Para a segunda e terceira etapas do trabalho, montou-se outra bancada experimental composta por duas unidades de controle, para bombeamento de efluente e de água, uma plataforma em alvenaria e quatro unidades de

fertirrigação com três tipos de gotejadores: G1 - não-autocompensante com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$; G2 - não-autocompensante com vazão nominal de $1,7 \text{ L h}^{-1}$; e G3 - autocompensante com vazão nominal de $3,6 \text{ L h}^{-1}$. Cada unidade de fertirrigação constou de três subunidades, sendo uma para cada tipo de gotejador. Foram instaladas três linhas laterais com 18 m de comprimento por subunidade. Em todas as linhas laterais foram identificados 22 emissores para medição da vazão. Durante os ensaios, realizaram-se análises física, química e biológica no efluente e na água que abasteceram as unidades de fertirrigação. Na segunda etapa do trabalho, as quatro unidades de fertirrigação operaram diariamente nas pressões de 75, 145, 215 e 285 kPa por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante. A avaliação da uniformidade de aplicação da vazão nas subunidades de fertirrigação foi feita a cada 20 h, durante o período de aplicação do efluente. Na terceira etapa do trabalho, as quatro unidades de fertirrigação operaram à pressão de 105 kPa, enquanto os níveis foram: nível 1E3A - uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água; nível 2E2A - duas horas de aplicação do efluente seguidas de duas de aplicação de água; nível 3E1A - três horas de aplicação do efluente seguidas de uma de aplicação de água; e nível 4E - quatro horas de aplicação do efluente. Realizou-se a avaliação da uniformidade de aplicação da vazão nas subunidades de fertirrigação a cada 20 h, durante o período de aplicação do efluente. De acordo com os resultados, remoções consideráveis de sólidos suspensos e de óleos e graxas foram obtidas somente na peneira com abertura de $47 \mu\text{m}$. A formação de um biofilme resultante da interação entre os agentes físico, químico e biológico propiciou entupimentos parcial e total dos gotejadores e, conseqüentemente, redução na uniformidade de aplicação de efluente nas subunidades de fertirrigação. O gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3, devido à menor velocidade de escoamento do efluente e maior comprimento do labirinto. O aumento na pressão de serviço diminuiu o nível de entupimento somente nas subunidades de fertirrigação dotadas do gotejador G1, em função do aumento na velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor. Em média, as subunidades operando nas pressões de serviço P1 e P2 apresentaram maiores níveis de entupimento em relação àquelas com as pressões de serviço P3 e P4. Os níveis 1E3A e 4E foram os mais eficazes na minimização do entupimento dos

gotejadores das subunidades de fertirrigação, enquanto nos níveis 2E2A e 3E1A ocorreram os maiores níveis de entupimento. As combinações que proporcionaram menos entupimento foram o gotejador G3 associado aos níveis 1E3A e 4E. Em condições de campo, os níveis de entupimento dos gotejadores G1, G2 e G3 poderiam ser menores, devido ao menor tempo de funcionamento do equipamento para aplicação sustentável da água residuária da suinocultura.

ABSTRACT

BATISTA, Rafael Oliveira, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2007.
Performance of dripping irrigation system using swine wastewater.
Adviser: Rubens Alves de Oliveira. Co-Advisers: Antônio Alves Soares,
Antonio Teixeira de Matos and Paulo Roberto Cecon.

The objective of this work was to analyze the performance of a drip irrigation system using swine wastewater. The following parameters were evaluated: (a) removal of suspended solids, oils and greases by passing the effluent through sloped static screens; (b) influence of service pressure on clogging of drippers operating with effluent and water; and (c) effect of proportion of water on clogging of drippers, after effluent application. The experiment was conducted at the Swine Wastewater Treatment and Trickle Application Unit (UTARS), in the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa, MG. In the first stage of this work, an experimental bench consisting of five screens of 47, 56, 77, 106 and 154 μm mesh sizes was set up to filter swine effluent. Wastewater sampling was carried out hourly upstream and downstream of the sieves, during a 4-hour period. For the second and third stages of the work, another experimental bench was set up, consisting of two control units, for effluent and water pumping; a brick platform; and four fertirrigation units, with three types of drippers: G1 - non-compensating with nominal flow of 2 L h⁻¹; G2 - non-compensating with nominal flow of 1.7 L h⁻¹; and G3 - self compensating with nominal flow of 3.6 L h⁻¹. Each fertirrigation

unit consisted of three subunits, one for each type of dripper. Three lateral lines of 18 m length were installed per subunit. Twenty-two emitters for flow measurement were identified in all lateral lines. Physical, chemical and biological analyses of the effluent and water that supplied the fertirrigation units were performed during the trials. In the second stage of the work, the four fertirrigation units operated daily at pressures 75, 145, 215 and 285 kPa for four hours, with effluent applied during the first two hours and water in the remaining time. Evaluation of water application uniformity in the subunits of fertirrigation was carried out every 20 h, during the period of effluent application. In the third stage of the work, the four fertirrigation units operated at the pressure of 105 kPa, while the levels were: level 1E3A - one hour of effluent application followed by three hours of water application; level 2E2A - two hours of effluent application followed by two hours of water application; level 3E1A - three hours of effluent application followed by one hour of water application; and level 4E - four hours of effluent application. Evaluation of water application uniformity in the subunits of fertirrigation was carried out every 20 h, during the period of effluent application. The results showed that large removals of suspended solids, oils and greases were only obtained with the 47- μm screen. The biofilm formation resulted from the interaction among the physical, chemical and biological agents caused partial and total dripper clogging, and consequently reduction in the uniformity of effluent application in the fertirrigation subunits. The G1 dripper was more susceptible to clogging than G2 and G3, because of the lowest effluent flow speed and longest labyrinth length. The increase in service pressure decreased clogging level only in the fertirrigation subunits with the dripper G1 with the increase in the effluent flow speed inside the emitter. On average, the subunits operating at service pressures P1 and P2 showed higher clogging levels compared with those at service pressures P3 and P4. The levels 1E3A and 4E were most effective in reducing dripper clogging in the fertirrigation subunits, while highest clogging levels occurred at 2E2A and 3E1A. The combinations providing lowest clogging were dripper G3 associated with levels 1E3A and 4E. In the field, the clogging levels of drippers G1, G2 and G3 could be lower, because of the shortest time of equipment operation for a sustainable application of swine wastewater.

1. INTRODUÇÃO

Em 2006, o Brasil foi o quarto produtor mundial de carne suína, com produção de 2,78 milhões de toneladas, possuindo cerca de 33,61 milhões de animais. Minas Gerais tem o quarto rebanho suinícola do país, com aproximadamente 3,62 milhões de cabeças (ANUALPEC, 2006). As regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e da Zona da Mata respondem por 33,06 e 18,60%, respectivamente, do rebanho no Estado (IBGE, 2005).

Um dos maiores problemas do confinamento de animais é a quantidade considerável de dejetos produzidos por unidade de área. Quando manejados inadequadamente, esses resíduos podem causar impactos negativos ao ambiente. Nesse contexto, a atividade suinícola destaca-se como grande geradora de águas residuárias. Segundo Alves (2004), a produção média de águas residuárias em granjas suinícolas na Zona da Mata de Minas Gerais é de cerca de 30 L por animal dia⁻¹.

A utilização de águas residuárias de suinocultura na agricultura é uma alternativa para controle da poluição das águas superficiais e subterrâneas, além da disponibilização de água e fertilizantes para as culturas, reciclagem de nutrientes e aumento na produção agrícola. Entretanto, para que isso possa se tornar prática viável é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de águas residuárias de suinocultura.

O método de irrigação localizada é usado para aplicação de águas residuárias, em razão da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação tanto do produto agrícola quanto de operadores no

campo. Nos sistemas de irrigação localizada, entretanto, os emissores apresentam alta suscetibilidade ao entupimento. A sensibilidade ao problema de entupimento varia com as características do gotejador (TROOIJEN et al., 2000) e com a qualidade da água relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

A formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e partículas orgânicas e inorgânicas tem sido a principal causa de entupimento de gotejadores que operam com águas residuárias.

O entupimento de gotejadores prejudica o funcionamento geral do sistema de irrigação, afetando as suas características de operação e exigindo manutenções mais freqüentes. Geralmente, a obstrução reduz a vazão e, conseqüentemente, diminui a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação localizada.

Para a minimização do entupimento de gotejadores são recomendadas diversas técnicas. Entre as práticas mais aceitas ambientalmente estão a sedimentação, a filtração, o aumento da pressão de serviço e a limpeza das linhas laterais com água. Considerando que o uso de águas residuárias na agricultura é incipiente no Brasil, torna-se indispensável a criação de novas tecnologias de prevenção do entupimento de gotejadores, com custo acessível ao produtor e baixo risco à saúde humana, às plantas cultivadas e ao ambiente.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar o desempenho de sistema de irrigação por gotejamento quando utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura, avaliando-se: (a) a remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas com a passagem do efluente em telas com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm ; (b) a influência das pressões de serviço de 75, 145, 215 e 285 kPa no entupimento de gotejadores operando com efluente e com água; e (c) o efeito dos tempos de aplicação de água de 1, 2 e 3 h no entupimento de gotejadores, após a aplicação de água residuária de suinocultura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A suinocultura nos cenários nacional e mundial

A importância da suinocultura, no contexto nacional, reside não só no grande número de criadores envolvidos, como também no volume de empregos gerados direto e indiretamente e pela capacidade de produzir grande quantidade de proteína de alta qualidade em reduzida área e curto espaço de tempo, em comparação com outras espécies de animais de médio e grande portes.

O plantel brasileiro foi estimado em 33,61 milhões de suínos, com a seguinte distribuição, em percentual, nas distintas regiões geográficas (Quadro 1).

Quadro 1 - Localização do plantel de suínos por região geográfica em 2006

Região	Plantel de suínos (milhões)	Porcentual (%)
Sul	14,46	43,03
Sudeste	5,80	17,24
Centro-Oeste	4,04	12,02
Nordeste	7,24	21,55
Norte	2,07	6,16
Total	33,61	100

Fonte: adaptado do ANUALPEC (2006).

A suinocultura tecnificada e industrial está, em sua grande maioria, nos estados da Região Sul (Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul) e em alguns pontos dos Estados de São Paulo e Minas Gerais. Os cinco estados

mencionados são responsáveis por 58,77% do plantel de animais no país (ANUALPEC, 2006).

O Estado de Minas Gerais possui o quarto maior rebanho de suínos do país, com aproximadamente 3,62 milhões de animais, pouco mais de 10% do plantel nacional (ANUALPEC, 2006). As regiões do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e da Zona da Mata respondem por 33,06 e 18,60%, respectivamente, do rebanho no Estado (IBGE, 2005).

No ano de 2006, a produção mundial de carne suína foi estimada em 97,21 milhões de toneladas, obtidas de um plantel de, aproximadamente, 864 milhões de animais. Do total, 59,92% foram produzidos na Ásia, que possui 66,47% do plantel mundial de suínos. O continente europeu respondeu por 23,22% da produção de carne e por 19,27% do plantel, seguindo-se o continente americano (16,45 e 13,96%) e a Oceania (0,41 e 0,30%) (ANUALPEC, 2006).

A China é o maior produtor mundial de carne suína: 52 milhões de toneladas ou 53,49% do total mundial. Os cinco maiores produtores (China, União Européia, Estados Unidos, Brasil e Canadá) concentram cerca de 90,36% da produção mundial, tendo produzidos, juntos, 87,84 milhões de toneladas de carne suína. Os principais produtores dessa carne estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Principais países produtores de carne suína

Posição	Países	Produção (milhões de toneladas)
1	China	52,00
2	União Européia	21,52
3	Estados Unidos	9,63
4	Brasil	2,78
5	Canadá	1,91

Fonte: adaptado do ANUALPEC (2006).

Na América Latina, o Brasil apresenta-se como o país de maior expressão no mercado mundial: 12,37% do total de carne suína exportada no mundo em 2006. Quanto às importações, os destaques ficam para o Japão, responsável por 29,42% do total mundial, e para a Rússia, com 65,21% do total nacional (ANUALPEC, 2006).

2.2. Volume dos dejetos de suínos

A atividade suinícola integrada à agroindústria é desenvolvida em sistemas de confinamento, cujo manejo de higienização das instalações, associado às fezes e urina dos animais, resulta em um efluente denominado dejetos de suíno (DIESEL et al., 2002).

O volume de dejetos produzido diariamente por suíno é muito variável e está relacionado com o peso vivo, o número e a categoria dos animais, bem como ao tipo de bebedouro e de sistema de higienização (DIESEL et al., 2002). Estudos realizados por Sinotti (2005) indicaram que o fator determinante para produção de dejetos de suínos foi o volume de água incorporado pela higienização das instalações, durante a permanência dos animais em cada fase do ciclo criatório.

Alves (2004) apresentou, em seu trabalho, a produção de dejetos para duas granjas suinícolas, com plantéis de 4.325 e 10.751 animais, situadas na região da Zona da Mata de Minas Gerais. As quantidades de dejetos produzidos, por suíno, num dia, foram de 29 e 31 L para os plantéis de 4.325 e 10.751 animais, respectivamente, considerando a incorporação do excesso de água dos bebedouros e da higienização das instalações.

Sinotti (2005) avaliou o volume de dejetos de suínos produzidos em distintas fases do ciclo produtivo no Município de São Gabriel do Oeste, no Estado de Mato Grosso do Sul. O referido autor verificou que as quantidades médias de dejetos produzidas por suíno nas fases de creche, recria, terminação, gestação e maternidade foram de 4,01; 9,01; 10,45; 30,56; e 42,09 L dia⁻¹, respectivamente, incluída a água de higienização das instalações.

Nos Quadros 3 e 4 apresentam-se as variações nas quantidades de dejetos líquidos produzidas de acordo com a categoria de suíno e com o sistema produtivo. Apesar da época em que foram desenvolvidos os trabalhos que originaram os dados a seguir, ainda são os mais utilizados no Brasil para calcular o volume total de dejetos produzido numa suinocultura e para o dimensionamento de sistemas de tratamento ou armazenamento dos dejetos de suínos. Esses valores são adotados e recomendados pela Embrapa Suínos e Aves.

Quadro 3 - Produção média diária de esterco (E), de esterco mais urina (EU) e de dejetos líquidos (DL) nas diferentes fases produtivas dos suínos

Categoria	E (kg dia⁻¹)	EU (kg dia⁻¹)	DL (L dia⁻¹)
Suínos de 25 a 100 kg	2,30	4,90	7,00
Fêmeas em gestação	3,60	11,00	16,00
Fêmeas em lactação com leitões	6,40	18,00	27,00
Macho	3,00	6,00	9,00
Leitões	0,35	0,95	1,40
Média	3,13	8,17	12,08

Fonte: adaptado de Oliveira et al. (1993).

Quadro 4 - Volume de dejetos produzidos de acordo com o sistema produtivo e o nível de diluição

Sistema Produtivo	Nível de diluição		
	Pouco	Médio	Muito
Ciclo completo (L matriz ⁻¹ dia ⁻¹)	100	150	200
Unidade de produção de leitões (L matriz ⁻¹ dia ⁻¹)	60	90	120
Unidade de terminação (L suíno ⁻¹ dia ⁻¹)	7,5	11,2	15

Fonte: Perdomo et al. (1999).

2.3. Caracterização dos dejetos de suínos

As características dos dejetos de suínos estão associadas aos aspectos nutricionais e ao sistema de produção adotado na granja, apresentando grandes variações na concentração dos seus elementos entre criadores e dentro da própria granja (PERDOMO et al., 2001).

Nos dejetos de suínos, a concentração de nutrientes é elevada, devido à baixa eficiência alimentar dessa espécie animal. Estudos apresentados pelo NRC (1998) indicaram que 45 a 60% do nitrogênio, 50 a 80% do cálcio e fósforo e 70 a 95% do potássio, sódio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro presentes nos alimentos são excretados. Dourmad et al. (1999) notaram que 62 a 69% do nitrogênio contido nos alimentos para suínos são excretados pelos animais, sendo de 17 a 19% e de 45 a 50% do nitrogênio contido nas fezes e na urina, respectivamente. Poulsen et al. (1999) afirmaram que suínos nas fases de gestação, desmama e crescimento excretam 70, 52 e 64% do fósforo contido nos alimentos, respectivamente.

Sinotti (2005) apresentou um levantamento das cargas de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais (ST), nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) geradas diariamente em granjas suínolas operando com 400 matrizes em ciclo completo, 400 matrizes como unidade produtora de leitões e 2.520 suínos como unidade de terminação. Verificou-se, nesse estudo, que a granja de ciclo completo produz o equivalente a 4,70 kg de DQO, 3,60 kg de ST, 0,33 kg de NT e 0,10 kg de PT por matriz ao dia; a unidade produtora de leitões produz o equivalente a 1,66 kg de DQO, 1,43 kg de ST, 0,12 kg de NT e 0,04 kg de PT por matriz ao dia; e a unidade de terminação produz o equivalente a 0,48 kg de DQO, 0,34 kg de ST, 0,03 kg de NT e 0,01 kg de PT por suíno ao dia.

Os dejetos de suínos contêm, geralmente, matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais (DIESEL et al., 2002). Sánchez e González (2005) constataram que 75 e 25% do nitrogênio total contido nos dejetos de suínos estavam nas formas inorgânica e orgânica, respectivamente, enquanto o nitrogênio na forma amoniacal representou aproximadamente 57% do nitrogênio total. Por essa razão, os dejetos de suínos representam uma fonte potencial de poluição, quando não-tratados ou manejados inadequadamente. Nos Quadros 5 e 6 estão apresentadas as características física e química dos dejetos de suínos em relação ao nível de diluição e ao sistema produtivo adotado.

Quadro 5 - Características física e química dos dejetos de suínos (mg L^{-1}) de acordo com o nível de diluição

Característica	Nível de diluição		
	Pouco	Médio	Muito
Sólidos totais	57.000	38.000	29.000
Demanda bioquímica de oxigênio	16.100	10.800	8.100
Nitrogênio total	2.700	1.800	1.400
Fósforo total	940	620	470
Potássio	1.510	1.000	750

Fonte: Perdomo et al. (1999).

Quadro 6 - Características física e química dos dejetos de suínos nas fases de gestação (G), maternidade (M), creche (CR), crescimento (CS) e terminação (T)

Característica	G	M	CR	CS	T
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	3,49	2,07	3,41	1,79	3,06
pH	8,0	7,5	7,1	7,6	7,9
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	3.691	2.196	3.587	1.892	3.258
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	5,29	4,74	15,37	19,47	20,36
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	3,38	2,20	15,22	18,13	16,76
Sódio (mmol _c L ⁻¹)	4,44	2,52	3,91	2,57	17,21
Manganês total (mg L ⁻¹)	1,26	1,41	10,70	3,68	6,75
Ferro total (mg L ⁻¹)	3,94	5,83	44,00	17,71	17,50
Zinco (mg L ⁻¹)	2,41	3,84	2,09	41,00	10,60
Cobre (mg L ⁻¹)	0,61	1,32	12,20	3,43	5,24
Potássio (mg L ⁻¹)	277	102	715	291	916
Fósforo total (mg L ⁻¹)	94	64	389	150	245
Demanda bioquímica de oxigênio (mg L ⁻¹)	2.913	4.369	3.678	3.134	5.689
Demanda química de oxigênio (mg L ⁻¹)	5.987	18.471	11.299	14.291	16.069

Fonte: adaptado de Pereira (2006).

2.4. Impactos ambientais que podem ser provocados por dejetos de suínos

O uso de dejetos de suínos no solo pode causar impactos ambientais positivos e, ou, negativos no sistema solo-planta relacionados a alterações físicas, químicas e biológicas. Segundo Choudhary et al. (1996), os dejetos de suínos aumentam as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e sódio no solo e as concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio nas plantas.

A capacidade poluente dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é superior à de outras espécies animais. A demanda bioquímica de oxigênio de dejetos de suíno nas fases de gestação e lactação, com peso vivo médio de 196 kg, varia de 170 a 380 g dia⁻¹, e a humana oscila de 45 a 75 g dia⁻¹ (PERDOMO; LIMA, 1998; ASAE, 2005).

As principais manifestações de degradação ambiental decorrentes da atividade da suinocultura são a contaminação de águas superficiais e subterrâneas por compostos orgânicos, nutrientes e microrganismos entéricos; alterações das características físicas, químicas e biológicas dos solos; poluição atmosférica pela emissão de gases prejudiciais e a presença de insetos (OLIVEIRA et al., 1993).

Diesel et al. (2002) relataram que os principais constituintes dos dejetos de suínos que afetam as águas superficiais são matéria orgânica, nutrientes, bactérias fecais e sedimentos. Nitratos e bactérias fecais são os componentes que mais afetam a qualidade das águas subterrâneas. Estima-se que mais de 20% das enfermidades que atingem o homem, especialmente as crianças, estão direta ou indiretamente ligadas à contaminação da água (PERDOMO; LIMA, 1998).

Basso et al. (2005) e Ceretta et al. (2005) analisaram as perdas de nitrogênio e fósforo por percolação e escoamento superficial em Argissolo Vermelho Arênico distrófico recebendo aplicação de dejetos de suínos, durante dois anos. O dejetos de suínos foi aplicado nas doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ em parcelas de 14 m² com declividade de 4% e cultivadas com aveia-preta, milho e nabo-forrageiro, sob plantio direto rotacionado. Basso et al. (2005) observaram que, aumentando a dose de dejetos, ocorre incremento nas concentrações de nitrato na água percolada. No entanto, não perceberam efeito expressivo da dose de dejetos sobre as concentrações de fósforo disponível na água percolada. Em geral, as perdas de nitrogênio e fósforo foram pouco expressivas em relação às quantidades adicionadas, mas as concentrações de nitrato na água percolada estiveram, algumas vezes, acima do limite tolerável à qualidade da água. Ceretta et al. (2005) verificaram que as concentrações de nitrogênio e fósforo na solução escoada da superfície do solo, bem como a predominância de amônio ou nitrato, estão diretamente relacionadas à quantidade aplicada e intervalo entre aplicações do dejetos de suínos e ao primeiro escoamento superficial. Quantificaram perdas de nitrogênio e fósforo por escoamento de até 14 e 9%, respectivamente, consideradas pequenas do ponto de vista de nutrição de plantas, mas que preocupam com a possibilidade de eutroficação dos mananciais de água.

Queiroz et al. (2004) estudaram o efeito da aplicação intensiva de dejetos de suínos nas características químicas de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, cultivado com quatro espécies forrageiras, durante quatro meses. O dejetos suíno foi aplicado em parcelas de 4 m² e com 5% de declividade na taxa média equivalente a 800 kg de demanda bioquímica de oxigênio por hectare ao dia. Concluiu-se que os nutrientes fósforo, potássio, sódio e zinco aplicados se acumularam no solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, enquanto as concentrações de magnésio e cobre diminuíram.

Ceotto e Spallacci (2006) constataram aumento de 14, 28 e 17% na produção de matéria seca da alfafa cultivada em solo argilo-siltoso decorrente da aplicação de dejetos de suínos nas taxas de 300, 450 e 600 kg de nitrogênio por hectare ao ano. Observaram, também, aumento considerável na concentração de nitrato no solo, principalmente na camada de 0 a 0,4 m, nas três taxas de aplicação de dejetos de suíno.

Oliveira et al. (2000) avaliaram a influência de aplicações por percolação-infiltração de águas residuárias de suinocultura, com concentrações de 2.400, 7.000, 16.300 e 26.900 mg L⁻¹ de sólidos totais, sobre a capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. Concluíram que o aumento na concentração de sólidos totais de águas residuárias de suinocultura provocou redução na capacidade de infiltração do solo.

Solos adubados com dejetos de suínos apresentaram alteração na diversidade e no nível populacional dos microrganismos. Segundo Krapac et al. (2002), as bactérias *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Streptococcus faecium*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Proteus mirabilis*, *Providencia stuartii*, *Serratia*, *Staphylococcus* e *Klebsiella pneumoniae* surgem com freqüência nos dejetos de suínos e podem contaminar o solo.

A produção de suínos acarreta, também, outro tipo de poluição que está associada à emissão de gases, que podem causar efeitos prejudiciais à saúde do homem e dos animais, além de contribuir na formação de chuvas ácidas e no aquecimento global (PERDOMO et al., 2001). Os contaminantes do ar mais comuns nos dejetos de suínos são: amônia, metano, óxido nitroso, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, ácidos graxos voláteis, etanol, propanol e outros (OLIVEIRA et al., 1993; BELLI FILHO; LISBOA, 1998; DIESEL et al., 2002). Segundo Belli Filho e Lisboa (1998), existem mais de 200 compostos responsáveis pelos maus odores nos dejetos de suínos.

Nas instalações de confinamento de suínos, a concentração de dejetos pode acarretar níveis excessivos de amônia e sulfeto de hidrogênio no ar, afetando o crescimento e a saúde dos suínos, com sintomas de perda de apetite, vômitos e diarréias (PERDOMO et al., 2001). Estudos realizados por Silva e Marques (2004) evidenciaram alterações no comportamento e na saúde de moradores da zona rural, decorrentes da emissão de odores das criações de suínos, como sensação de intranqüilidade, irritação, náusea, dor de cabeça, dor de estômago e problemas de apetite, sono e respiração.

2.5. Legislação ambiental aplicada aos dejetos de suínos

Em termos gerais, as exigências nacionais para lançamento de efluentes da suinocultura em corpos hídricos receptores segue o disposto na Resolução CONAMA n.º 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA 357, 2005).

Resume-se, a seguir, o disposto na referida norma, em termos de padrão de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores:

- Potencial hidrogeniônico (pH): entre 5 e 9.
- Temperatura: inferior a 40 °C, sendo que a variação de temperatura do corpo hídrico receptor não deverá exceder a 3 °C na zona de mistura.
- Sólidos sedimentáveis (SP): até 1 mL L⁻¹ com o teste em cone de Imhoff, durante 1 h.
- Óleos e graxas (OG): até 20 mg L⁻¹ para óleos minerais e até 50 mg L⁻¹ para óleos vegetais e gorduras animais.
- Ausência de material flutuante.
- Os efluentes não poderão conferir ao corpo hídrico receptor características em desacordo com o seu enquadramento.

A Resolução CONAMA n.º 357/2005 também delega aos órgãos ambientais estaduais as funções de fiscalizar, orientar e punir as atividades potencialmente poluidoras, bem como definir diretrizes locais para emissão dos efluentes, caso necessário (CONAMA 357, 2005). Nesse contexto, destacam-se as legislações dos seguintes estados produtores de suínos:

- Santa Catarina (SC), com o Decreto n.º 14.250, que regulamenta dispositivos da Lei n.º 5.793, referentes à proteção e melhoria da qualidade ambiental (SANTA CATARINA, 1981).
- Rio Grande do Sul (RS), com a Portaria n.º 05/1989, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos de água interiores do Estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 1989).
- Minas Gerais (MG), com a Deliberação Normativa COPAM n.º 10/1986, complementada pela Deliberação Normativa COPAM n.º 32/1998,

que estabelecem normas e padrões para a qualidade das águas e para o lançamento de efluentes nas coleções de águas (COPAM, 1986).

- São Paulo (SP), com o Decreto n.º 8.468, que aprova a Lei n.º 997, que dispõe sobre a presença e o controle da poluição do meio ambiente (SÃO PAULO, 1976).

- Goiás (GO), com o Decreto n.º 1.745, que aprova o regulamento da Lei n.º 8.544, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente (GOIÁS, 1979).

- Mato Grosso do Sul (MS), com a Deliberação Normativa CECA n.º 003, que dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul (CECA, 1997).

No Quadro 7 estão apresentadas as condições de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores nos Estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS). Incluem-se nesse quadro os nutrientes nitrogênio total (N_{total}) e fósforo total (P_{total}), além do cobre (Cu) e do zinco (Zn), que estão presentes na dieta suína como promotores de crescimento. Estão apresentados no Quadro 8 os valores-limite para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos (SS) em função da vazão do efluente (Q) a ser lançado no corpo hídrico receptor, no Estado do Rio Grande do Sul.

Quadro 7 - Resumo dos padrões complementares de lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores conforme as legislações dos Estados de Santa Catarina (SC), Rio Grande do Sul (RS), Minas Gerais (MG), São Paulo (SP), Goiás (GO) e Mato Grosso do Sul (MS)

Estados	DBO ₅		DQO	SS	Cu	Zn	N _{total}	P _{total}	Fonte
	mg L ⁻¹	Ef _{min} (%)	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	
SC	60	80	-	-	0,5	1,0	10	1,0	Santa Catarina (1981)
RS	VR	-	VR	VR	0,5	1,0	10	1,0	Rio Grande do Sul (1989)
MG	60	85	90	100	0,5	5,0	-	-	COPAM (1986)
SP	60	80	-	-	1,0	5,0	-	-	São Paulo (1976)
GO	60	80	-	-	1,0	5,0	-	-	Goiás (1979)
MS	60	-	-	-	1,0	5,0	-	-	CECA (1997)

Ef_{min} - eficiência mínima de remoção da DBO₅ requerida pelo sistema de tratamento em %; e VR - variável com a vazão do efluente apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 - Concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos (SS), em função da vazão do efluente (Q) a ser lançado no corpo hídrico receptor, para a situação de fonte poluidora no Estado do Rio Grande do Sul

	Q (m ³ dia ⁻¹)		DBO ₅	DQO	SS
			(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)
	Q <	20	≤ 200	≤ 450	≤ 200
20	≤ Q <	200	≤ 150	≤ 400	≤ 150
200	≤ Q <	1.000	≤ 120	≤ 360	≤ 120
1.000	≤ Q <	2.000	≤ 80	≤ 240	≤ 80
2.000	≤ Q <	10.000	≤ 60	≤ 200	≤ 70
10.000	≤ Q		≤ 40	≤ 160	≤ 50

Fonte: Rio Grande do Sul (1989).

No Estado de Minas Gerais, além das normas estabelecidas pela Deliberação Normativa COPAM n.º 10/1986 para lançamento de efluentes em corpos hídricos receptores, a partir de 1995, o licenciamento e controle da atividade de suinocultura foram devidamente normalizados pela Deliberação Normativa COPAM n.º 34/1995 (COPAM, 1995).

Um ponto importante no licenciamento ambiental de granjas suinícolas em Minas Gerais consiste na utilização sustentável dos dejetos na agricultura. Para tal, a Deliberação Normativa COPAM n.º 34/1995 estabelece que a adoção da fertirrigação, como alternativa de controle ambiental, deve observar as práticas agrônômicas de manejo e conservação do solo, visando evitar

processos erosivos, saturação dos solos, contaminação de águas subsuperficiais e escoamento superficial (COPAM, 1995). Além disso, a Resolução CONAMA n.º 357/2005 alerta que a disposição de efluentes no solo, mesmo tratados, não poderá causar poluição ou contaminação das águas (CONAMA 357, 2005).

Atualmente, o Brasil não dispõe de uma legislação voltada para aplicação de dejetos de suíno no solo. Na legislação ambiental de alguns países europeus (Quadro 9), a aplicação de dejetos se baseia na quantidade de nutrientes referenciais, normalmente nitrogênio ou fósforo. Essa quantidade será balanceada com o que está disponível no solo e com o tipo de cultura a ser plantada. Dessa forma, somente será aplicado no solo o que a cultura poderá absorver, de acordo com a sua recomendação agrônômica.

Quadro 9 - Limites da aplicação de dejetos no solo em alguns países europeus

País	Limite	Fonte
França	Máximo de 170 kg de nitrogênio total por hectare ao ano Máximo de 43,8 kg de fósforo total por hectare ao ano	Jongbloed et al. (1999)
Dinamarca	Máximo de 230 kg de nitrogênio total por hectare ao ano Máximo de 1,7 unidade de animais por hectare (equivalente a três matrizes ou 30 suínos na fase de terminação)	COMMISSION DECISION (2005a) Jongbloed et al. (1999)
Holanda	Máximo de 250 kg de nitrogênio total por hectare ao ano Máximo de 52,6 e 43,8 kg de fósforo total por hectare ao ano para pastagens e outras culturas, respectivamente	COMMISSION DECISION (2005b) Jongbloed et al. (1999)
Áustria	Máximo de 230 kg de nitrogênio total por hectare ao ano	COMMISSION DECISION (2006)
Bélgica	Máximo de 250 e 170 kg de nitrogênio total por hectare ao ano para pastagens e outras culturas, respectivamente	Beghin e Metcalfe (1998)
Polônia	Máximo de 170 kg de nitrogênio total por hectare ao ano	Beghin e Metcalfe (1998)

2.6. Tratamento e disposição final dos dejetos de suínos

Os suinocultores, cientes da degradação ambiental causada pelo lançamento dos dejetos de suínos nos corpos hídricos receptores e diante da ação fiscalizadora implementada por órgãos ambientais, buscam soluções específicas no sentido de tratar, dispor ou reutilizar os resíduos.

Para a utilização sustentável dos dejetos de suínos, torna-se fundamental que, primeiramente, se conheçam suas características físicas, químicas e microbiológicas, de forma que se possam escolher tecnologias apropriadas para a sua disposição no meio ambiente, visando à maior eficiência no aproveitamento do resíduo e à minimização dos impactos negativos.

Segundo Perdomo et al. (2003), os sistemas de tratamento de dejetos são classificados em:

- Tratamento preliminar: tem por finalidade remover as partículas sólidas grosseiras (granulometrias maiores que 0,25 mm) em suspensão nos dejetos, por meio de processos físicos. Peneiras estáticas e vibratórias, caixas de areia para a remoção de sólidos sedimentáveis (areia e farelo) e caixas de separação de materiais insolúveis como óleos e graxas pertencem a essa classe.
- Tratamento primário: objetiva a redução de sólidos em suspensão por meio de estruturas em alvenaria com tempo de detenção maior que o dos tratamentos preliminares ou de equipamentos com precipitantes químicos. Nessa etapa pode, também, ocorrer a degradação anaeróbia do material orgânico em suspensão, facilitando o tratamento secundário. Sedimentadores, flotores e filtros pertencem a essa classe.
- Tratamento secundário: tem por finalidade a redução de sólidos dissolvidos e sólidos suspensos muito pequenos. Os processos biológicos de remoção utilizados classificam-se em: aeróbio - utiliza microrganismos que necessitam continuamente de oxigênio dissolvido, no meio líquido, fornecido por aeradores mecânicos ou pela circulação dos líquidos (lagoas aeradas); e anaeróbio - utiliza microrganismos que não necessitam de oxigênio dissolvido no meio líquido, sendo utilizado em dejetos com alta carga orgânica (biodigestores, reatores e lagoas anaeróbias).

- Tratamento terciário: objetiva a remoção final da matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros elementos que ainda persistem nas etapas anteriores. De modo geral, são utilizados quando o efluente da granja de suínos é lançado em corpos hídricos receptores ou para a reutilização da água. Os filtros biológicos, lagoas de maturação e lagoas de aguapés pertencem a essa classe.

As principais técnicas de tratamento dos dejetos de suínos, para lançamentos em corpos hídricos receptores, costumam combinar processos físicos e biológicos, que podem ser divididos em:

- Sedimentadores: são tanques dimensionados com velocidades de sedimentação variando de 0,1 a 0,3 m h⁻¹, que proporcionam a separação das fases sólida e líquida dos dejetos, aumentando a eficiência dos processos subseqüentes e valorizando o material resultante (lodo) para uso como adubo orgânico (DARTORA et al., 1998; PERDOMO et al., 2001). Perdomo et al. (1999) obtiveram eficiências de remoção de 48, 45, 20, 39, 18 e 27% dos sólidos suspensos, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio e coliformes fecais apenas com passagem dos dejetos de suínos em tanque sedimentador.

- Peneiras: são equipamentos que também proporcionam a separação das fases sólida e líquida dos dejetos, porém com eficiências de remoção dos sólidos menores em relação aos tanques sedimentadores (PERDOMO et al., 2001). Segundo Diesel et al. (2002), as peneiras classificam-se em estáticas, rotativas e vibratórias. As peneiras estáticas são mais simples e requerem limpeza mais constante devido ao entupimento. As peneiras vibratórias apresentam menor tendência ao entupimento, além de retirarem maior quantidade de partículas menores. As peneiras rotativas podem operar com maiores concentrações de sólidos nos dejetos, de forma contínua com pequena ou nenhuma obstrução dos crivos e com capacidade de remover partículas grandes e pequenas. Zhang et al. (2003) obtiveram remoções de 27 e 37% nas concentrações de sólidos totais e suspensos de dejetos tratados em peneira estacionária com abertura de 2 mm. Chastain et al. (2001) verificaram remoções de 15, 35, 9 e 15% na concentração de sólidos totais, demanda química de oxigênio, nitrogênio e fósforo de dejetos tratados em peneira estacionária com abertura de 0,50 mm. Estudos realizados com dejetos de animais indicaram que a eficiência de remoção de sólidos no peneiramento

depende da distribuição do tamanho de partículas, do tamanho da abertura na tela e da concentração de sólidos no afluente (CHASTAIN et al., 2001).

- Filtros orgânicos: são equipamentos constituídos de materiais filtrantes capazes de remover solutos e reter sólidos que sejam subprodutos de atividades agropecuárias e industriais. Trata-se de uma opção interessante, tendo em vista a sua abundância, o baixo custo de aquisição e a possibilidade de serem compostados, depois de utilizados (MATOS et al., 2003; Lo MONACO et al., 2004; MAGALHÃES et al., 2006). Matos et al. (2003) propuseram a utilização de filtros orgânicos no tratamento primário de dejetos de suínos. Os materiais filtrantes utilizados no estudo foram o bagaço de cana-de-açúcar, a casca de arroz, a casca de café, o fino de carvão vegetal, o sabugo de milho e a serragem de madeira, que proporcionaram remoções de até 44, 90 e 33%, nas concentrações de cobre, sólidos sedimentáveis e sólidos totais do efluente. Lo Monaco et al. (2004) obtiveram remoções de demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, nitrogênio total e fósforo total de até 40, 80, 70, 50 e 65%, respectivamente, com o tratamento de dejetos de suínos em filtros de serragem de madeira. Magalhães et al. (2006) obtiveram remoções de sólidos suspensos e sólidos totais de 90 a 99% e de 43 a 57% para os filtros de serragem de madeira e de 81 a 96% e de 50 a 56% para os filtros de bagaço de cana-de-açúcar, com tempo de operação médio de 1 a 1,7 h e área superficial de 1 m², suficiente para o tratamento de 3.600 a 5.500 L de dejetos de suínos.

- Lagoas anaeróbias: têm como objetivo principal a redução da demanda bioquímica de oxigênio e dos coliformes fecais, mas também apresentam boas eficiências de remoção de nitrogênio e fósforo dos efluentes da suinocultura. Devem apresentar no mínimo 2,2 m de profundidade, que é de fundamental importância para o desenvolvimento de bactérias anaeróbias, e relação comprimento *versus* largura de 2 a 3:1, devendo ser dimensionadas em função da carga orgânica e do tempo de detenção hidráulica, que deve oscilar entre 30 e 40 dias (DARTORA et al., 1998). Esses mesmos autores constataram eficiência de remoção de 51 e 27%, 80 e 64%, 25 e 25%, 60 e 42% e 97,7 e 97,5% dos sólidos totais, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio, fósforo e coliformes fecais de efluentes da suinocultura tratados em lagoas anaeróbias com tempos de detenção hidráulica de 35 e 46 dias, respectivamente.

- Lagoas facultativas: têm por finalidade auxiliarem no processo de redução de demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio e fósforo dos efluentes da suinocultura. Devem ter cerca de 1,0 m de profundidade útil para favorecer o desenvolvimento de fitoplâncton, devendo também ser dimensionadas com base na carga orgânica e no tempo de detenção hidráulica oscilando de 20 a 35 dias (DARTORA et al., 1998; PERDOMO et al., 1999). De acordo com Dartora et al. (1998), uma lagoa facultativa com tempo de retenção hidráulica de 35 dias proporcionou eficiências de remoção de 68, 65 e 35% nas características demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio e fósforo de efluentes da suinocultura, respectivamente.

- Lagoas de aguapés: são boas alternativas para a redução de nitrogênio e fósforo de efluentes da suinocultura. Devem ter cerca de 1,0 m de profundidade útil e não ser muito largas, tendo em vista o trabalho de retirada da vegetação. Recomenda-se um tempo de detenção hidráulica de 11 a 15 dias e retirar em torno de 1/3 da vegetação, quando esta atingir 100% da área superficial das lagoas (DARTORA et al., 1998; PERDOMO et al., 2001). Dartora et al. (1998) relataram que uma lagoa de aguapés com tempo de detenção hidráulica de 11 dias apresentou eficiência de remoção de 54, 52 e 68% das características demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio e fósforo do efluente suíno, respectivamente.

A disposição dos dejetos de suínos no solo é outra possibilidade para o tratamento dos resíduos prejudiciais ao meio ambiente. No entanto, o problema consiste na disponibilização de quantidades de nutrientes superiores à capacidade de absorção pela cultura e retenção pelo solo (PERDOMO et al., 1999; MATOS, 2007). Em geral, o nitrogênio é utilizado como nutriente referencial para a obtenção das taxas de aplicação de dejetos, conforme apresentado na equação 1, descrita por Matos (2007).

$$D_{AR} = 1000 \cdot \left[\frac{N_{abs} - \left(T_{m1} \cdot MO \cdot \rho_s \cdot p \cdot 10^7 \cdot 0,05 \cdot \frac{n}{12} \right)}{T_{m2} \cdot \frac{n}{12} \cdot N_{org} + (N_{amon} + N_{nitrate}) \cdot PR} \right] \quad (1)$$

em que:

D_{AR} = dose de aplicação da água residuária, $m^3 \text{ ha}^{-1}$;

N_{abs} = absorção de nitrogênio pela cultura para obtenção da produtividade desejada, kg ha^{-1} ;

T_{m1} = taxa anual de mineralização da matéria orgânica anteriormente existente, $\text{kg kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

MO = conteúdo de matéria orgânica do solo, kg kg^{-1} ;

ρ_s = massa específica do solo, t m^{-3} ;

p = profundidade do solo considerada, m ;

$n/12$ = fração do ano relativa ao período de cultivo (ano);

T_{m2} = taxa de mineralização do nitrogênio orgânico, $\text{kg kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$;

N_{org} = nitrogênio orgânico, mg L^{-1} ;

N_{amon} = nitrogênio amoniacal, mg L^{-1} ;

$N_{nitrate}$ = nitrogênio nítrico, mg L^{-1} ; e

PR = proporção na recuperação do nitrogênio mineral pela cultura, $\text{kg kg}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Perdomo et al. (2001) sugeriram algumas estratégias de controle da poluição ambiental causada pelos dejetos de suínos, como redução no desperdício de água nos bebedouros e na higienização das instalações; formulações adequadas da dieta, visando a uma utilização eficiente dos nutrientes; combinação de sistemas de tratamento dos dejetos; e utilização dos dejetos como fertilizantes.

2.7. Vantagens e desvantagens da aplicação de águas residuárias utilizando-se sistemas de irrigação por gotejamento

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma alternativa para o controle da poluição do sistema água-solo-atmosfera, disponibilização de água e fertilizantes para as culturas e aumento da produção agrícola. Entretanto, para que isso possa se tornar uma prática viável, é preciso aperfeiçoar as técnicas de tratamento, aplicação e manejo de efluentes.

Do ponto de vista ambiental, os sistemas de irrigação por gotejamento são os mais sustentáveis para a disposição de águas residuárias por causa da elevada eficiência de aplicação, do baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo, da minimização dos riscos de escoamento superficial, percolação e acumulação de sais próximo ao sistema radicular e da prevenção de aerossóis (SADOVSKI et al., 1978; ORON et al., 1999; WATSON; McENTYRE, 1999).

Como desvantagens, os sistemas de irrigação por gotejamento que operam com águas residuárias apresentam suscetibilidade ao entupimento dos sistemas de filtração e dos gotejadores (ADIN; SACKS, 1991; RAVINA et al., 1992; TROOIJEN et al., 2000; CAPRA; SCICOLONE, 2004; PUIG-BARGUÉS et al., 2005ab; YAMAMOTO et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2006).

Na maioria das vezes, o rápido entupimento dos sistemas de filtração está associado ao tamanho das aberturas dos elementos filtrantes e à qualidade dos efluentes (CAPRA; SCICOLONE, 2004; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; YAMAMOTO et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2006). No caso dos gotejadores, a sensibilidade ao entupimento varia com as características do gotejador e com a qualidade dos efluentes relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos (ADIN; SACKS, 1991; RAVINA et al., 1992; TROOIJEN et al., 2000; CAPRA; SCICOLONE, 2004).

2.8. Suscetibilidade ao entupimento de elementos filtrantes de sistemas de filtração

O entupimento das aberturas dos elementos filtrantes de filtros de areia, de tela e de discos está diretamente relacionado com as características, físicas, químicas e biológicas das águas residuárias (ADIN, 1987; ADIN; SACKS, 1991; RAVINA et al., 1992; RAVINA et al., 1997; CAPRA; SCICOLONE, 2004; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; YAMAMOTO et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2006).

Estudos realizados com esgoto doméstico tratado indicaram que os principais responsáveis pelo entupimento das aberturas dos elementos filtrantes foram os zooplânctons dos grupos Cladocera, Copepoda e Rotifera (RAVINA et al., 1992; RAVINA et al., 1997). Nos resultados apresentados por Yamamoto et al. (2005), verificou-se que as aberturas de 100 a 200 μm dos filtros de tela foram obstruídas por precipitados de ferro e manganês e pelo zooplâncton do grupo Bacillariophyta, com comprimento e diâmetro variando de 40 a 350 μm e de 5 a 9 μm , respectivamente.

O entupimento de filtros está associado ao princípio de que as aberturas do elemento filtrante são menores do que os diâmetros das partículas (ADIN; ALON, 1986).

A relação de “Boucher’s Law” considera um aumento exponencial da perda de carga em função do volume filtrado, conforme apresentado na equação 2. Pode ser aplicada à filtração de águas residuárias para descrever o processo de entupimento das aberturas dos elementos filtrantes (ADIN; ALON, 1986; PUIG-BARGUÉS et al., 2005).

$$\Delta H = \Delta H_0 \cdot e^{I \cdot V} \quad (2)$$

em que:

ΔH = perda de carga final no filtro, kPa;

ΔH_0 = perda de carga inicial no filtro, kPa;

V = volume filtrado, m^3 ; e

I = índice de filtrabilidade, m^{-3} .

O índice de filtrabilidade de “Boucher’s Law” depende da geometria e do tipo de elemento filtrante do filtro e da concentração de sólidos suspensos presente no efluente (ADIN; ALON, 1986). Segundo Puig-Bargués et al. (2005), quanto maior o valor do índice de filtrabilidade, maior a sensibilidade ao entupimento do sistema de filtração.

Puig-Bargués et al. (2005) afirmaram que outra consideração importante no desempenho de sistemas de filtração consiste na capacidade de remoção de características físicas (sólidos suspensos e turbidez) e químicas (demanda bioquímica de oxigênio, ferro total e manganês total) do afluente pelos elementos filtrantes.

A equação geral para a remoção de características físicas e químicas de águas residuárias é a seguinte:

$$R = 100 \cdot \left(1 - \frac{C_J}{C_M} \right) \quad (3)$$

em que:

R = remoção de características físicas e químicas da água residuária, %;

C_J = concentração de características físicas e químicas na água residuária coletada a jusante do filtro, mg L^{-1} ; e

C_M = concentração de características físicas e químicas na água residuária coletada a montante do filtro, mg L^{-1} .

Adin (1987) estudou a qualidade da filtração de filtros de areia, com diâmetro efetivo de 0,70 mm e taxas de filtração de 2,2 e 4,4 $\text{L m}^{-2} \text{s}^{-1}$; e de tela, com aberturas de 80 e 130 μm e taxa de filtração de 6,6 $\text{L m}^{-2} \text{s}^{-1}$, operando com esgoto doméstico secundário. No filtro de areia, partículas maiores que 10 μm foram removidas com eficiência de 80%, porém se observou um processo instantâneo de mais partículas no efluente do que no afluente na taxa de filtração de 4,4 $\text{L m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para partículas com tamanhos variando de 1 a 3 μm . A concentração média de sólidos suspensos no esgoto doméstico secundário foi de 104 mg L^{-1} , causando rápido entupimento do

elemento filtrante; perda de carga de 20 kPa foi obtida com 1,3 h na taxa de filtração de $2,2 \text{ L m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e somente 0,5 h na taxa de filtração de $4,4 \text{ L m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Os filtros de tela foram entupidos depois de um período de 0,5 h na taxa de filtração de $6,6 \text{ L m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A remoção dos sólidos suspensos nesses filtros foi inferior a 2%. Para variações no tamanho de partículas de 1 a 60 μm , verificou-se no filtro de tela de 80 μm que cerca de 1.300 e 1.185 partículas por mL foram contadas no afluente e efluente, respectivamente. No entanto, no filtro de tela de 130 μm foram contadas 1.245 e 1.710 partículas por mL no afluente e efluente, respectivamente. Esse processo instantâneo de mais partículas no efluente do que no afluente pode ser atribuído à ação de forças cortantes no elemento filtrante, causando a quebra de agregados e colônias de algas em células únicas ou ruptura de pequenas partículas de flocos biológicos.

Adin e Sacks (1991) utilizaram dois filtros em série, sendo o primeiro de areia com diâmetro efetivo de 0,69 mm e o segundo de discos com aberturas de 130 μm , para filtração de esgoto doméstico secundário. Constataram aumento nos valores de algumas características do efluente coletado a jusante do sistema de filtração; os sólidos suspensos passaram de 55 para 65 mg L^{-1} e a demanda química de oxigênio, de 165 para 181 mg L^{-1} .

Puig-Bargués et al. (2005) analisaram o entupimento e a qualidade de filtração de três tipos de filtros operando com efluente da indústria de carne e esgotos domésticos secundário e terciário. No estudo foram utilizados filtros de discos com aberturas de 115, 130 e 200 μm , de tela com aberturas de 98, 115, 130 e 178 μm e de areia com diâmetro efetivo de 0,65 mm. Notaram que a melhor qualidade de filtração foi obtida do filtro de areia operando com efluente da indústria de carne, proporcionando reduções de 62, 44, 33 e 69% nas características sólidos suspensos, turbidez, demanda química de oxigênio e número de partículas. Concluíram que o nível de entupimento depende da qualidade dos efluentes; para o efluente da indústria de carne, os filtros de discos entupiram mais do que os de tela e de areia; quando os esgotos domésticos secundário e terciário foram usados, os filtros de discos entupiram com menor frequência.

No trabalho apresentado por Capra e Scicolone (2004), verificou-se que os filtros de areia e de discos foram mais efetivos na filtração de águas residuárias do que os filtros de tela. No entanto, Ravina et al. (1997) alertaram sobre sérios problemas de cimentação da areia no interior dos filtros de areia,

ocasionados pela ação das sulfobactérias, o que pode ocorrer se a água residuária conter sulfeto de hidrogênio, necessitando-se, assim, da contínua substituição do elemento filtrante. Capra e Scicolone (2006) constataram que os filtros de tela são mais indicados para a filtração de águas residuárias com até 3 mg L^{-1} de sólidos suspensos.

Medeiros (2005) e Souza (2005) verificaram que a filtração de esgoto doméstico bruto com dois filtros em série, sendo o primeiro de areia com camadas de cascalho e areia e o segundo de discos com aberturas de $130 \mu\text{m}$, minimizou o entupimento de gotejadores por causa da boa remoção tanto de sólidos suspensos quanto da demanda bioquímica de oxigênio. Segundo Souza (2005), a remoção média dessas características no sistema de filtração foi de 89 e 60%, respectivamente.

2.9. Medidas mitigadoras contra o entupimento de elementos filtrantes de sistemas de filtração

A minimização do entupimento de sistemas de filtração está diretamente relacionada à qualidade das águas residuárias. O entupimento de origem física das aberturas dos elementos filtrantes é facilmente controlado pela retrolavagem. Devido à maior complexidade do entupimento de origens química e biológica, tornam-se necessários os tratamentos químicos (YAMAMOTO et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2004; CAPRA; SCICOLONE, 2006).

Ravina et al. (1997) constataram que os valores aceitáveis de perda de carga e fluxo para retrolavagem de elementos filtrantes operando com águas residuárias foram de 20 kPa e de $8,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ por m^2 de filtro, respectivamente. Os referidos autores também relataram que o volume de efluente consumido durante a retrolavagem de filtros de areia oscilou de 0,5 a 1,5% do volume total; nos filtros de tela e de discos, esse volume foi menor do que 0,5%, por isso requerem maior frequência de retrolavagem. Capra e Scicolone (2004) notaram, na maioria dos testes com águas residuárias, que a frequência de limpeza dos elementos filtrantes foi menor que 1 h; isso indica que o uso de sistemas de limpeza automática é indispensável.

Segundo Capra e Scicolone (2006), a frequência de limpeza dos elementos filtrantes que operam com águas residuárias pode ser obtida

utilizando-se a equação 4, que está relacionada à vazão e à concentração de sólidos suspensos do afluente.

$$F_c = k \cdot (Q \cdot SS)^a \quad (4)$$

em que:

F_c = frequência de limpeza do elemento filtrante, h^{-1} ;

Q = vazão do afluente, $L s^{-1}$;

SS = concentração de sólidos suspensos, $mg L^{-1}$; e

K, a = coeficientes que dependem do tipo de filtro.

A aplicação de cloro no elemento filtrante minimiza a formação de mucilagens de bactérias e, ou, protozoários. Hills e Brenes (2001) observaram que a aplicação de $150 mg L^{-1}$ de cloro total no filtro de areia, três horas a cada 10 dias, preveniu a formação de biofilme no elemento filtrante. No entanto, a cloração de efluentes com baixo potencial redox e alta concentração de sulfeto de hidrogênio causa impacto negativo no desempenho do sistema de filtração, por causa da formação de precipitados (RAVINA et al., 1997).

2.10. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores quanto às suas características construtivas

A sensibilidade ao entupimento é uma consideração muito importante na seleção de gotejadores para projetos de irrigação que operam com águas residuárias. Sete aspectos críticos relacionados à sensibilidade de obstrução pelo uso de águas residuárias são comprimentos longos da passagem de líquido, presença de regiões com regime laminar, menores vazões, menores áreas de filtração, ineficiência de mecanismo autolimpante, menores velocidades do líquido na linha lateral e seções estreitas (RAVINA et al., 1992; TROOIJEN et al., 2000; DEGHANISANIJ et al., 2003; DEGHANISANIJ et al., 2005; CARARO et al., 2006). Além disso, Capra e Scicolone (2004) verificaram maior sensibilidade ao entupimento de gotejadores tipo vortex em relação aos gotejadores tipo labirinto.

Para a aplicação de águas residuárias, os gotejadores devem apresentar tamanho de seção transversal superior a 1,0 mm (DEHGHANISANIJ et al., 2005) e velocidade de escoamento na linha lateral superior a $0,5 \text{ m s}^{-1}$ (RAVINA et al., 1997). Resende et al. (2000) afirmaram que o entupimento biológico mostrou-se mais relacionado à arquitetura interna dos gotejadores do que aos valores de vazão ou de diâmetro de orifício. Fato similar foi constatado por Cararo et al. (2006), que verificaram aumento linear do nível de entupimento com o comprimento do labirinto.

2.11. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores quanto à qualidade da água

O nível de tratamento dado às águas residuárias reflete diretamente na qualidade dos efluentes e, conseqüentemente, na sensibilidade ao entupimento dos gotejadores (BATISTA et al., 2005a; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2006). Batista et al. (2005a) constataram que o entupimento foi mais pronunciado quando os gotejadores utilizaram água residuária sem tratamento. Segundo Puig-Bargués et al. (2005), esgoto doméstico terciário proporciona menos problemas de entupimento de gotejadores em relação ao esgoto doméstico secundário. Entretanto, os trabalhos apresentados por Medeiros (2005) e Souza (2005) indicaram que a aplicação de esgoto doméstico em condições anaeróbias minimiza o potencial de formação de biofilme no equipamento de irrigação.

Existem vários agentes físicos, químicos e biológicos nas águas residuárias com elevado potencial de entupimento, particularmente de gotejadores. Tais agentes de entupimento estão apresentados no Quadro 10 e, freqüentemente, encontram-se inter-relacionados. Por essa razão, o problema é agravado, especialmente quando mais de um fator de obstrução está presente na água de fertirrigação (NAKAYAMA et al., 2006).

Quadro 10 - Aspectos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

Físicos (Sólidos suspensos)	Químicos (Precipitados)	Biológicos (Atividade bacteriana)
Partículas inorgânicas:	Carbonatos de cálcio ou magnésio	Filamentos
Areia		Lodos
Silte	Sulfato de cálcio	Deposições microbianas:
Argila	Metais pesados	Ferro
Resíduo plástico	Hidróxidos, óxidos, carbonatos, silicatos e sulfetos	Enxofre
Partículas orgânicas:	Óleo e outros lubrificantes	Manganês
Organismos aquáticos	Fertilizantes:	
Fitoplâncton	Fosfato	
Zooplâncton	Amônia líquida	
Caracol	Ferro, cobre, zinco e manganês	
Peixe		
Organismos não-aquáticos		
Larva de inseto		
Formiga		
Aranha		

Fonte: Nakayama et al. (2006).

2.11.1. Agentes físicos ocasionadores de entupimento em gotejadores

Os sólidos suspensos que podem entupir as pequenas passagens dos gotejadores, na maioria das vezes, possuem componentes orgânicos (plânctons, caracóis e insetos) e inorgânicos (areia, silte, argila e resíduo plástico). Segundo Capra e Scicolone (2006), partículas maiores que 1/4 e 1/10 do diâmetro da passagem do escoamento de efluente no gotejador representam risco potencial de entupimento quando se utiliza esgoto doméstico tratado contendo até 50 mg L⁻¹ e de 100 a 150 mg L⁻¹ de sólidos suspensos, respectivamente.

Estudos realizados com esgoto doméstico tratado apontam os sólidos suspensos como um dos principais agentes de entupimento (ADIN; SACKS, 1991; CAPRA; SCICOLONE, 2004; CAPRA; SCICOLONE, 2006). Adin e Sacks (1991) afirmaram que a severidade do entupimento, muitas vezes, depende mais do tamanho do que da quantidade de partículas na água de fertirrigação. No entanto, Capra e Scicolone (2004) notaram que esgoto doméstico secundário com concentrações de sólidos suspensos superiores a 78 mg L⁻¹ não possibilitou ótima uniformidade de aplicação de efluente nas unidades de fertirrigação. Em outro estudo, Capra e Scicolone (2006) constataram que

esgoto doméstico tratado com concentração de sólidos suspensos inferior a 50 mg L⁻¹ proporcionou mais entupimento nos gotejadores de menor vazão nominal.

Adin e Sacks (1991) consideraram as algas como um grupo de partículas orgânicas de alto potencial de obstrução, particularmente aquelas com tamanho superior a 50 µm. Identificaram no esgoto doméstico secundário algas das espécies *Ankistrodesmus*, *Chlorella*, *Coelastrium*, *Dictyosphaerium*, *Oocystis* e *Tetrahedon*. O nível populacional de *Chlorella* e *Oocystis* chegou ao valor de $4,1 \times 10^5$ células por mL de efluente. Em estudo semelhante, Ravina et al. (1992) notaram a predominância das algas *Oscillatoria*, *Spirulina* e *Anabaena*, com tamanhos superiores a 40 µm, no esgoto doméstico secundário das unidades de fertirrigação.

Dehghanisani et al. (2003) verificaram que plânctons, mesmo em baixos níveis populacionais, representam risco potencial de entupimento de gotejadores. No esgoto doméstico secundário foram identificados os grupos Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Aschelminthos, Copepoda e Branchopoda. Porém, predominaram as espécies *Synedra* e *Asterionella* do grupo Bacillariophyta com tamanho de até 40 µm. Yamamoto et al. (2005) também constataram problema de entupimento de gotejadores com plânctons dos grupos Chlorophyta, Cyanophyta e Bacillariophyta.

Segundo Taylor et al. (1995), apenas 6% dos gotejadores que aplicaram água residuária foram entupidos por partículas inorgânicas. Nesse sentido, Hills e El-Ebaby (1990) comprovaram que a aplicação de água contendo somente partículas inorgânicas (isenta de bactérias e algas) com tamanho de até 400 µm causou pequenas reduções nas vazões iniciais dos gotejadores. No entanto, os gotejadores que receberam a aplicação de água contendo partículas orgânicas (algas com tamanho de até 150 µm) apresentaram entupimento gradual devido ao crescimento bacteriano internamente.

Qingrong e Wenchu (2000) desenvolveram um modelo empírico que estima a probabilidade de entupimento físico com base em processos de transporte e sedimentação de sólidos suspensos no interior das linhas laterais de sistemas de irrigação por gotejamento, conforme apresentado na equação 5. Verificaram que fatores como concentração de sólidos suspensos, diâmetro de partícula, diâmetro da linha lateral, vazão do gotejador e número de

gotejadores na linha lateral foram correlacionados com a probabilidade de entupimento. Notaram também que o diâmetro da linha lateral foi o fator mais sensível ao processo de obstrução.

$$P = \frac{K \cdot C_0^{\frac{1}{3m}} \cdot d^{\frac{2}{3}} \cdot D^{\frac{7}{3}}}{N \cdot q_e} \quad (5)$$

em que:

P = probabilidade de entupimento de gotejadores na linha lateral, %;

C₀ = concentração de sólidos suspensos na água de irrigação, kg m⁻³;

d = diâmetro de partícula, m;

D = diâmetro da linha lateral, m;

q_e = vazão dos gotejadores, m³ h⁻¹;

k e m = constantes obtidas graficamente que dependem da velocidade do escoamento, da gravidade e da resistência ao escoamento; e

N = número de gotejadores na linha lateral.

2.11.2. Agentes químicos ocasionadores de entupimento em gotejadores

A salinidade é uma importante característica dos efluentes utilizados na agricultura, podendo trazer problemas de obstrução de gotejadores quando existe interação entre os íons, gerando precipitados ou promovendo o desenvolvimento de lodo. De acordo com Nakayama et al. (2006), os precipitados químicos resultam de reações dos íons catiônicos cálcio, magnésio, manganês e ferro com os íons aniônicos sulfatos, fosfatos, silicatos e hidróxidos (Quadro 11). Além disso, alguns precipitados se formam a partir das reações de cátions solúveis com compostos orgânicos, como açúcares, aminoácidos, ácidos húmicos e fúlvicos, subprodutos microbianos e plantas em decomposição.

Quadro 11 - Principais constituintes químicos associados com problemas de entupimento

Cátion (+)	Ânion (-)	Íons precipitados com ânions
Insolúvel	CO ₃ Carbonato	Ca, Mg
Ca cálcio	HCO ₃ Bicarbonato	Ca, Mg
Mg magnésio	PO ₄ Fosfato	Ca, Mg, Fe
Fe ferro	OH Hidróxido	Ca, Mg
Mn manganês	SO ₄ Sulfato	Ca, Mg, Fe, Mn
Solúvel		
Na sódio	NO ₃ Nitrato	
K potássio	Cl Cloreto	

Fonte: Nakayama et al. (2006).

A precipitação de carbonato de cálcio prevalece em águas contendo elevadas concentrações de cálcio e bicarbonatos. O entupimento ocorre quando tais precipitados acumulam nas estreitas passagens de água do gotejador (NAKAYAMA et al., 2006). No trabalho apresentado por Hills et al. (1989), observou-se que elevados valores dos cátions cálcio e magnésio, do potencial hidrogeniônico e da temperatura, favoreceram a precipitação química nos gotejadores, principalmente com carbonato de cálcio, e que os maiores níveis de entupimento ocorreram nos gotejadores que aplicaram água com condutividade elétrica de 2,02 dS m⁻¹. Capra e Scicolone (2004) notaram que concentrações de demanda bioquímica de oxigênio superiores a 25 mg L⁻¹ não possibilitaram ótima uniformidade de aplicação de efluente nos sistemas de aplicação.

Severos problemas de entupimento de gotejadores são ocasionados pela precipitação do ferro presente na água de fertirrigação. Segundo Nakayama et al. (2006), concentrações de íon ferroso (Fe²⁺) superiores a 0,4 mg L⁻¹ acarretam a formação de lodo nas paredes internas do equipamento de irrigação. Theis e Singer (1974) constataram que o ferro nas formas ferrosa (Fe²⁺) e férrica (Fe³⁺) pode ser estabilizado em ambientes aquáticos por matéria orgânica em excesso. Constataram que o Fe²⁺ forma complexos com a matéria orgânica resistente à oxidação mesmo na presença de oxigênio dissolvido.

Theis e Singer (1974) propuseram um esquema para explicar o comportamento do ferro na presença de substâncias húmicas, conforme apresentado na Figura 1. Na ausência de quantidades apreciáveis de matéria orgânica dissolvida, o Fe²⁺ é oxidado rapidamente, com a introdução de

oxigênio, a Fe^{3+} , o qual precipita como hidróxido férrico $Fe(OH)_3$ (Reações 1 e 2 da Figura 1). Quando concentrações significativas de matéria orgânica estão presentes, a reação de complexação com Fe^{2+} compete com a reação de oxigenação (Reação 3 da Figura 1). As frações de Fe^{2+} complexados ou oxidados dependem do pH, da quantidade e do tipo de material orgânico presente. A oxidação do Fe^{2+} complexado (Reação 4 da Figura 1) ocorre lentamente até formar o complexo férrico correspondente com a matéria orgânica. O Fe (III) resultante torna-se instável, sendo em seguida reduzido pelo composto orgânico (Reação 5 da Figura 1). O Fe^{2+} fica livre para participar de um novo ciclo. O material orgânico oxidado pode, ainda, ser capaz de complexar o ferro novamente e participar de novos ciclos até se oxidar em uma forma inerte. A taxa da Reação 5 depende do tipo específico do composto orgânico que é complexado com o ferro. Uma competição ocorre para o Fe^{3+} entre o material orgânico e o hidróxido (Reações 2 e 6 da Figura 1). Novamente, o potencial hidrogeniônico é um fator a ser considerado nas proporções relativas do Fe^{3+} complexado pelo material orgânico (Reação 6 da Figura 1), reduzido pelos compostos orgânicos (Reação 5 da Figura 1), ou complexado pelo hidróxido (Reação 2 da Figura 1).

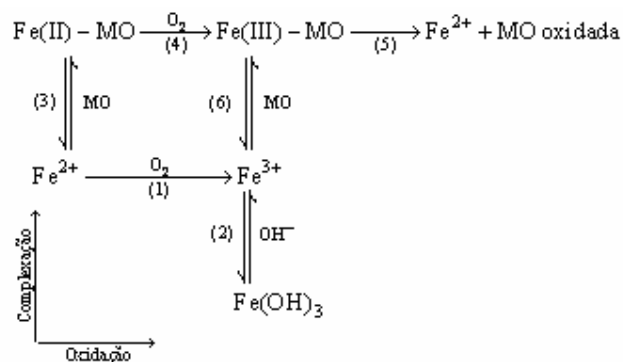


Figura 1 - Comportamento do ferro, em meio líquido, na presença da matéria orgânica e do oxigênio dissolvido. As reações de complexação e oxidação ocorrem na vertical e na horizontal, respectivamente.

O enxofre é outro elemento químico que pode trazer problemas de obstrução de gotejadores devido à formação de precipitado. Geralmente, tal processo ocorre nas águas com pequenas concentrações de oxigênio dissolvido pela oxidação do sulfeto de hidrogênio a enxofre elementar (FORD; TUCKER, 1975). Pizarro Cabello (1990) relatou que águas contendo

concentrações de sulfeto de hidrogênio superiores a 0,1 mg L⁻¹ representam risco potencial de entupimento de gotejadores.

A composição química de partículas orgânicas e inorgânicas pode estimular o desenvolvimento de microrganismos no interior dos gotejadores e, conseqüentemente, agravar os problemas de obstrução. Adin e Sacks (1991) constataram que a composição química dos sedimentos depositados nos gotejadores modifica com o tempo; no inverno e na primavera, os resultados indicaram maiores porcentagens de alumínio e sílica, enquanto no verão foram observadas altas porcentagens de fósforo e cálcio.

2.11.3. Agentes biológicos ocasionadores de entupimento em gotejadores

O entupimento de gotejadores ocasionado por agentes biológicos, na maioria das vezes, está associado à formação de mucilagens resultantes da atividade de bactérias, fungos e protozoários (RAVINA et al., 1992; SAGI et al., 1995; RESENDE et al., 2000; BATISTA et al., 2005a; Ü ŞAHIN et al., 2005; BATISTA et al., 2006). As características temperatura, matéria orgânica e pH influenciam tanto o crescimento das populações de microrganismos quanto o desenvolvimento de mucilagens. Pesquisas comprovam que as temperaturas compreendidas entre 20 e 30 °C favorecem a formação de muco microbiano, que podem desenvolver-se também sob baixas temperaturas (PIZARRO CABELLO, 1990).

Muitas espécies de bactérias podem causar impactos negativos, como alteração na coloração da água, produção de odores e formação de precipitados e mucilagens. Nas águas residuárias, as bactérias se reproduzem rapidamente com a liberação de estruturas capsulares, excreções extracelulares e nutrientes secundários que podem ser utilizados por outros organismos (NAKAYAMA et al., 2006).

Análises biológicas detalhadas do biofilme de gotejadores indicam que as bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Flavobacterium*, *Vibro*, *Brevibacterium*, *Micrococcus* e *Bacillus* propiciam severos problemas de obstruções (NAKAYAMA et al., 2006). No estudo realizado por Resende et al. (2000) foi identificada somente a bactéria do gênero *Bacillus* nos gotejadores entupidos. Batista et al. (2005a) notaram a

predominância da bactéria *Enterobacter* na mucilagem de gotejadores que operaram com água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro tratada em filtro orgânico. De Beer et al. (1994) constataram a formação de mucilagens em tubulações devido à atividade das bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Klebsiella pneumoniae*.

As bactérias que oxidam o ferro (ferrobactérias) e o enxofre (sulfobactérias) contribuem para o entupimento de gotejadores ocasionado por agentes químicos e biológicos. Entretanto, o segundo fator é o mais relevante, porque tais bactérias produzem grandes quantidades de mucilagem gelatinosa (FORD; TUCKER, 1975; NAKAYAMA et al., 2006).

De acordo com Nakayama et al. (2006), as ferrobactérias filamentosas *Gallionella*, *Leptothrix*, *Toxothrix*, *Crenothrix* e *Sphaerotilus* são as mais comuns em gotejadores entupidos. Porém, Batista et al. (2006) identificaram apenas a ferrobactéria *Crenothrix* em gotejadores operando com esgoto doméstico tratado.

Problemas de entupimento de gotejadores com as sulfobactérias *Thiothrix nivea* e *Beggiatoa* sp foram relatados por Ford e Tucker (1975). Sagi et al. (1995) e Ravina et al. (1997) notaram o desenvolvimento da sulfobactéria *Beggiatoa alba* em gotejadores operando com esgoto doméstico secundário. Segundo Nakayama et al. (2006), as bactérias *Thiobacillus* e *Desulfovibrio sulfuricans* também podem causar problemas de obstrução de gotejadores devido à fixação de enxofre ou de seus derivados. A *Thiobacillus* utiliza o enxofre em seus processos metabólicos produzindo ácido sulfúrico, enquanto *Desulfovibrio sulfuricans* transforma o sulfato e outros compostos de enxofre em sulfeto de hidrogênio.

Ü Şahin et al. (2005) constataram que 25 espécies de fungos e 121 de bactérias podem causar problemas de obstrução em sistemas de irrigação por gotejamento. Notaram que a aplicação de solução contendo bactérias (10^9 UFC mL⁻¹) e fungos (10^4 esporos mL⁻¹) três vezes por semana, durante 30 dias, causou entupimento total com mucilagens de todos os gotejadores.

No interior de linhas laterais que operam com esgoto doméstico tratado, pode ocorrer a formação de biomassa resultante da atividade de protozoários. Ravina et al. (1992) e Sagi et al. (1995) notaram o desenvolvimento dos protozoários *Epystilys balanarum* e *Ciliatea*, respectivamente, nas linhas de irrigação.

2.11.4. Combinação dos agentes ocasionadores de entupimento em gotejadores

A combinação dos agentes físicos, químicos e biológicos consiste na principal causa de obstrução de gotejadores utilizados na aplicação de águas residuárias (RAVINA et al., 1992; RAV-ACHA et al., 1995; TAYLOR et al., 1995; RAVINA et al., 1997; BATISTA et al., 2005a; BATISTA et al., 2006).

No trabalho apresentado por Taylor et al. (1995), verificou-se que 90% dos gotejadores apresentaram entupimento com biofilme, formado por matéria orgânica em decomposição, bactérias e exoesqueleto de *Daphnia* sp, devido à aplicação de esgoto doméstico tratado. Tajrishy et al. (1994) constataram a formação de biofilme, resultante de mucilagens bacterianas e sólidos suspensos, em gotejadores abastecidos com esgoto doméstico secundário. Ravina et al. (1992) afirmaram que o biofilme foi acumulado principalmente na entrada do labirinto dos gotejadores não-autocompensantes e na membrana de silicone dos gotejadores autocompensantes.

Rav-Acha et al. (1995) constataram a formação de biofilme em gotejadores operando com esgoto doméstico secundário, sendo o biofilme resultante da interação entre mucilagens microbianas, partículas inorgânicas e algas da espécie *Chlorella vulgaris*. Fato similar foi verificado por Batista et al. (2006), que observaram a formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e algas. As bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* formaram um muco microbiano, no qual se aderiram partículas, principalmente de origem orgânica, representadas por células de algas vivas ou em decomposição. As algas predominantes pertenciam aos grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

2.12. Equações utilizadas na análise do efeito da aplicação de águas residuárias sobre sistemas de irrigação por gotejamento

Na análise do efeito da aplicação de águas residuárias sobre sistemas de irrigação por gotejamento, diversas equações desenvolvidas para água podem ser utilizadas (LESIKAR et al., 2004; BATISTA et al., 2005ab; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006). Entretanto, as equações mais utilizadas são:

- Equação vazão *versus* pressão

$$Q = k \cdot P^x \quad (6)$$

em que:

Q = vazão do gotejador, L h⁻¹;

k = coeficiente de vazão;

P = pressão na entrada do gotejador, kPa; e

x = expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento.

- Coeficiente de uniformidade de Christiansen

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - \bar{Q}|}{n_e \cdot \bar{Q}} \right] \quad (7)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Q_i = vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

\bar{Q} = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; e

n_e = número de gotejadores.

- Coeficiente de uniformidade de distribuição

$$CUD = \frac{Q_{25\%}}{Q} \cdot 100 \quad (8)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %; e

$Q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, $L h^{-1}$.

- Coeficiente de variação de vazão

$$CVQ = \frac{\sigma_Q}{Q} \cdot 100 \quad (9)$$

em que:

CVQ = coeficiente de variação da vazão dos gotejadores, %; e

σ_Q = desvio-padrão das vazões dos gotejadores, $L h^{-1}$.

A uniformidade de aplicação de efluentes é obtida com os valores individuais das vazões dos gotejadores. No estudo realizado por Capra e Scicolone (1998), verificou-se que amostras de 16 gotejadores foram suficientes para avaliar a uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação por gotejamento com problemas de entupimento.

Os valores dos coeficientes CUC, CUD e CVQ obtidos para sistemas de irrigação por gotejamento podem ser classificados. Merriam e Keller (1978) propuseram a seguinte classificação para os valores de CUC e CUD: maior que 90%, excelente; entre 80 e 90%, bom; 70 e 80%, razoável; e menor que 70%, ruim. A norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003) sugere a seguinte classificação para os valores de CVQ: menor que 10%, bom; entre 10 e 20%, razoável; e maior que 20%, inaceitável.

2.12.1. Efeito do entupimento na vazão de gotejadores

Na maioria dos estudos com águas residuárias, o entupimento tem efeito direto na redução de vazão dos gotejadores (RAV-ACHA et al., 1995; TROOIJEN et al., 2000; ROWAN et al., 2004; DEHGHANISANIJ et al., 2005). Na aplicação da água residuária, pode-se aumentar o tempo de fertirrigação; assim, as plantas que receberam menor lâmina de fertirrigação passam a receber maior quantidade de efluente, de modo a atender às suas exigências nutricionais. No entanto, aquelas plantas que recebiam a lâmina adequada passam a ter problema de fertirrigação excessiva, ocorrendo, também, aumento da perda por percolação (LÓPEZ et al., 1992).

Rowan et al. (2004) estudaram a incidência de entupimento em quatro tipos de gotejadores, sendo dois autocompensantes com vazão nominal de 2,31 e 2,01 L h⁻¹ e dois não-autocompensantes com vazão nominal de 2,60 e 4,92 L h⁻¹, operando com efluente de tanque séptico durante 448 h. Mesmo utilizando filtro de discos com aberturas de 100 µm, a aplicação do efluente resultou em redução de até 83% na vazão inicial dos gotejadores.

Berkowitz (2001) avaliou o desempenho de cinco sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficiais operando com esgoto doméstico tratado durante seis anos. Foram utilizados gotejadores autocompensantes com vazão nominal de 2,3 L h⁻¹. O entupimento dos gotejadores foi observado somente em dois sistemas de aplicação, com redução máxima da vazão inicial de 23%.

No estudo realizado por Trooijen et al. (2000), cinco tipos de gotejadores com vazão nominal de 0,57 a 3,5 L h⁻¹ foram testados com água residuária da bovinocultura tratada e posteriormente filtrada em filtro de discos com aberturas de 55 µm. Depois da aplicação de 920 mm do efluente, constatou-se redução na vazão inicial dos gotejadores de até 22%.

Dehghanisani et al. (2005) analisaram seis tipos de gotejadores, sendo quatro autocompensantes com vazão nominal de 1,6 a 2,4 L h⁻¹ e dois não-autocompensantes com vazão nominal de 1,1 e 1,7 L h⁻¹, com água superficial eutrofizada filtrada em filtro de tela com aberturas de 175 µm. Depois de 200 h de funcionamento das unidades de aplicação, constatou-se redução de até 25% na vazão inicial dos gotejadores.

Rav-Acha et al. (1995) obtiveram redução de 31% na vazão inicial de gotejadores não-autocompensantes com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$, depois de 137 h de operação com esgoto doméstico secundário.

2.12.2. Efeito do entupimento de gotejadores na uniformidade de aplicação de efluente

Outro impacto negativo do entupimento de gotejadores consiste na aplicação desuniforme das águas residuárias pelos sistemas de irrigação por gotejamento (CAPRA; SCICOLONE, 2004; BATISTA et al., 2005ab; PUIG-BARGUÉS et al., 2005; CAPRA; SCICOLONE, 2006; CARARO et al., 2006; FRIGO et al., 2006). Segundo Chieng e Ghaemi (2003), o número e a localização de gotejadores parcialmente entupidos foram os fatores que mais afetaram a uniformidade de aplicação de água de sistemas de irrigação por gotejamento. Os referidos autores obtiveram valores de CUC de 96, 95, 87, 82 e 69% para unidades de aplicação dotadas de gotejadores com entupimento parcial de 0, 5, 10, 20 e 30%, respectivamente.

Puig-Bargués et al. (2005) analisaram o desempenho de três unidades de irrigação por gotejamento, dotadas de gotejador não-autocompensante com vazão nominal de $1,9 \text{ L h}^{-1}$ e operando com esgoto doméstico tratado. Dois sistemas de irrigação, um com filtro de discos e outro com filtro de tela, ambos de $130 \mu\text{m}$, foram abastecidos com esgoto doméstico secundário. O terceiro sistema de irrigação constava de filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ e foi abastecido com esgoto doméstico terciário. Depois de 750 h de funcionamento das unidades de aplicação, os valores de CUD foram de 0, 50 e 92% e de CVQ de 58, 35 e 5% para as unidades de irrigação aplicando efluente secundário filtrado em filtro de discos de $130 \mu\text{m}$, efluente secundário filtrado em filtro de tela de $130 \mu\text{m}$ e efluente terciário filtrado em filtro de tela de $130 \mu\text{m}$, respectivamente.

Cararo et al. (2006) constataram redução de 5 a 28% nos valores de CVQ em 15 tipos de gotejadores testados com esgoto doméstico tratado durante 373 h. O efluente passou por filtros de areia (com tamanho efetivo de $0,59 \text{ mm}$), de discos (com aberturas de $100 \mu\text{m}$) e de tela (com aberturas de $80 \mu\text{m}$) em série, antes de ser aplicado pelos gotejadores.

Batista et al. (2005a) utilizaram sistemas de irrigação por gotejamento, dotados de fitas gotejadoras com vazão nominal de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, para aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro tratada em filtro orgânico. Notaram drástica redução do CUD, que passou de 94 para 0% com 144 h de operação. Em outro estudo, Batista et al. (2005b) obtiveram valores de CUD de 90, 65 e 72% nas unidades de aplicação dotadas de gotejadores com vazões nominais de 1,7; 2,1; e $2,0 \text{ L h}^{-1}$, depois de 560 h de funcionamento com esgoto doméstico tratado e posteriormente filtrado em filtro de discos com aberturas de $130 \mu\text{m}$.

Capra e Scicolone (2004) estudaram o desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento dotados de quatro tipos de gotejadores, não-autocompensantes, com vazão nominal de 3,8 a $4,0 \text{ L h}^{-1}$ e abastecidos com esgoto doméstico tratado durante 60 h. Os referidos autores concluíram que os valores de CUD nos sistemas de irrigação oscilaram de 0 a 77%.

2.12.3. Efeito do entupimento na pressão de serviço de sistemas de irrigação por gotejamento

Mudanças na magnitude da pressão de serviço podem interferir no processo de entupimento de gotejadores devido à alteração no regime de escoamento, acarretando impactos na deposição de sedimentos e formação de biofilme. Lesikar et al. (2004) utilizaram sistemas de irrigação por gotejamento para aplicação de esgoto doméstico tratado e filtrado em filtro de tela de $74 \mu\text{m}$. Constataram nos sistemas de irrigação operando com pressões de serviço de 58 e 78 kPa que 2 e 30%, respectivamente, dos gotejadores avaliados apresentaram entupimento total. Entretanto, no sistema de irrigação que operou com pressão de serviço de 296 kPa nenhum gotejador foi completamente entupido.

O entupimento dos gotejadores pode acarretar mudanças nos valores da pressão de serviço em todo o sistema de irrigação por gotejamento. Faria et al. (2002) estudaram a elevação de pressão na rede hidráulica de um sistema de irrigação por gotejamento, quando ocorre redução na vazão por entupimento de gotejadores. Os resultados indicaram que a redução na vazão dos gotejadores provocou aumento considerável na pressão da tubulação de

distribuição de água, particularmente na condição de 50% de entupimento; 80% do comprimento da malha hidráulica apresentou pressão superior à da classe de pressão da tubulação.

Talozzi e Hills (2001) desenvolveram um modelo matemático para simular o efeito do entupimento de gotejadores no desempenho hidráulico de sistemas de irrigação por gotejamento. Os citados autores concluíram que o entupimento reduziu a vazão na entrada das linhas laterais obstruídas e aumentou a vazão na entrada das linhas laterais não obstruídas; além disso, o entupimento causou aumento na pressão de serviço na entrada das linhas laterais com e sem entupimento.

2.13. Medidas mitigadoras contra o entupimento de gotejadores

Atualmente, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de determinada água de irrigação. No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo, Bucks et al. (1979) e Capra e Scicolone (1998) classificaram o risco de entupimento de gotejadores, com vazão nominal de até 12 L h^{-1} , utilizando critérios direcionados à qualidade da água de irrigação (Quadro 12). As características de qualidade da água relatadas por Bucks et al. (1979) foram sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, potencial hidrogeniônico, manganês, ferro, sulfeto de hidrogênio e população bacteriana; Capra e Scicolone (1998) apresentaram as mesmas características, mais o cálcio e o magnésio. Ambos os estudos classificaram os riscos de entupimento dentro de três classes: menor, moderado e severo.

Quadro 12 - Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada

Tipo de problema	Risco de entupimento					
	Menor		Moderado		Severo	
	a	b	a	b	a	b
Físico						
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	< 50	< 200	50 - 100	200 - 400	> 100	> 400
Químico						
pH	< 7,0	< n.c.	7,0 - 7,5	n.c.	> 7,5	n.c.
Sólidos dissolvidos (mg L ⁻¹)	< 500	< 625	500 - 2.000	625 - 2.900	> 2.000	> 2.900
Manganês total (mg L ⁻¹)	< 0,1	< 0,7	0,1 - 1,5	0,7 - 1,0	> 1,5	> 1,0
Ferro total (mg L ⁻¹)	< 0,2	< 0,5	0,2 - 1,5	0,5 - 1,2	> 1,5	> 1,2
Sulfeto de hidrogênio (mg L ⁻¹)	< 0,2	n.c.	0,2 - 2,0	n.c.	> 2,0	n.c.
Cálcio (mmol _c L ⁻¹)	n.c.	< 12,5	n.c.	12,5 - 22,5	n.c.	> 22,5
Magnésio (mmol _c L ⁻¹)	n.c.	< 2,0	n.c.	2,0 - 7,3	n.c.	> 7,3
Biológico						
População bacteriana (UFC mL ⁻¹)	< 10.000	n.c.	10.000 - 50.000	n.c.	> 50.000	n.c.

Nota: (a) Segundo Bucks et al. (1979) e (b) De acordo com Capra e Scicolone (1998); n.c. – não classificado; e UFC – unidades formadoras de colônias.

Para a minimização do entupimento de gotejadores que aplicam águas residuárias são recomendadas diversas técnicas. Entre as práticas preventivas mais utilizadas estão o tratamento químico e a abertura do final das linhas laterais (TAJRISHY et al., 1994; SAGI et al., 1995; HILLS; BRENES, 2001; BERKOWITZ, 2001; BATISTA et al., 2005b; DEGHANISANIJ et al., 2005).

Os derivados clorados são comumente empregados na minimização do entupimento de gotejadores. Tajrishy et al. (1994) verificaram que cloração intermitente com 2 mg L⁻¹ de cloro residual livre foi mais efetiva na minimização do entupimento do que cloração contínua com 0,4 mg L⁻¹ de cloro residual livre. Sagi et al. (1995) constataram que cloração intermitente com 10 mg L⁻¹ de cloro residual livre previne o entupimento de gotejadores por protozoários e sulfobactérias. Batista et al. (2005b) verificaram que a aplicação intermitente de 0,4; 1,0; e 1,9 mg L⁻¹ de cloro residual livre minimiza a formação de biofilme nos gotejadores e nas linhas laterais. Dehghanisanij et al. (2005) estudaram o efeito da cloração intermitente de 2 mg L⁻¹ de cloro residual livre na prevenção do entupimento de gotejadores por plânctons. Nos sistemas de irrigação sem tratamento químico, a redução de vazão foi de 25, 22, 18, 13, 13 e 12% para os

gotejadores com área de orifício de 0,52; 0,23; 1,10; 1,05; 1,26; e 0,80 mm², enquanto nos sistemas de irrigação que receberam cloração a redução máxima de vazão foi de 12% no gotejador com área de orifício de 0,52 mm². Já nos demais tipos de gotejadores a redução de vazão foi inferior a 10%. A cloração com 2 mg L⁻¹ de cloro residual livre foi mais efetiva na minimização do entupimento quando o pH do efluente foi menor que 7,0.

No processo da filtração de águas residuárias existem pequenas partículas que atravessam o elemento filtrante e, por serem leves, são transportadas com facilidade pela água residuária quando a velocidade de escoamento é alta. Contudo, a velocidade de escoamento decresce ao longo da linha lateral, o que permite a sedimentação dessas partículas, provocando entupimento. A instalação de válvulas automáticas ou a abertura manual periódica do final das linhas laterais permite a remoção dessas partículas (RAVINA et al., 1997; BERKOWITZ, 2001). Hills e Brenes (2001) constataram que a limpeza das linhas laterais com o efluente na velocidade de 0,5 m s⁻¹, duas vezes por semana, preveniu a acumulação de sólidos suspensos, que atravessavam os elementos filtrantes, nos gotejadores. Berkowitz (2001) verificou que as velocidades de 0,5 e 0,9 m s⁻¹ nas linhas laterais minimizaram o entupimento de gotejadores operando com esgoto doméstico.

A possibilidade da formação de substâncias cancerígenas pelos derivados clorados tem incentivado a criação de novas técnicas para a inativação de microrganismos capazes de produzir subprodutos que causem obstrução de gotejadores (HILLS et al., 2000; Ü ŞAHIN et al., 2005).

Hills et al. (2000) propuseram a utilização de radiação ultravioleta na minimização do entupimento de gotejadores aplicando esgoto doméstico secundário. Constataram que 100 mW s cm⁻² de radiação ultravioleta proporcionam inativação de bactérias, porém a eficiência do processo depende da remoção significativa dos sólidos suspensos presentes no efluente pelo sistema de filtração. Os autores afirmaram que filtração adequada, removendo partículas maiores que 40 µm, aumenta a eficiência da radiação ultravioleta na prevenção do entupimento biológico de gotejadores.

O uso de bactérias pode reduzir ou eliminar completamente a necessidade de aplicações de produtos químicos na prevenção do entupimento de gotejadores, além de propiciar o controle biológico de microrganismos patogênicos que possam causar doenças nas plantas. Ü Şahin et al. (2005) estudaram microrganismos capazes de prevenir o entupimento de gotejadores ocasionado por agentes biológicos. Constataram que duas aplicações de 500 mL de uma solução com as bactérias *Bacillus* e *Burkholdria*, no nível populacional de 10^9 UFC mL⁻¹ dentro das linhas laterais do sistema de irrigação por gotejamento, desobstruíram todos os gotejadores com mucilagem bacteriana, e a vazão alcançou os valores máximos duas semanas depois do tratamento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e descrição da área experimental

Para a realização deste trabalho, construiu-se a Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura – UTARS (Figura 2) na Área Experimental de Hidráulica, Irrigação e Drenagem do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. A UTARS foi construída no período de maio de 2005 a maio de 2006.



Figura 2 - Vista parcial da Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS).

A água residuária proveniente do Setor de Suinocultura, do Departamento de Zootecnia da UFV, é conduzida até a UTARS em tubos de PVC com diâmetro nominal de 250 mm. Tal granja de suínos foi classificada como do tipo ciclo completo, por possuir matrizes destinadas à produção de suínos terminados. No período de março a setembro de 2006, a produção de efluente foi de 36 L dia⁻¹ por animal para um plantel médio de 420 suínos.

A UTARS ocupa uma área de 357 m² e é constituída de cinco tanques de alvenaria, sendo quatro destinados ao tratamento e armazenamento da água residuária de suinocultura (tanques A, B, C e D) e um para armazenar água (tanque E). A caracterização desses tanques está apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 - Caracterização dos tanques da UTARS

Característica	Tanque				
	A	B	C	D	E
Largura (m)	8,40	1,65	1,65	1,65	2,34
Comprimento (m)	14,00	3,20	3,20	3,20	2,34
Profundidade (m)	1,80	1,62	1,34	1,34	1,03
Área superficial (m ²)	117,60	5,28	5,28	5,28	5,48
Volume (m ³)	211,68	8,55	7,08	7,08	5,64

Os tanques A, B, C e D foram construídos em série; nessas condições, o tempo total de detenção do efluente na UTARS foi, em média, de 339 h. O tanque A tinha por finalidade reduzir a concentração dos sólidos suspensos, da demanda bioquímica de oxigênio, da demanda química de oxigênio e dos óleos e graxas. No tanque B, os pêlos de suíno foram removidos por meio de uma tela de aço inox com aberturas de 1 mm, visando evitar problemas de entupimento nos rotores dos conjuntos motobomba. Os tanques C e D apenas armazenavam efluentes para bombeamento.

3.2. Experimento 1: Remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com água residuária de suinocultura

3.2.1. Montagem da bancada experimental

Para analisar a remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com água residuária de suinocultura, armazenou-se no tanque C o efluente tratado nos tanques A e B, respectivamente. No tanque C foi instalado um conjunto motobomba de 1 cv para recalcar o efluente até a parte superior da peneira, por meio de segmentos de tubos de PVC com diâmetro nominal de 32 mm, dotados de perfurações circulares, conforme apresentado na Figura 3.

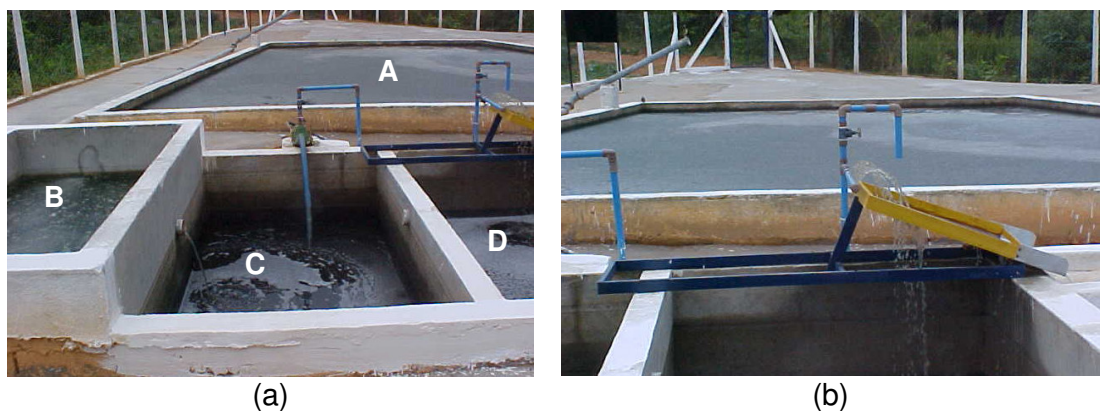


Figura 3 - Bancada de testes: (a) vista dos tanques A, B, C e D; e (b) peneira inclinada com tela metálica posicionada sobre o tanque D.

As peneiras foram constituídas de cinco telas metálicas com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm e testadas separadamente em um dispositivo com inclinação de 25°. As especificações técnicas das cinco telas de aço inox utilizadas no experimento estão apresentadas no Quadro 14.

Quadro 14 - Especificações técnicas das telas usadas no experimento

Abertura (μm)	Diâmetro do fio (μm)	Malha (mesh)	Área aberta (%)
47	36	300	34
56	40	250	31
77	50	200	37
106	60	150	38
154	100	100	37

3.2.2. Condução do experimento

As peneiras foram testadas individualmente no período de 6 a 21 de março de 2006. A vazão média do efluente, mantida a montante de cada peneira, foi de $2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. A amostragem da água residuária foi realizada a montante e a jusante das peneiras, com frequência horária durante um período de quatro horas.

No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, determinaram-se as concentrações dos óleos e graxas (OG) por extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet) e dos sólidos suspensos (SS) pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro ($0,45 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro), em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 1998). As remoções de sólidos suspensos e de óleos e graxas foram calculadas com a aplicação da equação 3.

$$R = 100 \cdot \left(1 - \frac{C_J}{C_M} \right) \quad (3)$$

em que:

R = remoção de óleos e graxas e de sólidos suspensos da água residuária, %;

C_J = concentração de óleos e graxas e de sólidos suspensos na água residuária coletada a jusante do filtro, mg L^{-1} ; e

C_M = concentração de óleos e graxas e de sólidos suspensos na água residuária coletada a montante do filtro, mg L^{-1} .

3.3. Experimento 2: Influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água

3.3.1. Montagem da bancada experimental

Neste experimento, foi montada uma bancada experimental constituída por duas unidades de controle para bombeamento de efluente e de água e por uma plataforma dotada de quatro unidades de fertirrigação.

A unidade de controle para bombeamento da água residuária de suinocultura foi constituída por um reservatório (tanque D), uma peneira com tela metálica de 47 μm e um conjunto motobomba de 3 cv (Figura 4a). A outra unidade de controle para o bombeamento de água foi composta por um reservatório (tanque E), um conjunto motobomba de 3 cv e um filtro de discos com aberturas de 130 μm (Figura 4b).

A plataforma de testes foi construída em alvenaria, nas dimensões de 3,4 m de largura por 18,0 m de comprimento, com declividade transversal de 2% (Figura 4c). Uma canaleta foi construída ao longo da lateral mais baixa da plataforma, com a finalidade de coletar e retirar da plataforma a água e a água residuária aplicadas pelos gotejadores.

Na plataforma foram montadas quatro unidades de fertirrigação, sendo que cada uma delas possuía uma válvula reguladora de pressão, uma linha de derivação de PVC com diâmetro nominal de 32 mm e nove linhas laterais de polietileno (Figura 4d).

As válvulas reguladoras de pressão instaladas nas unidades de fertirrigação foram de 70, 140, 210 e 280 kPa. Para a medição da pressão de serviço no início das linhas laterais, foi instalada uma tomada de pressão a jusante das válvulas reguladoras de pressão.

Em cada unidade de fertirrigação foram testados três tipos de gotejadores, com três repetições. Para cada tipo de gotejador foram instaladas na linha de derivação três linhas laterais com 18 m de comprimento, em nível. Em todas as linhas laterais foram marcados 22 emissores para medição da vazão.

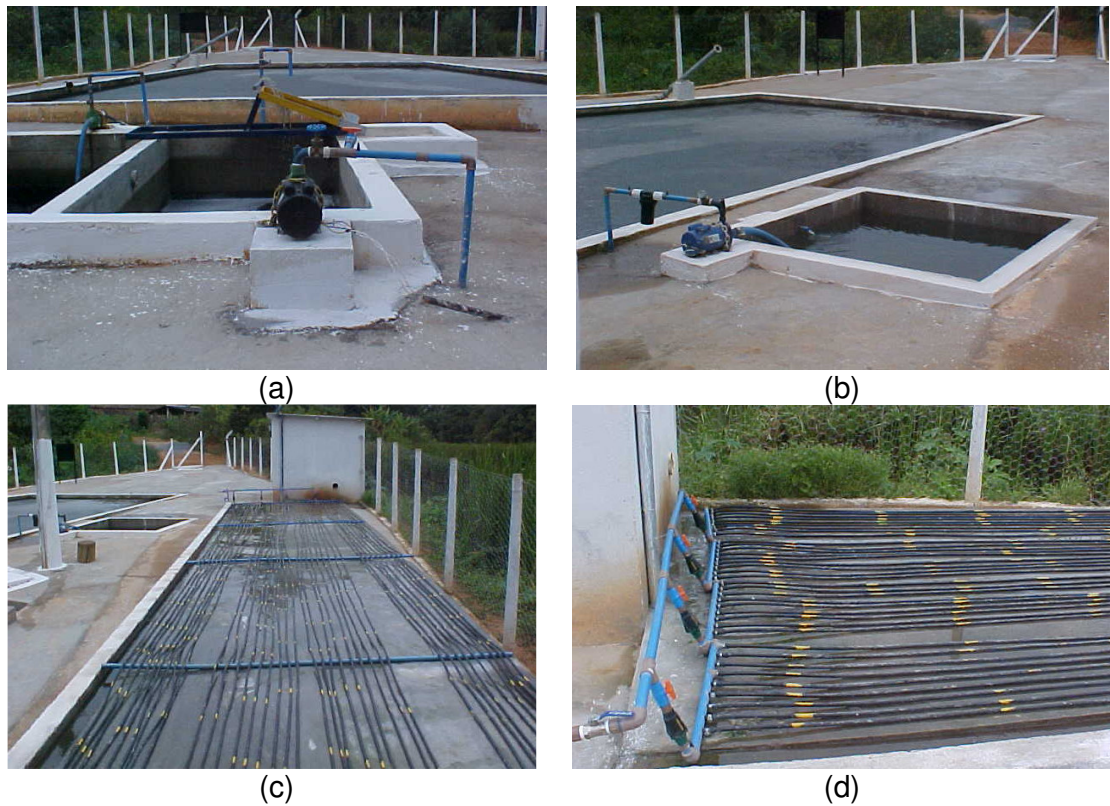


Figura 4 - Bancada experimental, destacando-se as unidades de controle para bombeamento de água residuária de suinocultura (a) e de água (b), a plataforma de testes (c) e as unidades de fertirrigação (d).

3.3.2. Descrição dos gotejadores testados

Os três tipos de gotejadores avaliados foram selecionados com base na sua menor suscetibilidade ao entupimento e por serem muito comercializados no mercado nacional. Os gotejadores são dotados de labirintos tortuosos com saliências que provocam um regime de escoamento turbulento que ameniza a sedimentação de partículas em seu interior.

Na Figura 5 estão ilustrados os tipos de gotejadores testados: gotejador não-autocompensante, cilíndrico, interno e com labirinto tortuoso (G1); gotejador não-autocompensante, plano, interno e com labirinto tortuoso (G2) e gotejador autocompensante cilíndrico, interno, com labirinto tortuoso e amplo filtro secundário (G3).

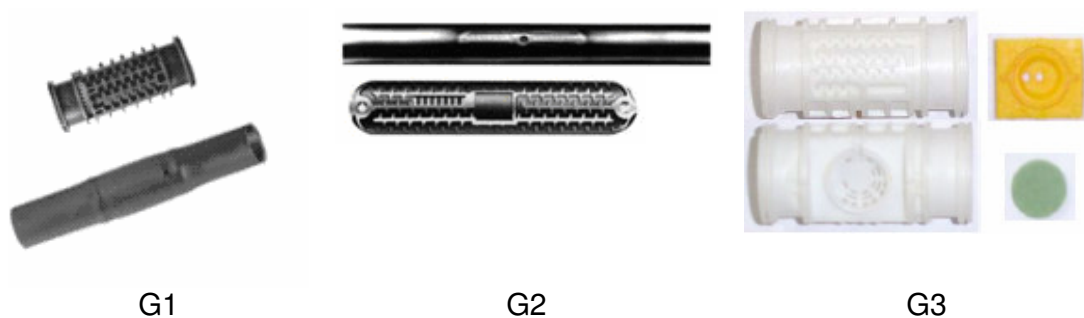


Figura 5 - Gotejadores G1, G2 e G3 utilizados nos ensaios.

No Quadro 15 estão apresentadas outras características desses gotejadores.

Quadro 15 - Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios: vazão nominal (Q), área do orifício (A), comprimento do labirinto (L), coeficiente de variação de fabricação (CV_f) e faixa de pressão recomendada (P)

G	Q (L h ⁻¹)	A (mm ²)	L (mm)	CV _f (%)	P (kPa)
G1	2,00	4,45	327	≤ 3	80 -300
G2	1,70	1,86	176	≤ 3	40 - 100
G3	3,60	2,54	44	≤ 4	80 - 350

3.3.3. Pressões de serviço testadas em fertirrigação com água residuária de suinocultura

As quatro unidades de fertirrigação operaram diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante. Nas quatro unidades foram aplicadas, individualmente, pressões de 75, 145, 215 e 285 kPa, denominadas P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

3.3.4. Condução do experimento

O experimento foi realizado no período de 18 de maio a 26 de junho de 2006. As unidades de fertirrigação funcionaram quatro horas por dia até completar 160 h. Nesse período, as vazões dos gotejadores e as características física, química e biológica do efluente e da água foram determinadas.

A vazão foi medida nos 22 gotejadores de todas as linhas laterais das unidades de fertirrigação, coletando-se o volume aplicado durante três minutos.

As relações vazão e pressão de operação dos gotejadores (equação 6) foram obtidas no início do experimento, para cada tipo de gotejador e para os dois tipos de líquidos (água e efluente).

$$Q = k \cdot P^x \quad (6)$$

em que:

Q = vazão do gotejador, L h⁻¹;

k = coeficiente de vazão;

P = pressão na entrada do gotejador, kPa; e

x = expoente da vazão que caracteriza o regime de escoamento.

O desempenho dos sistemas foi avaliado a cada 20 h durante o período de aplicação do efluente. O cálculo da uniformidade de aplicação do efluente foi feito aplicando-se as equações 7, 8 e 9.

$$CUC = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - \bar{Q}|}{n_e \cdot \bar{Q}} \right] \quad (7)$$

em que:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Q_i = vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

\bar{Q} = vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; e

n_e = número de gotejadores.

$$\text{CUD} = \frac{Q_{25\%}}{Q} \cdot 100 \quad (8)$$

em que:

CUD = coeficiente de uniformidade de distribuição, %; e

$Q_{25\%}$ = valor médio dos 25% menores valores de vazões dos gotejadores, L h^{-1} .

$$\text{CVQ} = \frac{\sigma_Q}{Q} \cdot 100 \quad (9)$$

em que:

CVQ = coeficiente de variação da vazão dos gotejadores, %; e

σ_Q = desvio-padrão das vazões dos gotejadores, L h^{-1} .

A pressão de serviço foi medida diariamente com um manômetro de glicerina graduado de 0 a 4 atm, com precisão de 0,5 atm.

As características física, química e biológica da água residuária de suinocultura e da água foram avaliadas a cada 20 e 80 h de funcionamento das unidades de fertirrigação, respectivamente, em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 1998). Para tal, obtiveram-se amostras compostas, a partir de amostras simples coletadas em três horários (às 7, 9 e 11 h), as quais foram analisadas em diferentes laboratórios.

Na água residuária de suinocultura foram obtidas as seguintes características: temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (OG), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), sódio (Na^+), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), relação de adsorção de sódio (RAS) e população bacteriana (PBC). Enquanto na água foram determinadas as seguintes características: temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), sódio (Na^+), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), relação de adsorção de sódio (RAS) e população bacteriana (PBC).

No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV foram medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. Determinaram-se, também, as concentrações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) pelo método iodométrico (processo Winkler); da demanda química de oxigênio (DQO) pelo método oxidimétrico com refluxo; dos óleos e graxas (OG) por extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet); dos sólidos suspensos (SS) pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro ($0,45 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro); dos sólidos totais (ST) pelo método gravimétrico; e do sódio (Na^+) por fotometria de chama. As concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais (ST) e dos sólidos suspensos (SS), sendo a temperatura do efluente (T) medida com um termômetro de mercúrio, com precisão de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da UFV, foram determinadas as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) por espectrofotometria de absorção atômica. A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada com os valores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}).

As análises microbiológicas foram feitas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia da UFV. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC mL^{-1}).

3.3.5. Análise estatística

O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, tendo nas parcelas as pressões de serviço (75, 145, 215 e 285 kPa), nas subparcelas os tipos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subsubparcelas os tempos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de média e análise de regressão. Na análise de variância, empregou-se o teste F num nível de até 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. As equações de regressão foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se o teste t num nível de até 10%, no coeficiente de determinação e no processo em estudo.

3.4. Experimento 3: Efeito da proporção de água na minimização do entupimento de gotejadores em fertirrigação com água residuária de suinocultura

3.4.1. Montagem da bancada experimental

Neste experimento foi montada uma bancada experimental constituída por duas unidades de controle para bombeamento de efluente e de água e por uma plataforma dotada de quatro unidades de fertirrigação.

As unidades de controle, descritas na etapa anterior, foram utilizadas novamente para o bombeamento de efluente e de água. Um tubo de PVC, com diâmetro nominal de 100 mm, foi instalado na extremidade inferior da peneira de 47 µm com a finalidade de coletar o efluente não filtrado que escoava sobre a tela e descarregá-lo no tanque A, para possível reaproveitamento.

Na plataforma de testes foram montadas quatro novas unidades de fertirrigação dotadas de tubos de PVC, com diâmetro nominal de 32 mm, sete válvulas de esfera, três válvulas de gaveta, quatro válvulas reguladoras de pressão de 105 kPa e nove linhas laterais de polietileno, conforme ilustrado na Figura 6a. Em cada unidade de fertirrigação foram testados três tipos de gotejadores, apresentados na Figura 5. Para cada tipo de gotejador foram

instaladas na linha de derivação três linhas laterais com 18 m de comprimento, em nível.

Cada unidade de fertirrigação possuía três subunidades, sendo uma para cada tipo de gotejador. Em cada subunidade foram instaladas três linhas laterais com 18 m de comprimento. Em todas as linhas laterais foram marcados 22 emissores para medição da vazão (Figura 6b).



Figura 6 - Bancada experimental com as quatro unidades de fertirrigação (a) e a marcação dos gotejadores nas linhas laterais (b).

3.4.2. Proporções de água limpa testadas em fertirrigação com água residuária de suinocultura

As quatro unidades de fertirrigação foram submetidas aos seguintes níveis:

1E3A = uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água;

2E2A = duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água;

3E1A = três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água; e

4E = quatro horas de aplicação do efluente.

3.4.3. Condução do experimento

O experimento foi realizado no período de 2 de agosto a 10 de setembro de 2006. Durante os ensaios, as unidades de fertirrigação funcionaram quatro horas por dia até completar 160 h. Nesse período, as vazões dos gotejadores e as características física, química e biológica do efluente e da água foram determinadas.

Com o uso de válvulas reguladoras de pressão nas quatro unidades de fertirrigação, a pressão de serviço foi mantida em 105 ± 5 kPa e medida diariamente com manômetro graduado de 0 a 4 atm. Realizou-se a medição de vazão nos 22 gotejadores identificados de todas as linhas laterais das unidades de fertirrigação. A vazão de cada gotejador foi determinada coletando-se o volume aplicado durante três minutos.

O desempenho dos sistemas foi avaliado a cada 20 h durante o período de aplicação do efluente, sendo o cálculo efetuado por meio das equações 7, 8 e 9.

As características física, química e biológica da água residuária de suinocultura e da água foram avaliadas a cada 20 e 80 h de funcionamento das unidades de fertirrigação, respectivamente, em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 1998). Para tal, obtiveram-se amostras compostas, a partir de amostras simples coletadas em três horários (às 7, 9 e 11 h), as quais foram analisadas em diferentes laboratórios.

Na água residuária de suinocultura foram obtidas as seguintes características: temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (OG), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), alcalinidade total (ALC_{total}), sódio (Na^+), ferro (Fe), manganês (Mn), enxofre (S), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), relação de adsorção de sódio (RAS) e população bacteriana (PBC). Enquanto na água foram determinadas as seguintes características: temperatura (T), potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), sódio (Na^+), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), relação de adsorção de sódio (RAS) e população bacteriana (PBC).

No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV foram medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. Determinaram-se, também, as concentrações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) pelo método iodométrico (processo Winkler); da demanda química de oxigênio (DQO) pelo método oxidimétrico com refluxo; dos óleos e graxas (OG) por extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet); dos sólidos suspensos (SS) pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro ($0,45 \mu\text{m}$ de diâmetro de poro); dos sólidos totais (ST) pelo método gravimétrico; da alcalinidade total (ALC_{total}) pelo método titulométrico; e do sódio (Na^+) por fotometria de chama. As concentrações de sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais (ST) e dos sólidos suspensos (SS), sendo a temperatura do efluente (T) medida com um termômetro de mercúrio, com precisão de $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da UFV, foram determinadas as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e enxofre (S) por espectrofotometria de absorção atômica. A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada com os valores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}).

As análises microbiológicas foram feitas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Microbiologia da UFV. Os resultados foram expressos em unidades formadoras de colônia por mililitro (UFC mL^{-1}).

Em laboratórios dos Departamentos de Biologia Animal e de Biologia Vegetal da UFV, foram realizadas as identificações de fungos, protozoários, cianobactérias, zooplâncton e fitoplâncton presentes no efluente, por meio da examinação microscópica das amostras coletadas.

Depois de 160 h de funcionamento das unidades de fertirrigação, fez-se o corte das linhas laterais, dos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, abrindo-se diversos gotejadores para retirar amostras do material que provocou obstrução dos gotejadores. As amostras coletadas foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo, as quais foram imediatamente enviadas a laboratórios dos Departamentos de Biologia Vegetal, de Biologia Animal e de Microbiologia da UFV e ao Laboratório de Processos Biológicos do Departamento de Hidráulica e Saneamento da USP, para identificação dos agentes ocasionadores de entupimento.

3.4.4. Análise estatística

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os níveis (1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E), nas subparcelas os tipos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subsubparcelas os tempos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), em delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância, teste de média e análise de regressão. Na análise de variância, empregou-se o teste F num nível de até 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t num nível de até 10%, no coeficiente de determinação e no processo em estudo.

3.4.5. Análise do tratamento da água residuária de suinocultura na UTARS

No período de 14 a 29 de setembro de 2006, analisou-se o nível do tratamento dado à água residuária de suinocultura nos tanques A, B, C e D da UTARS. Para tal, obtiveram-se amostras compostas, a partir de amostras simples coletadas em três horários (às 7, 9 e 11 h), as quais foram analisadas em diferentes laboratórios, em conformidade com as recomendações do Standard Methods (APHA, 1998).

Nos efluentes foram obtidas as seguintes características: potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), demanda química de oxigênio (DQO), óleos e graxas (OG), sólidos suspensos (SS), sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos (SD), alcalinidade total (ALC_{total}), sódio (Na⁺), ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), relação de adsorção de sódio (RAS), nitrogênio (N_{total}), fósforo (P_{total}) e potássio (K_{total}).

No Laboratório de Qualidade da Água do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV foram medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. Determinaram-se, também, as concentrações da demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) pelo método iodométrico (processo Winkler); da demanda química de oxigênio (DQO) pelo método oxidimétrico com refluxo; dos óleos e graxas (OG) por extração com éter de petróleo (extrator Soxhlet); dos sólidos suspensos (SS) pelo método gravimétrico com a utilização de membranas de fibra de vidro (0,45 µm de diâmetro de poro); dos sólidos totais (ST) pelo método gravimétrico; da alcalinidade total (ALC_{total}) pelo método titulométrico; do nitrogênio (N_{total}) pelo método Kjeldhal; do fósforo (P_{total}) por espectrofotometria; e do potássio (K_{total}) e do sódio (Na⁺) por fotometria de chama. As concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença entre as concentrações dos sólidos totais (ST) e dos sólidos suspensos (SS).

Nos Laboratórios de Matéria Orgânica e Resíduos e de Espectrofotometria Atômica, ambos do Departamento de Solos da UFV, foram determinadas as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) por espectrofotometria de absorção atômica. A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada com os valores de sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺).

O experimento consistiu de cinco tratamentos (afluente e efluente do tanque A e efluentes dos tanques B, C e D), no delineamento em blocos casualizados, com três repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de média. Na análise de variância, empregou-se o teste F num nível de até 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1: Remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com água residuária de suinocultura

No Quadro 16, apresentam-se os valores médios e desvios-padrão das características sólidos suspensos (SS) e óleos e graxas (OG), obtidas a montante (M) e a jusante (J) das distintas peneiras operando com água residuária de suinocultura.

Quadro 16 - Média e desvio-padrão das características sólidos suspensos (SS) e óleos e graxas (OG) obtidas a montante (M) e a jusante (J) das distintas peneiras operando com água residuária de suinocultura

Abertura (μm)	SS (mg L^{-1})		OG (mg L^{-1})	
	M	J	M	J
47	200 \pm 124	158 \pm 73	74 \pm 48	66 \pm 76
56	165 \pm 160	152 \pm 136	57 \pm 24	55 \pm 37
77	130 \pm 44	136 \pm 55	52 \pm 30	50 \pm 26
106	236 \pm 50	242 \pm 56	43 \pm 14	41 \pm 19
154	162 \pm 49	161 \pm 41	90 \pm 66	89 \pm 73

Em geral, a passagem do afluentes através das peneiras alterou as concentrações de SS e OG no efluente, mais ainda assim as concentrações de SS e OG a jusante das peneiras continuaram sendo superiores aos limites de 100 mg L^{-1} de SS e de 50 mg L^{-1} de OG estabelecidos pela Deliberação Normativa 010/86 do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 1986), que estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e para o

lançamento de efluentes nos corpos hídricos receptores, exceto os efluentes das peneiras com aberturas de 77 e 106 μm , que apresentaram concentrações de OG de até 50 mg L^{-1} . Além disso, todas as concentrações de SS a montante e a jusante das peneiras foram superiores ao limite de 100 mg L^{-1} de SS estabelecido por Bucks et al. (1979), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como severo.

As remoções de SS nas peneiras com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm foram de 21, 8, -5, -3 e 1%, respectivamente. Resultados semelhantes são apresentados por Puig-Bargués et al. (2005), que obtiveram remoções de SS de 32 e -5%, 21 e -2% e 23 e -7% em filtros de tela com aberturas de 98, 115 e 178 μm operando com efluente da indústria de carne e esgoto doméstico secundário, respectivamente. Nas peneiras com aberturas de 106 e 154 μm , a concentração de SS no efluente foi maior do que no afluente, resultando em valores negativos de remoção de SS. Observou-se, durante a filtração do afluente, que parte das partículas ficou retida sobre a tela. Devido à inclinação da peneira, ocorreu o transporte dessas partículas pelo afluente que escoou sobre a tela. Por essa razão, muitas partículas deformáveis foram fragmentadas e forçadas a atravessar as aberturas da tela. Esse aumento da concentração de SS no efluente também ocorre durante a filtração de águas residuárias em filtros de areia, tela e discos (ADIN, 1987; ADIN; SACKS, 1991; PUIG-BARGUÉS et al., 2005).

Em relação à OG, as peneiras com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm apresentaram remoções de 11, 4, 4, 5 e 1%, respectivamente. Constatou-se que a peneira dotada de tela com abertura de 47 μm foi a que apresentou as maiores remoções de SS e OG.

4.2. Experimento 2: Influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água

4.2.1. Curvas relacionando vazão e pressão para distintos gotejadores operando com água residuária de suinocultura e água

No Quadro 17 constam as equações de regressão ajustadas para as curvas relacionando vazão e pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água. Os valores do expoente da vazão (x) obtidos para os gotejadores G1, G2 e G3 operando com água e efluente foram 0,626 e 0,523; 0,391 e 0,495; e 0,028 e 0,033, respectivamente. Os três tipos de gotejadores apresentaram valores de x menores que 1, indicando a predominância do regime de escoamento turbulento (PIZARRO CABELLO, 1990).

Quadro 17 - Equações de regressão ajustadas à variável vazão em função da pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água e os respectivos coeficientes de determinação

Gotejador	Equação de regressão ajustada			
	Água	R ²	Água residuária de suinocultura	R ²
G1	$\hat{Q} = 0,113 P^{0,626**}$	0,99	$\hat{Q} = 0,194 P^{0,523**}$	1,00
G2	$\hat{Q} = 0,341 P^{0,391**}$	0,98	$\hat{Q} = 0,191 P^{0,495**}$	1,00
G3	$\hat{Q} = 3,140 P^{0,028*}$	0,93	$\hat{Q} = 2,982 P^{0,033*}$	0,92

** e * significativos a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

As curvas relacionando vazão e pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água, são apresentadas na Figura 7.

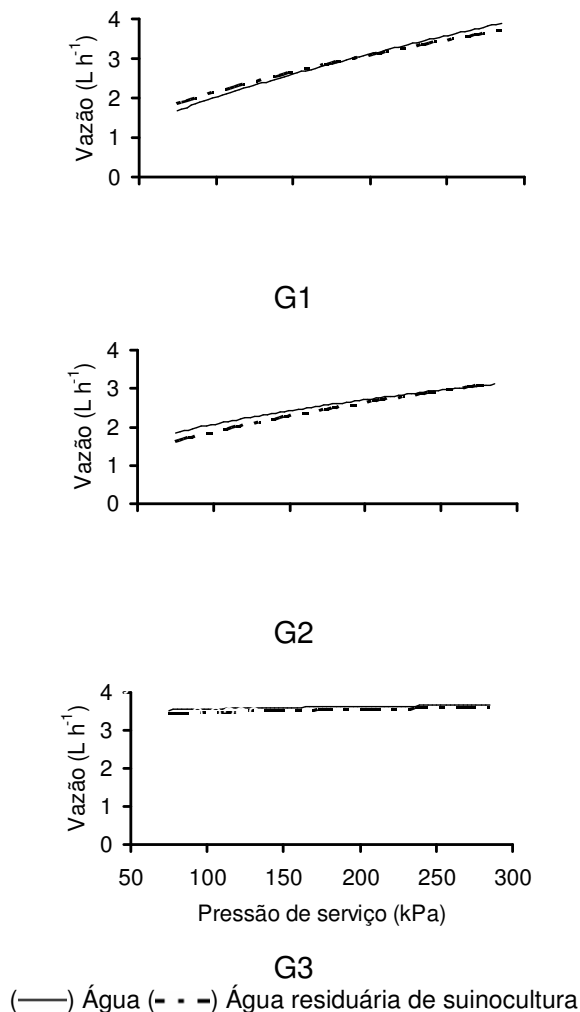


Figura 7 - Curvas relacionando vazão e pressão de operação dos gotejadores G1, G2 e G3 operando com água residuária de suinocultura e água.

4.2.2. Qualidade da água residuária de suinocultura e da água

No Quadro 18 estão apresentadas as características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura utilizada no abastecimento das subunidades de fertirrigação e no Quadro 19, o valor máximo, valor mínimo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação dessas características.

A temperatura do efluente (T) oscilou de 17,00 a 19,00 °C, sendo o valor médio de 17,89 °C, conforme apresentado nos Quadros 18 e 19. Observou-se que todos os valores de T encontraram-se fora da faixa de 20 a 30 °C, estabelecida por Pizarro Cabello (1990) como ótima para o

desenvolvimento de bactérias. No entanto, muitos gêneros de bactérias podem desenvolver-se também sob temperaturas menores. Verificou-se, ainda, que os valores de T foram inferiores ao limite de 40 °C estabelecido pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 357, 2005), que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos receptores e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

Observando os dados apresentados nos Quadros 18 e 19, constatou-se que a concentração dos sólidos suspensos (SS) no efluente variou de 194 a 472 mg L⁻¹, tendo como média o valor de 331 mg L⁻¹. Tais resultados foram inferiores à concentração de SS de 641 mg L⁻¹ obtida por Oliveira et al. (2005), em estudo com efluente da suinocultura filtrado em tela com abertura de 192 µm. O risco de entupimento dos gotejadores foi classificado como severo de acordo com a classificação de Bucks et al. (1979), pois os valores de SS foram superiores ao limite de 100 mg L⁻¹. Além disso, todas as concentrações de SS ultrapassaram o limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido pelo COPAM (1986).

Os sólidos dissolvidos (SD) contidos no efluente variaram de 1.415 a 2.133 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 1.828 mg L⁻¹, conforme observado nos Quadros 18 e 19. Esse valor médio de SD foi inferior à concentração de 5.177 mg L⁻¹ obtida por Pereira (2006), em estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. De acordo com a classificação de Bucks et al. (1979), quanto ao risco de entupimento de gotejadores, parte dos valores de SD encontrava-se na faixa-limite de 500 a 2.000 mg L⁻¹, com risco de entupimento moderado, enquanto a outra parte dos valores de SD foi superior ao limite de 2.000 mg L⁻¹, com risco de entupimento severo.

O efluente apresentou concentração média de ferro (Fe) de 5,14 mg L⁻¹, conforme apresentado no Quadro 19. Pereira (2006), trabalhando com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, obteve concentração média de Fe de 4,08 mg L⁻¹. As concentrações de Fe variaram de 2,56 a 10,91 mg L⁻¹ (Quadro 18), valores esses superiores ao limite de 1,5 mg L⁻¹, com risco de entupimento de gotejadores classificado como severo (BUCKS et al., 1979). Nesse caso, o risco de entupimento pelo íon ferroso (Fe²⁺) foi mínimo, devido à abundância de matéria orgânica no efluente (THEIS; SINGER, 1974). No entanto, o risco de entupimento persiste, pois existem bactérias que utilizam o Fe mesmo complexado no seu metabolismo

(PIZARRO CABELLO, 1990). Notou-se, também, que todas as concentrações de Fe foram inferiores ao limite de 15 mg L⁻¹ estabelecido pelo CONAMA 357 (2005).

A concentração média de manganês (Mn) no efluente foi de 0,57 mg L⁻¹, tal como apresentado no Quadro 19. Esse valor médio de Mn foi inferior ao da concentração de 1,41 mg L⁻¹, apresentado por Pereira (2006) para efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. O Mn apresentou concentrações que oscilaram de 0,32 a 0,93 mg L⁻¹ (Quadro 18); esses valores se encontram dentro da faixa-limite de 0,1 a 1,5 mg L⁻¹, estabelecida por Bucks et al. (1979), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como moderado. Os valores de Mn foram inferiores ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido pelo CONAMA 357 (2005).

Quadro 18 - Características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura filtrada, ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação

Característica	Tempo de funcionamento (h)								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
T	18,17	19,00	18,00	18,00	18,00	17,00	17,70	18,17	17,00
SS	200	194	250	352	284	434	326	468	472
SD	1.911	1.993	2.008	1.926	1.654	1.740	1.674	2.133	1.415
Fe	4,01	2,56	10,91	3,62	3,20	3,69	2,68	8,83	6,72
Mn	0,40	0,32	0,59	0,66	0,53	0,57	0,47	0,93	0,71
pH	7,66	7,58	7,52	7,37	7,57	7,65	7,37	7,42	7,59
Na ⁺	1,07	2,49	2,36	3,35	5,37	7,09	6,23	2,84	3,01
Ca ⁺²	3,79	4,84	4,71	5,02	4,63	5,52	6,49	6,67	4,90
Mg ⁺²	2,29	3,28	3,12	3,39	2,29	2,16	2,50	2,38	1,36
RAS	0,62	1,24	1,19	1,63	2,89	3,62	2,94	1,33	1,70
CE	5,09	5,44	5,30	5,56	5,62	5,76	5,78	5,31	5,23
DQO	2.147	2.084	2.117	2.094	1.735	1.864	1.480	1.981	1.505
DBO ₅	1.248	1.196	971	951	864	1.054	756	1.160	756
OG	18	96	36	26	4	17	31	12	9
PBC	2,9 x 10 ⁶	9,0 x 10 ⁵	4,3 x 10 ⁵	7,5 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁶	1 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶

Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; DQO = demanda química de oxigênio, mg L⁻¹; DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio, mg L⁻¹; OG = óleos e graxas, mg L⁻¹; e PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

Quadro 19 - Valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), média (M), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura

Característica	MAX	MIN	M	DP	CV(%)
T	19,00	17,00	17,89	0,62	3,45
SS	472	194	331	109	32,81
SD	2.133	1.415	1.828	224	12,25
Fe	10,91	2,56	5,14	2,99	58,24
Mn	0,93	0,32	0,57	0,18	31,45
pH	7,66	7,37	7,53	0,11	1,50
Na ⁺	7,09	1,07	3,76	2,00	53,35
Ca ⁺²	6,67	3,79	5,18	0,92	17,69
Mg ⁺²	3,39	1,36	2,53	0,64	25,34
RAS	3,62	0,62	1,91	1,00	52,51
CE	5,78	5,09	5,45	0,24	4,42
DQO	2.147	1.480	1.890	261	13,83
DBO ₅	1.248	756	995	183	18,43
OG	96	4	28	28	99,92
PBC	2,9 x 10 ⁶	4,3 x 10 ⁵	1,3 x 10 ⁶	7,3 x 10 ⁵	56,90

Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; DQO = demanda química de oxigênio, mg L⁻¹; DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio, mg L⁻¹; OG = óleos e graxas, mg L⁻¹; e PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) variaram de 7,37 a 7,66, sendo a média de 7,53, como apresentado nos Quadros 18 e 19. Pereira (2006) e Oliveira (2006) encontraram valor de pH semelhante, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 7,4. Em relação ao risco de entupimento de gotejadores, parte dos valores de pH encontrava-se na faixa-limite de 7,0 a 7,5, recebendo a classificação moderada; enquanto a outra parte dos valores de pH foi superior ao limite de 7,5, recebendo a classificação severa (BUCKS et al., 1979). De acordo com a Resolução CONAMA 357 (2005), os valores de pH encontraram-se dentro da faixa de 5 a 9.

O sódio (Na⁺) encontrava-se em concentrações no efluente variando de 1,07 a 7,09 mmol_c L⁻¹, com valor médio de 3,76 mmol_c L⁻¹, conforme apresentado nos Quadros 18 e 19. Pereira (2006) obteve concentração semelhante de Na⁺, em efluente da suinocultura tratado em tanque de

sedimentação, no valor de $3,45 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Segundo Ayers e Westcot (1999), efluentes que possuem concentração de Na^+ elevada em relação ao cálcio e ao magnésio podem provocar sérios problemas de infiltração de água no solo devido à dispersão das argilas.

A concentração média do cálcio (Ca^{2+}) no efluente foi de $5,18 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, conforme apresentado no Quadro 19. Tal valor médio de Ca^{2+} foi semelhante ao da concentração de $5,39 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, obtida por Pereira (2006) em estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Verifica-se, pelo Quadro 18, que as concentrações de Ca^{2+} variaram de 3,79 a $6,67 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo, pois tais valores foram inferiores ao limite de $12,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ estabelecido por Capra e Scicolone (1998).

O magnésio (Mg^{2+}) do efluente apresentou concentração média de $2,53 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (Quadro 19). Esse valor médio de Mg^{2+} foi inferior ao da concentração de $4,28 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, apresentada por Pereira (2006) em seu estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Constatou-se, no Quadro 18, que as concentrações de Mg^{2+} oscilaram de 1,36 a $3,39 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo para os valores de Mg^{2+} inferiores a $2,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$; e moderado para os valores de Mg^{2+} dentro da faixa-limite de 2,0 a $7,3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ (CAPRA; SCICOLONE, 1998).

A relação de adsorção de sódio (RAS) do efluente variou de 0,62 a 3,62 ($\text{mmol}_c \text{ L}^{-1}$)^{0,5}, sendo o valor médio de $1,91 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$, conforme apresentado nos Quadros 18 e 19. Pereira (2006) obteve RAS idêntica, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de $1,91 (\text{mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$.

O valor médio da condutividade elétrica (CE) do efluente foi de $5,45 \text{ dS m}^{-1}$, como apresentado no Quadro 19. Pereira (2006) mediu CE inferior, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de $4,93 \text{ dS m}^{-1}$. Observou-se que os valores de CE oscilaram de 5,09 a $5,78 \text{ dS m}^{-1}$ (Quadro 18).

De acordo com a classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo et al. (2005), o efluente pode ser classificado como de salinidade muito alta, C4 (podendo ser utilizado na fertirrigação de culturas tolerantes aos sais, devendo ser aplicado excesso

de água na irrigação para ter boa lixiviação) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usado em quase todos os solos). Além disso, o efluente não apresenta risco de redução da infiltração de água no solo devido às características CE e RAS, conforme as diretrizes estabelecidas por Ayers e Westcot (1999).

A concentração média da demanda química de oxigênio (DQO) no efluente foi de 1.890 mg L^{-1} , conforme apresentado no Quadro 19. Tal valor médio de DQO foi inferior ao da concentração de 8.945 mg L^{-1} , obtida por Pereira (2006) em seu estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. A DQO apresentou variação na concentração de 1.480 a 2.147 mg L^{-1} (Quadro 18); nesse caso, os resultados não atendem ao padrão para lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 90 mg L^{-1} (COPAM, 1986).

Verifica-se, nos Quadros 18 e 19, que a concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) oscilou de 756 a 1.248 mg L^{-1} , tendo como média o valor de 995 mg L^{-1} . Esse valor médio da DBO_5 foi inferior ao da concentração de 6.820 mg L^{-1} , obtida por Pereira (2006) em estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados obtidos para DBO_5 foram superiores ao limite de 25 mg L^{-1} de DBO_5 , estabelecido por Capra e Scicolone (2004) para ótima uniformidade de aplicação de efluente via sistemas de irrigação por gotejamento. Observou-se também que os valores da DBO_5 não atendem ao limite para lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 60 mg L^{-1} (COPAM, 1986).

A concentração de óleos e graxas (OG) no efluente variou de 4 a 96 mg L^{-1} , sendo a média de 28 mg L^{-1} , conforme apresentado nos Quadros 18 e 19. Pereira-Ramirez et al. (2004) obtiveram concentração média de OG de 250 mg L^{-1} , em efluente da suinocultura. Os resultados obtidos para OG atendem ao padrão de lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 50 mg L^{-1} , com exceção da concentração de OG, obtida no tempo de funcionamento de 20 h (COPAM, 1986).

A população de bactérias (PBC) no efluente variou de $4,3 \times 10^5$ a $2,9 \times 10^6 \text{ UFC mL}^{-1}$, com valor médio de $1,3 \times 10^6 \text{ UFC mL}^{-1}$, como apresentado nos Quadros 18 e 19. Pereira (2006) determinou PBC inferior, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de

$5,4 \times 10^5$ NMP mL⁻¹ (número mais provável por mililitro). Segundo Bucks et al. (1979), os valores de PBC foram superiores a 5×10^4 UFC mL⁻¹, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como severo.

Nota-se que as características relação de adsorção de sódio (RAS), sódio (Na⁺), população bacteriana (PBC), ferro (Fe) e óleos e graxas (OG) apresentaram coeficientes de variação de 52,51; 53,35; 56,90; 58,24; e 99,92%, respectivamente (Quadro 19). A maior variabilidade dessas características, na água residuária de suinocultura, se deve às práticas de manejo adotadas na granja como a utilização de medicamentos, o nível de diluição dos dejetos durante a limpeza e a variação na composição da ração.

No Quadro 20 estão apresentadas as características física, química e microbiológica da água aplicada pelo equipamento de irrigação.

A temperatura (T) da água variou de 17,00 a 18,17 °C, sendo o valor médio de 17,39 °C, conforme apresentado no Quadro 20. Esses valores encontram-se fora da faixa de 20 a 30 °C, considerada por Pizarro Cabello (1990) como ótima para o desenvolvimento de bactérias.

Em nenhum momento foram detectadas concentrações de sólidos suspensos (SS) na água (Quadro 20). Nesse caso, a característica SS não representou risco de entupimento de gotejadores (BUCKS et al., 1979).

Os sólidos dissolvidos (SD) contidos na água oscilaram de 62 a 67 mg L⁻¹, tendo como média o valor de 64 mg L⁻¹, conforme verificado no Quadro 20. Tais valores foram inferiores ao do limite de 500 mg L⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento como baixo.

O ferro (Fe) apresentou concentrações variando de 0,02 a 0,05 mg L⁻¹, tendo o valor médio de 0,04 mg L⁻¹, como apresentado no Quadro 20. As concentrações de Fe foram inferiores a 0,2 mg L⁻¹, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo (BUCKS et al., 1979).

As concentrações de manganês (Mn) da água também não foram detectadas (Quadro 20), sendo o risco de entupimento de gotejadores considerado inexistente (BUCKS et al., 1979).

Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) da água variaram de 6,88 a 7,13, sendo a média de 7,03, conforme observado no Quadro 20. Parte dos valores de pH foi menor que 7,0, sendo o risco de entupimento classificado como baixo, enquanto os outros valores de pH ficaram dentro da faixa-limite de 7,0 a 7,5, que classifica o risco de entupimento de gotejadores como moderado (BUCKS et al., 1979).

O sódio (Na^+) da água encontrou-se em concentrações oscilando de 0,09 a 0,18 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo o valor médio de 0,13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 20). Ayers e Westcot (1999) afirmaram que águas com concentrações de Na^+ inferiores a 3,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ não causam problemas de toxicidade às culturas irrigadas.

A concentração de cálcio (Ca^{2+}) na água variou de 0,50 a 0,39 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo a média de 0,44 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 20). Esses resultados permitem classificar o risco de entupimento de gotejadores como baixo, pois tais valores foram inferiores ao limite de 12,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ estabelecido por Capra e Scicolone (1998).

O magnésio (Mg^{2+}) contido na água oscilou de 0,15 a 0,11 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo valor médio de 0,13 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, conforme apresentado no Quadro 20. Tais valores foram inferiores ao limite de 2,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ estabelecido por Capra e Scicolone (1998), que classificaram o risco de entupimento como baixo.

Os valores da razão de adsorção de sódio (RAS) da água variaram de 0,17 a 0,31 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}, sendo o valor médio de 0,24 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}, conforme verificado no Quadro 20. A condutividade elétrica da água (CE) variou de 0,09 a 0,12 dS m^{-1} , tendo valor médio de 0,10 dS m^{-1} , como também apresentado nesse quadro.

Utilizando a classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo et al. (2005), a água pode ser classificada como de salinidade baixa, C1 (podendo ser utilizada na irrigação da maioria das culturas com pouca probabilidade de ocasionar salinidade) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos). No entanto, a água apresenta risco severo de redução da infiltração no solo, devido aos baixos valores de CE e RAS (AYERS; WESTCOT, 1999).

A população de bactérias (PBC) na água oscilou de $6,0 \times 10^2$ a $2,2 \times 10^3$ UFC mL⁻¹, tendo como média o valor de $9,8 \times 10^2$ UFC mL⁻¹ (Quadro 20). Tais valores foram inferiores ao limite de 10^4 UFC mL⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como baixo.

Quadro 20 - Características física, química e microbiológica da água ao longo do tempo de funcionamento do equipamento de irrigação com respectivas médias e desvios-padrão

Característica	Tempo de funcionamento (h)			Média ± desvio-padrão
	0	80	160	
T	18,17	17,00	17,00	17,39 ± 0,67
SS	0	0	0	0 ± 0
SD	62	63	67	64 ± 3
Fe	0,05	0,05	0,02	0,04 ± 0,02
Mn	0	0	0	0 ± 0
pH	6,88	7,13	7,07	7,03 ± 0,13
Na ⁺	0,09	0,13	0,18	0,13 ± 0,05
Ca ⁺²	0,39	0,42	0,50	0,44 ± 0,06
Mg ⁺²	0,11	0,15	0,13	0,13 ± 0,02
RAS	0,17	0,24	0,31	0,24 ± 0,07
CE	0,12	0,09	0,11	0,10 ± 0,01
PBC	$6,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^2$	$2,2 \times 10^3$	$9,8 \times 10^2 \pm 1,1 \times 10^3$

Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; e PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

4.2.3. Desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas pressões de serviço

Em função do pequeno comprimento das linhas laterais, a perda de carga distribuída não foi considerada como fator de variação de vazão dos gotejadores. Do mesmo modo, o efeito da temperatura do fluido circulante como causa de perda de uniformidade de aplicação foi desprezado, devido à utilização de gotejadores tipo labirinto, com regime de escoamento turbulento. Ademais, as linhas laterais foram instaladas em nível, eliminando o desnível como fonte de desuniformidade de aplicação. Assim, toda variação de vazão dentro das linhas laterais foi atribuída ao coeficiente de variação de fabricação, inerente a cada gotejador e, posteriormente, ao processo de entupimento de gotejadores.

Nas Figuras 8 a 13 estão apresentados os resultados do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas pressões de serviço. Deve-se ressaltar que as unidades de fertirrigação operaram diariamente por quatro horas, aplicando-se água residuária de suinocultura durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

Nas subunidades com gotejador G1, observou-se que ocorreram alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q em função do tempo de funcionamento e das pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 (Figura 8).

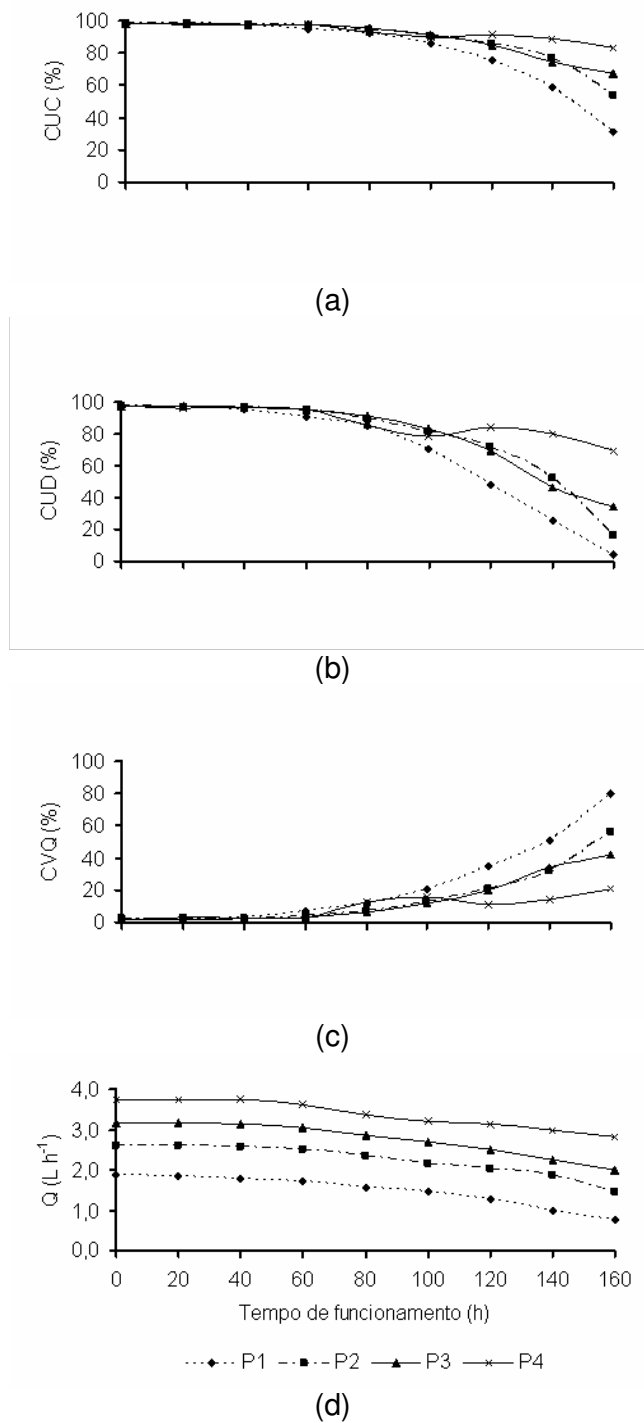


Figura 8 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

Na Figura 8a percebe-se que os valores de CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 97,93; 98,44; 98,57; e 98,65% no tempo de funcionamento inicial e de 31,26; 54,08; 67,13; e 83,37% no tempo de funcionamento de 160 h. Os valores de CUC referentes ao tempo de funcionamento inicial das subunidades foram superiores a 90% e, de acordo com Merriam e Keller (1978) são classificados como excelentes. Entretanto, no tempo de funcionamento de 160 h, somente o valor do CUC da subunidade submetida à pressão de serviço P4 encontrou-se na faixa de 80 a 90%, sendo classificado como bom; os valores do CUC das demais subunidades foram menores que 70%, razão por que receberam a classificação ruim. Estabelecendo comparação entre tempos de funcionamento inicial e 160 h, notou-se que os valores de CUC das subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram reduções de 68, 45, 32 e 15%, respectivamente.

Os valores de CUD das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 96,44 e 3,81%; 97,41 e 16,14%; 97,82 e 34,09%; e 97,86 e 69,50%, respectivamente (Figura 8b). No tempo de funcionamento inicial, todos os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). Porém, quando se analisaram os valores do CUD das subunidades no tempo de funcionamento de 160 h, esses foram classificados como ruins, por serem inferiores a 70%. As reduções nos valores de CUD das subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 96, 83, 65 e 29%, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

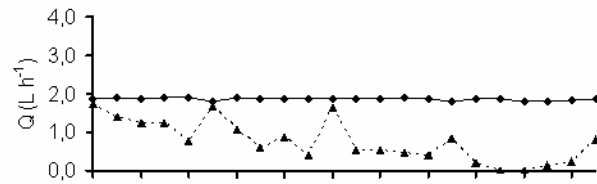
Nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, verificou-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 2,52 e 80,11%; 2,04 e 56,27%; 1,74 e 42,16%; e 1,71 e 20,77%, respectivamente (Figura 8c). No início, verificou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). Já no tempo de funcionamento de 160 h os valores de CVQ das subunidades foram superiores a 20%, recebendo, assim, a classificação inaceitável. Comparando os tempos de funcionamento inicial e 160 h, percebeu-se que os valores de CVQ das

subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram aumentados em 32, 28, 24 e 12 vezes, respectivamente.

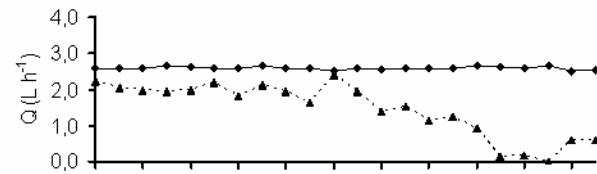
As subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 nos tempos de funcionamento inicial e 160 h apresentaram valores de Q de 1,86 e 0,76 L h⁻¹; 2,60 e 1,45 L h⁻¹; 3,18 e 1,99 L h⁻¹; e 3,76 e 2,83 L h⁻¹, respectivamente (Figura 8d). Assim, as reduções nos valores de Q foram de 59, 44, 37 e 25%.

Em geral, as subunidades dotadas do gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram tendência de decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q e de crescimento nos valores de CVQ, ao longo do tempo de funcionamento. No entanto, tais alterações foram menos pronunciadas nas subunidades operando nas pressões de serviço P3 e P4 do que nas submetidas às pressões de serviço P1 e P2. Provavelmente, as características geométricas e intrínsecas do gotejador G1 favoreceram a minimização do entupimento com o aumento da velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor, em função da elevação da pressão de serviço. Considerando a vazão inicial e a área de orifício do gotejador G1, verificou-se que as velocidades do escoamento de efluente foram de 0,06; 0,08; 0,10; e 0,12 m s⁻¹, nas subunidades com pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

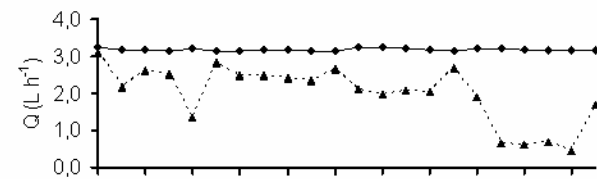
Na Figura 9, verifica-se que houve redução na vazão dos gotejadores G1 ao longo das linhas laterais das subunidades de fertirrigação operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h. No entanto, o entupimento dos gotejadores foi mais acentuado no terço final das linhas laterais. Constatou-se a ocorrência de entupimento total somente nas subunidades submetidas às pressões de serviço P1 e P2 em razão, provavelmente, da menor velocidade do escoamento do efluente no interior dos gotejadores quando operados nessas pressões de serviço.



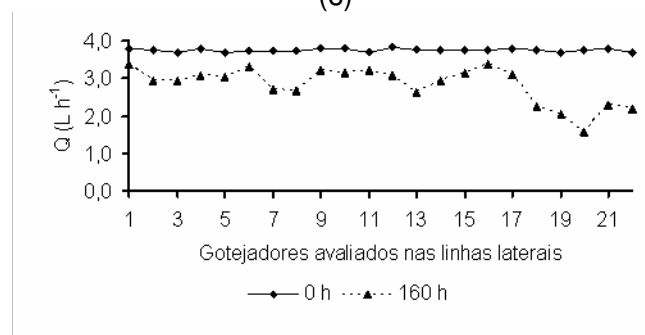
(a)



(b)



(c)



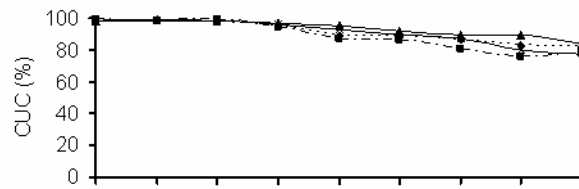
(d)

Figura 9 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 = 75 kPa (a), P2 = 145 kPa (b), P3 = 215 kPa (c) e P4 = 285 kPa (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

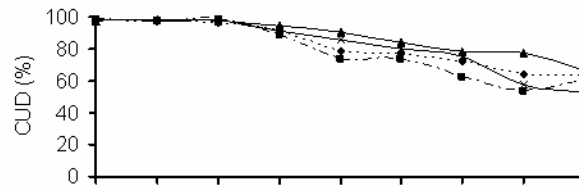
Na Figura 10, apresentam-se as alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q ao longo do tempo das subunidades com gotejador G2 operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4.

Constata-se, na Figura 10a, que os valores de CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, foram de 98,26 e 81,89%; 98,91 e 78,60%; 98,72 e 83,92%; e 98,70 e 77,49%, respectivamente. Segundo Merriam e Keller (1978), os valores do CUC das subunidades no tempo de funcionamento inicial foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes. No tempo de funcionamento de 160 h, os valores do CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P1 e P3 encontraram-se dentro da faixa de 80 a 90%, sendo classificados como bons, enquanto os das subunidades operando com as pressões de serviço P2 e P4 situaram-se dentro da faixa de 70 a 80%, recebendo a classificação razoável. As reduções nos valores do CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 17, 21, 15 e 21%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

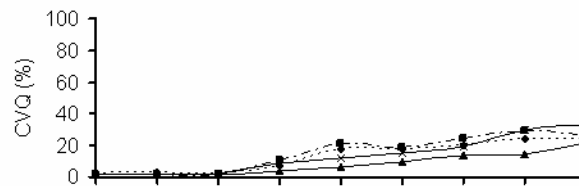
Nas subunidades operando com as pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, os valores do CUD nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 97,41 e 63,58%; 98,37 e 60,61%; 97,73 e 66,38%; e 98,00 e 53,04%, respectivamente (Figura 10b). No tempo de funcionamento inicial, todos os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo, assim, classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). Porém, no tempo de funcionamento de 160 h os valores do CUD das subunidades foram menores que 70%, sendo classificados como ruins. Comparando os tempos de funcionamento inicial e 160 h, verificou-se que as reduções nos valores de CUD das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 35, 38, 32 e 46%, respectivamente.



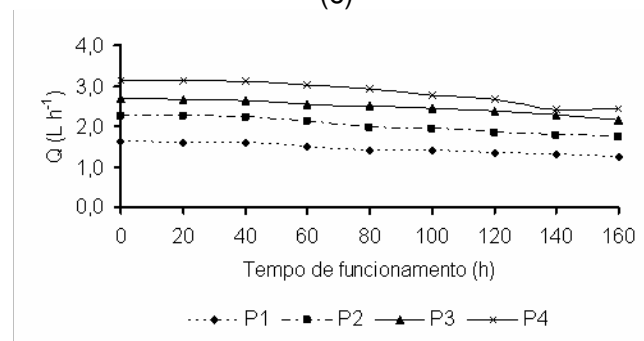
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 10 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

Os valores de CVQ das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 2,21 e 24,47%; 1,26 e 25,68%; 1,71 e 21,89%; e 1,51 e 32,98%, respectivamente (Figura 10c). No tempo de funcionamento inicial, notou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). Entretanto, para o tempo de funcionamento de 160 h observou-se que os valores de CVQ das subunidades foram superiores a 20%, recebendo, assim, a classificação inaceitável. Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h, constatou-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas às pressões P1, P2, P3 e P4 foram aumentados em 11, 20, 13 e 22 vezes, respectivamente.

Verifica-se, na Figura 10d, que os valores de Q das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 1,62 e 1,22 L h⁻¹; 2,25 e 1,73 L h⁻¹; 2,71 e 2,16 L h⁻¹; e 3,15 e 2,43 L h⁻¹, resultando em reduções nos valores de Q de 24, 23, 20 e 23%, respectivamente.

Os resultados indicaram que nas subunidades dotadas do gotejador G2 operando nas pressões de serviços P1, P2, P3 e P4 ocorreu tendência de decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q e de crescimento nos valores de CVQ, ao longo do tempo de funcionamento. No entanto, o aumento da pressão de serviço e, conseqüentemente, da velocidade do escoamento de efluente no emissor não proporcionou alterações consideráveis nos níveis de entupimento de gotejadores. As velocidades do escoamento de efluente foram de 0,24; 0,34; 0,40; e 0,47 m s⁻¹, respectivamente, nas subunidades com pressões de serviço P1, P2, P3 e P4.

Na Figura 11, pode-se verificar que houve redução na vazão dos gotejadores G2, ao longo das linhas laterais das subunidades de fertirrigação, operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, ao se compararem os tempos de funcionamento inicial e 160 h. Percebeu-se a predominância de entupimento parcial e que este foi mais acentuado nos gotejadores situados no terço final das linhas laterais submetidas às pressões de serviço de P1, P2 e P3. O aumento da vazão do gotejador G2, proporcionado pela pressão de serviço P4, ocasionou entupimento parcial acentuado nos terços médio e final das linhas laterais.

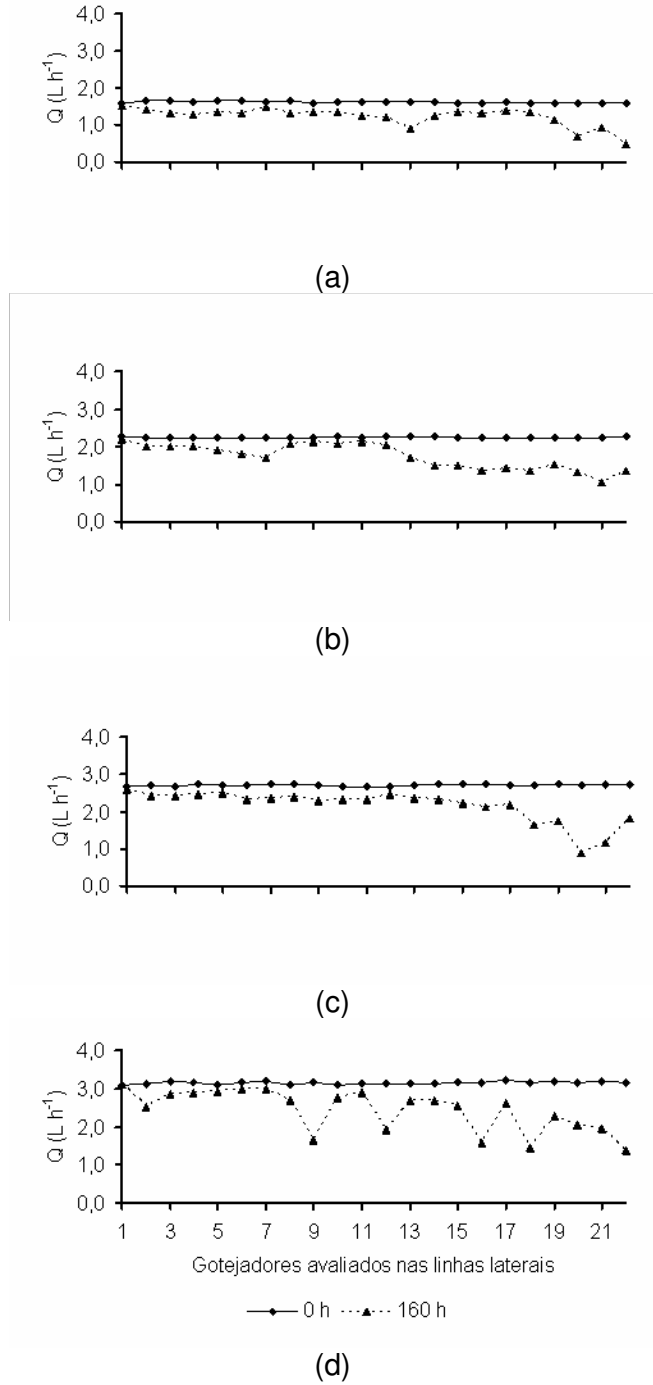
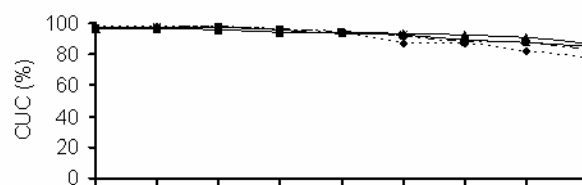


Figura 11 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço $P_1 = 75 \text{ kPa}$ (a), $P_2 = 145 \text{ kPa}$ (b), $P_3 = 215 \text{ kPa}$ (c) e $P_4 = 285 \text{ kPa}$ (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

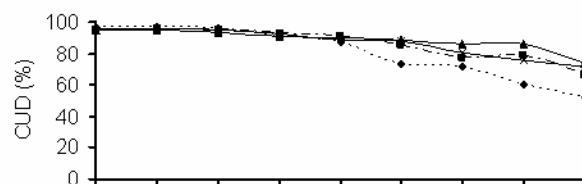
Na Figura 12 estão apresentadas as alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q ao longo do tempo das subunidades com gotejador G3 operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4.

Nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, as subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores do CUC de 97,91 e 77,71%; 96,51 e 82,25%; 96,98 e 86,73%; e 97,53 e 84,90%, respectivamente (Figura 12a). De acordo com o critério estabelecido por Merriam e Keller (1978), os valores do CUC das subunidades no tempo de funcionamento inicial foram superiores a 90%, recebendo, assim, a classificação excelente. No tempo de funcionamento de 160 h, os valores do CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P2, P3 e P4 encontram-se dentro da faixa de 80 a 90%, sendo classificados como bons, enquanto o valor do CUC da subunidade operando na pressão de serviço P1 situa-se dentro da faixa de 70 a 80%, sendo classificado como razoável. Comparando os tempos de funcionamento inicial e 160 h, constatou-se que as reduções nos valores de CUC das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 21, 15, 11 e 13%, respectivamente.

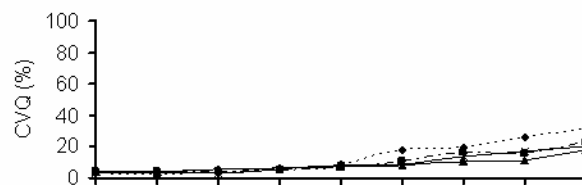
Os valores do CUD das subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, foram de 96,77 e 52,25%; 94,78 e 66,88%; 95,33 e 74,89%; e 95,60 e 71,33%, respectivamente (Figura 12b). No tempo de funcionamento inicial, todos os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo, assim, classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUD obtidos nas pressões de serviço P1 e P2 foram inferiores a 70%, sendo classificados como ruins, enquanto os valores de CUD nas pressões de serviço P3 e P4 se encontram dentro da faixa de 70 a 80%, recebendo a classificação razoável. As reduções nos valores de CUD das subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram de 46, 29, 22 e 25%, respectivamente, depois de 160 h de funcionamento.



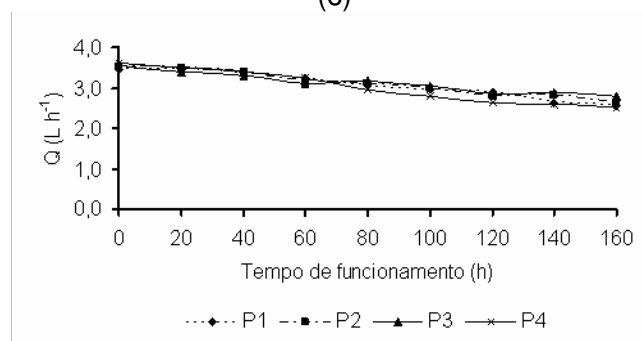
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 12 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 (75 kPa), P2 (145 kPa), P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

Na Figura 12c, verifica-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 2,86 e 30,52%; 4,39 e 22,65%; 3,87 e 17,95%; e 3,21 e 20,66%, respectivamente. No tempo de funcionamento inicial, notou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, conforme a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). Já no tempo de funcionamento de 160 h os valores de CVQ das subunidades submetidas às pressões de serviço P1, P3 e P4 foram superiores a 20%, recebendo a classificação inaceitável; enquanto o CVQ da subunidade submetida à pressão de serviço P2 encontrou-se dentro da faixa de 10 a 20%, sendo classificada como razoável. Os valores de CVQ das subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 foram aumentados em 11, 5, 5 e 6 vezes, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

As subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores de Q de 3,45 e 2,56 L h⁻¹; 3,51 e 2,63 L h⁻¹; 3,54 e 2,78 L h⁻¹; e 3,62 e 2,50 L h⁻¹, respectivamente, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h (Figura 12d). Nesse caso, as reduções nos valores de Q das subunidades foram de 26, 25, 22 e 31%.

Nas subunidades dotadas do gotejador G3, submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, ocorreu tendência de decréscimo dos valores de CUC, CUD e Q e de crescimento dos valores de CVQ ao longo do tempo de funcionamento. Os níveis de entupimento foram semelhantes, devido ao dispositivo de autocompensação que regulou a velocidade de escoamento do efluente no emissor. Tais velocidades foram de 0,19; 0,19; 0,20; e 0,20 m s⁻¹, nas subunidades operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

Notou-se, na Figura 13, que houve redução na vazão dos gotejadores G3 ao longo das linhas laterais das subunidades de fertirrigação operando nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, quando os tempos de funcionamento inicial e 160 h foram comparados. Percebeu-se a predominância do entupimento parcial dos gotejadores e que ele se intensifica no terço final das linhas laterais.

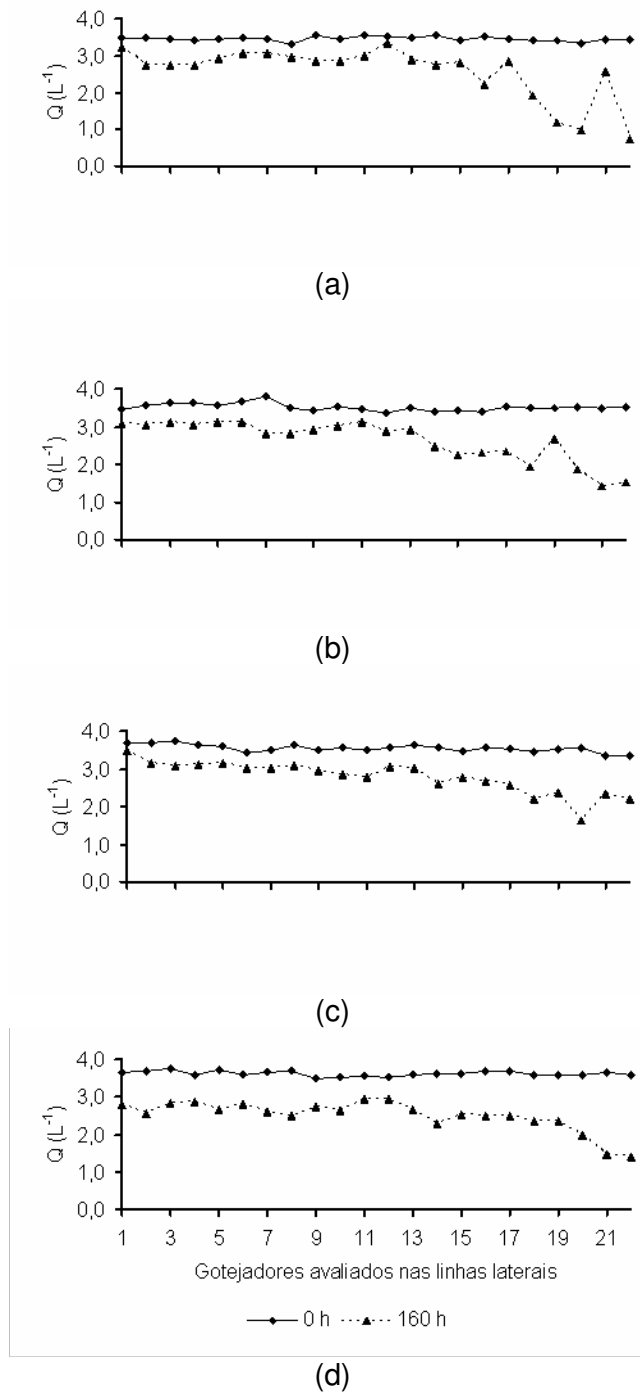


Figura 13 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço $P_1 = 75$ kPa (a), $P_2 = 145$ kPa (b), $P_3 = 215$ kPa (c) e $P_4 = 285$ kPa (d), operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante.

Os resultados do desempenho hidráulico indicaram que o gotejador G3 foi menos suscetível ao entupimento do que os gotejadores G1 e G2, devido à maior área de filtração e vazão, corroborando, assim, as afirmações de Ravina et al. (1992) e Dehghanisani et al. (2005). Já a maior suscetibilidade ao entupimento do gotejador G1 se deveu à menor velocidade do escoamento de efluente e ao maior comprimento do labirinto, confirmando os relatos de Pizarro Cabello (1990) e Cararo et al. (2006). O gotejador G2 foi mais suscetível ao entupimento do que o G3, por apresentar menor área de filtração e vazão, e menos suscetível ao entupimento do que G1, dada a maior velocidade do escoamento de efluente e o menor comprimento do labirinto. Maiores níveis de entupimento foram observados nas subunidades com gotejadores G1 e G3 operando na pressão de serviço P1, em função das baixas velocidades do escoamento de efluente que favoreceu a sedimentação de partículas. Entretanto, os menores níveis de entupimento ocorreram nos gotejadores G2 e G3 submetidos à pressão de serviço P3 e no gotejador G1 operando na pressão de serviço P4. A localização do entupimento apresentou como tendência ser mais acentuada no final das linhas laterais, independentemente do valor da pressão de serviço nas subunidades dotadas dos gotejadores G1, G2 e G3. Maior ocorrência de entupimento no segmento final da linha lateral foi também observada nos trabalhos de Ravina et al. (1992) e Capra e Scicolone (1998).

4.2.4. Análise estatística do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas pressões de serviço

No Quadro 21, encontra-se o resumo da análise de variância dos valores de CUC, CUD, CVQ e Q das subunidades de fertirrigação, no esquema de parcelas subdivididas.

Verificou-se, nas variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, que a interação $P \times G \times T$ foi significativa a 1% de probabilidade, conforme apresentado no Quadro 21. Os valores do coeficiente de variação das mesmas variáveis na subsubparcela foram de aproximadamente 4, 8, 38 e 3%, respectivamente.

Quadro 21 - Resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subdivididas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio			
		CUC	CUD	CVQ	Q
Pressão de serviço (P)	3	426,122*	1316,276 ^{ns}	702,954*	17,844**
Resíduo (a)	8	82,040	354,551	140,630	0,029
Tipo de gotejador (G)	2	531,016**	1627,675**	807,756**	22,249**
P x G	6	203,447**	513,624*	302,473**	4,961**
Resíduo (b)	16	44,515	150,987	81,680	0,015
Tempo de funcionamento (T)	8	2562,362**	9299,136**	4264,163**	3,401**
P x T	24	73,783**	179,711**	101,308**	0,017**
G x T	16	265,504**	638,763**	361,461**	0,136**
P x G x T	48	65,227**	170,449**	99,249**	0,017**
Resíduo (c)	192	14,254	49,384	23,179	0,005
CV (%) parcela		10,016	22,970	92,821	6,576
CV (%) subparcela		7,378	14,989	70,740	4,837
CV (%) subsubparcela		4,175	8,573	37,684	2,729

** , * e ^{ns} F significativos a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. CV = coeficiente de variação.

Em vista dos resultados das análises de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação P x G x T.

As equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CUC, CUD, CVQ e Q em função das pressões de serviço e dos tempos de funcionamento das subunidades de fertirrigação abastecidas com água residuária de suinocultura e com água, em cada tipo de gotejador estudado, estão apresentadas no Quadro 22.

Nas subunidades dotadas do gotejador G1, houve efeito linear da pressão de serviço e quadrático do tempo de funcionamento na alteração dos valores de CUC, CUD, CVQ e Q. Verificou-se que, ao ser fixada a pressão de serviço, houve decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q com o aumento do tempo de funcionamento e, analogamente, se for fixado o tempo de funcionamento, ocorreram aumentos nos valores de CUC, CUD e Q com o aumento da pressão de serviço. Na equação de regressão ajustada aos dados de CVQ, ao fixar a pressão de serviço ocorreu aumento do CVQ com o tempo de funcionamento, enquanto se for fixado o tempo de funcionamento haverá decréscimo no valor de CVQ com o aumento na pressão de serviço. Nesse caso, as equações de regressão ajustadas aos valores de CUC, CUD, CVQ e Q apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,80; 0,85; 0,82; e 0,99, respectivamente, conforme observado no Quadro 22.

Em relação às subunidades dotadas do gotejador G2, houve efeito quadrático e linear do tempo de funcionamento na alteração dos valores de CUC, CUD e Q; e CVQ, respectivamente. Enquanto a pressão de serviço exerceu efeito linear somente sobre os valores de Q. Constatou-se que, ao ser fixada a pressão de serviço, ocorreu decréscimo nos valores Q com o aumento do tempo de funcionamento. As equações de regressão ajustadas aos valores de CUC, CUD, CVQ e Q apresentaram R^2 de 0,86; 0,87; 0,83; e 0,98 (Quadro 22).

Nas subunidades dotadas dos gotejadores G3, houve efeito quadrático e linear do tempo de funcionamento na alteração dos valores de CUC, CUD e CVQ; e Q, respectivamente. Enquanto a pressão de serviço exerceu efeito linear somente sobre os valores de CUD. Observou-se que, se for fixada a pressão de serviço, ocorre decréscimo nos valores de CUD com o aumento do tempo de funcionamento. As equações de regressão ajustadas aos valores de CUC, CUD, CVQ e Q apresentaram R^2 de 0,84; 0,83; 0,83; e 0,93, respectivamente, conforme apresentado no Quadro 22.

Quadro 22 - Equações de regressão ajustadas às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, em função das pressões de serviço (P) e dos tempos de funcionamento (T), para os tipos de gotejadores estudados e os respectivos coeficientes de determinação

Gotejador	Equações de regressão	R^2
1	$C\hat{U}C = 87,022 + 0,0530^{**} P + 0,159^{**} T - 0,00235^{**} T^2$	0,80
2	$C\hat{U}C = 99,841 - 0,0630^{*} T - 0,000414^{**} T^2$	0,86
3	$C\hat{U}C = 97,419 - 0,00163^{ns} T - 0,000552^{**} T^2$	0,84
1	$C\hat{U}D = 80,408 + 0,0841^{**} P + 0,203^{**} T - 0,00374^{**} T^2$	0,85
2	$C\hat{U}D = 100,214 - 0,129^{**} T - 0,000833^{**} T^2$	0,87
3	$C\hat{U}D = 90,224 + 0,0313^0 P + 0,00790^{ns} T - 0,00119^{**} T^2$	0,83
1	$C\hat{V}Q = 15,059 - 0,0642^{**} P - 0,149^{**} T + 0,00265^{**} T^2$	0,82
2	$C\hat{V}Q = -1,379 + 0,174^{**} T$	0,83
3	$C\hat{V}Q = 3,366 - 0,00316^{ns} T + 0,000777^{**} T^2$	0,83
1	$\hat{Q} = 1,256 + 0,00894^{**} P - 0,000597^{ns} T - 0,0000395^{**} T^2$	0,99
2	$\hat{Q} = 1,254 + 0,00668^{**} P - 0,00231^{**} T - 0,00000880^{**} T^2$	0,98
3	$\hat{Q} = 3,560 - 0,00603^{**} T$	0,93

** , * , ⁰ e ^{ns} significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade e não-significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

No Quadro 23 estão apresentados os valores médios do CUC para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço das subunidades de fertirrigação operando com água residuária de suinocultura e água. Observa-se, nesse quadro, que não houve efeito da pressão de serviço sobre o CUC, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 100 h.

Notou-se que o valor do CUC da subunidade dotada do gotejador G1, submetida à pressão de serviço P1, diferiu do CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 120 h. Na pressão de serviço P2, os valores de CUC das subunidades com gotejadores G1 e G2 diferiram do CUC da subunidade com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 140 h, enquanto no tempo de funcionamento de 160 h o CUC da subunidade com gotejador G1 diferiu dos valores de CUC das subunidades com gotejadores G2 e G3. O CUC da subunidade dotada do gotejador G1, operando na pressão de serviço P3, diferiu do CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 140 h. Na pressão de serviço P4, somente os valores de CUC das subunidades com gotejadores G1 e G2 diferiram entre si, no tempo de funcionamento de 140 h.

Quadro 23 - Valores médios da variável CUC (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	97,93a	98,44a	98,57a	98,65a
	G2	98,26a	98,86a	98,72a	98,70a
	G3	97,91a	96,51a	96,98a	97,53a
20	G1	97,82a	98,02a	98,44a	97,76a
	G2	98,45a	98,67a	99,00a	98,59a
	G3	97,93a	96,84a	96,63a	97,21a
40	G1	97,19a	97,97a	97,94a	97,80a
	G2	97,88a	98,82a	98,76a	98,45a
	G3	97,21a	97,11a	95,67a	97,30a
60	G1	94,74a	96,52a	97,37a	97,29a
	G2	95,03a	94,39a	97,04a	95,66a
	G3	95,46a	96,07a	94,48a	96,01a
80	G1	91,88a	94,24a	94,99a	92,74a
	G2	89,03a	87,04a	95,00a	92,60a
	G3	93,14a	94,57a	94,03a	93,59a
100	G1	85,51a	90,55a	91,11a	89,86a
	G2	88,68a	86,14a	92,19a	89,58a
	G3	86,94a	91,56a	93,51a	92,73a
120	G1	75,57b	86,10a	85,15a	91,47a
	G2	86,06a	80,38a	89,32a	87,15a
	G3	86,39a	87,37a	92,60a	89,43a
140	G1	58,81b	77,29b	74,45b	89,17a
	G2	82,73a	75,45b	89,30a	79,79b
	G3	81,51a	87,88a	91,15a	87,37ab
160	G1	31,26b	54,08b	67,13b	83,37a
	G2	81,89a	78,60a	83,92a	77,49a
	G3	77,71a	82,25a	86,73a	84,90a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 75 kPa; P2 = 145 kPa; P3 = 215 kPa; e P4 = 285 kPa.

Estão apresentados no Quadro 24 os valores médios do CUD para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço das subunidades de fertirrigação operando com água residuária de suinocultura e água. Constata-se, nesse quadro, que não houve efeito da pressão de serviço sobre o CUD, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 100 h.

Verificou-se que o CUD da subunidade com gotejador G1, operando na pressão de serviço P1, diferiu do CUC das subunidades com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 120 h. Na pressão de serviço P2, os valores de CUD das subunidades com gotejadores G1 e G2 diferiram do CUD da subunidade com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 140 h;

no entanto, no tempo de funcionamento de 160 h, o CUD da subunidade com gotejador G1 diferiu dos valores de CUD das subunidades com gotejadores G2 e G3. Na pressão de serviço P3, observou-se, no tempo de funcionamento de 120 h, que o CUD da subunidade com gotejador G1 diferiu do CUD da subunidade com gotejador G3, enquanto nos tempos de funcionamento de 140 e 160 h o valor do CUD da subunidade com gotejador G1 diferiu do CUD das subunidades com gotejadores G2 e G3. O CUD da subunidade com gotejador G2, operando na pressão de serviço P4, diferiu do CUD das subunidades com gotejadores G1 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 140 h.

Quadro 24 - Valores médios da variável CUD (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	96,44a	97,41a	97,82a	97,86a
	G2	97,41a	98,37a	97,73a	98,00a
	G3	96,77a	94,78a	95,33a	95,60a
20	G1	96,63a	97,01a	97,55a	95,80a
	G2	96,96a	97,90a	98,25a	97,61a
	G3	96,67a	94,69a	95,14a	95,62a
40	G1	95,22a	96,54a	96,46a	96,74a
	G2	96,38a	98,19a	97,83a	97,59a
	G3	95,70a	95,04a	93,15a	95,35a
60	G1	90,72a	94,95a	95,01a	95,14a
	G2	91,00a	88,65a	94,38a	91,35a
	G3	91,40a	93,08a	90,96a	92,77a
80	G1	84,76a	89,66a	91,34a	85,54a
	G2	78,27a	73,55b	90,06a	85,48a
	G3	87,23a	91,10a	90,01a	88,54a
100	G1	70,77a	81,38a	83,50a	78,70a
	G2	76,77a	73,39a	84,21a	79,86a
	G3	72,95a	85,09a	88,90a	88,14a
120	G1	48,26b	71,93a	69,80b	84,40a
	G2	71,69a	62,72a	78,36ab	74,98a
	G3	71,67a	77,47a	86,46a	80,29a
140	G1	25,78b	51,98b	46,48b	80,29a
	G2	63,92a	53,98b	77,38a	57,78b
	G3	60,13a	78,57a	85,78a	75,20a
160	G1	3,81b	16,24b	34,09b	69,50a
	G2	63,58a	60,61a	66,38a	53,04b
	G3	52,25a	66,88a	74,09a	71,33a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 75 kPa; P2 = 145 kPa; P3 = 215 kPa; e P4 = 285 kPa.

No Quadro 25 encontram-se apresentados os valores médios do CVQ para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço das subunidades de fertirrigação operando com água residuária de suinocultura e água. Verifica-se, nesse quadro, que não houve efeito da pressão de serviço sobre o CVQ, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 60 h, indicando que o CVQ é mais sensível na detecção do entupimento de gotejadores do que o CUC e o CUD.

Constatou-se que o valor do CVQ da subunidade com gotejador G1, operando na pressão de serviço P1, diferiu do CVQ das subunidades com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 120 h. Na pressão de serviço P2, notou-se, no tempo de funcionamento de 140 h, que o CVQ das subunidades com gotejadores G1 e G2 diferiu do CVQ da subunidade com gotejador G3, enquanto no tempo de funcionamento de 160 h o CVQ da subunidade com gotejador G1 diferiu do CVQ das subunidades com gotejadores G2 e G3. O CVQ da subunidade com gotejador G1, operando na pressão de serviço P3, diferiu do CVQ das subunidades com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 140 h. Na pressão de serviço P4, o CVQ da subunidade com gotejador G2 difere do CVQ das subunidades com gotejadores G1 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 140 h.

Quadro 25 - Valores médios da variável CVQ (%) das subunidades de fertirrigação operando diariamente por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante, para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	2,52a	2,04a	1,74a	1,71a
	G2	2,21a	1,26a	1,71a	1,51a
	G3	2,86a	4,39a	3,87a	3,21a
20	G1	2,70a	2,38a	1,86a	2,85a
	G2	2,83a	1,54a	1,32a	1,83a
	G3	2,63a	4,14a	4,24a	3,54a
40	G1	3,51a	2,58a	2,49a	2,74a
	G2	2,70a	1,44a	1,59a	2,04a
	G3	3,53a	3,70a	5,43a	3,45a
60	G1	7,22a	4,18a	3,54a	3,29a
	G2	6,92a	10,49a	3,99a	8,61a
	G3	5,87a	5,18a	6,89a	5,56a
80	G1	11,95a	7,28b	6,32a	12,58a
	G2	17,72a	20,76a	6,63a	12,35a
	G3	8,86a	6,83b	7,71a	8,50a
100	G1	20,49a	12,50a	11,54a	15,71a
	G2	17,70a	18,43a	10,03a	15,67a
	G3	17,59a	10,52a	7,86a	9,00a
120	G1	34,93a	20,29a	19,59a	11,15a
	G2	20,40b	24,34a	14,03a	18,96a
	G3	19,16b	16,11a	10,23a	14,06a
140	G1	50,96a	31,98a	34,30a	13,99b
	G2	24,19b	29,25a	14,35b	29,95a
	G3	25,85b	15,06b	11,23b	16,98b
160	G1	80,11a	56,27a	42,16a	20,77b
	G2	24,47b	25,68b	21,89b	32,98a
	G3	30,52b	22,65b	17,95b	20,66b

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 75 kPa; P2 = 145 kPa; P3 = 215 kPa; e P4 = 285 kPa.

4.3. Experimento 3: Efeito da proporção de água no entupimento de gotejadores em fertirrigação com água residuária de suinocultura

4.3.1. Qualidade da água residuária de suinocultura e da água

Nos Quadros 26 e 27, apresentam-se as características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura utilizada no abastecimento das unidades de fertirrigação e valor máximo, valor mínimo, média, desvio-padrão e coeficiente de variação dessas características.

Verifica-se, nos Quadros 26 e 27, que a temperatura do efluente (T) variou de 17,83 a 19,83 °C, sendo o valor médio de 19,02 °C. Os resultados encontraram-se fora da faixa de 20 a 30 °C estabelecida por Pizarro Cabello (1990) como ótima para o desenvolvimento de bactérias, além de serem inferiores ao limite de 40 °C estabelecido pelo CONAMA 357 (2005).

A concentração dos sólidos suspensos (SS) no efluente oscilou de 242 a 416 mg L⁻¹, com valor médio de 333 mg L⁻¹, conforme apresentado nos Quadros 26 e 27. Esses valores foram inferiores à concentração de SS de 641 mg L⁻¹ obtida por Oliveira et al. (2006) em seu estudo com efluente da suinocultura filtrado em tela com abertura de 192 µm. Observou-se que os valores de SS foram superiores ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como severo. Além disso, os valores de SS ultrapassaram o limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido pelo COPAM (1986).

Constata-se, nos Quadros 26 e 27, que as concentrações de sólidos dissolvidos (SD) no efluente variaram de 1.052 a 1.787 mg L⁻¹, sendo a concentração média de 1.370 mg L⁻¹. Esse valor médio de SD foi inferior à concentração de 5.177 mg L⁻¹ obtida por Pereira (2006) em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados encontraram-se na faixa-limite de 500 a 2.000 mg L⁻¹ estabelecida por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como moderado.

O enxofre (S) do efluente encontrou-se em concentrações oscilando de 28,93 a 55,63 mg L⁻¹, com média de 45,40 mg L⁻¹, como observado nos Quadros 26 e 27. Segundo Ayers e Westcot (1999), o risco de entupimento de

gotejadores pode ser severo, pois as concentrações de S foram superiores ao limite de 0,1 mg L⁻¹.

Nota-se, nos Quadros 26 e 27, que a concentração de ferro (Fe) no efluente variou de 3,66 a 12,83 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 5,50 mg L⁻¹. Tal valor médio de Fe foi inferior à concentração de 12,40 mg L⁻¹ apresentada por Oliveira (2006), em seu estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados foram superiores ao limite de 1,5 mg L⁻¹, que classifica o risco de entupimento de gotejadores como severo (BUCKS et al., 1979). Ademais, as concentrações de Fe foram inferiores ao limite de 15 mg L⁻¹ estabelecido pelo CONAMA 357 (2005).

Quadro 26 - Características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura filtrada ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação

Característica	Tempo de funcionamento (h)								
	0	20	40	60	80	100	120	140	160
T	19,17	19,67	18,50	19,83	18,50	19,67	17,83	19,00	19,02
SS	298	362	416	378	312	242	256	338	394
SD	1.787	1.474	1.592	1.696	1.100	1.066	1.394	1.171	1.052
S	29,00	28,93	39,55	45,13	48,21	52,59	54,30	55,63	55,24
Fe	4,76	4,54	6,87	12,83	4,77	4,45	3,74	3,84	3,66
Mn	0,57	0,66	2,73	1,28	0,53	0,52	0,52	0,38	0,36
pH	7,60	7,37	7,44	7,61	7,61	7,66	7,37	7,40	7,77
Na ⁺	2,41	2,32	2,41	2,06	2,15	2,06	1,89	2,06	1,89
Ca ⁺²	5,14	2,99	5,12	6,64	4,77	4,76	4,62	4,79	4,83
Mg ⁺²	3,08	3,17	2,85	3,32	2,34	2,36	2,42	2,77	3,00
RAS	1,19	1,32	1,21	0,92	1,14	1,09	1,01	1,06	0,96
CE	4,54	4,52	4,32	4,16	4,00	3,94	3,96	4,01	4,06
DQO	1.782	2.120	1.560	2.040	792	706	680	627	745
DBO ₅	693	1.038	832	831	386	443	456	429	314
OG	75	10	13	46	8	57	12	10	12
ALC	1.901	1.894	1.777	1.797	1.756	1.653	1.674	1.663	1.653
PBC	1,6 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁷	1,7 x 10 ⁴	1,3 x 10 ⁶	1,2 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁶	5,4 x 10 ⁵

Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; S = enxofre, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; DQO = demanda química de oxigênio, mg L⁻¹; DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio, mg L⁻¹; OG = óleos e graxas, mg L⁻¹; ALC = alcalinidade a pH 4,3, mg L⁻¹; e PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

Quadro 27 - Valor máximo (MAX), valor mínimo (MIN), média (M), desvio-padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) das características física, química e microbiológica da água residuária de suinocultura

Característica	MAX	MIN	M	DP	CV(%)
T	19,83	17,83	19,02	0,66	3,46
SS	416	242	333	60,56	18,19
SD	1787	1052	1370	284,39	20,76
S	55,63	28,93	45,40	10,69	23,55
Fe	12,83	3,66	5,50	2,92	53,05
Mn	2,73	0,36	0,84	0,76	90,64
pH	7,77	7,37	7,54	0,14	1,92
Na ⁺	2,41	1,89	2,14	0,20	9,30
Ca ⁺²	6,64	2,99	4,85	0,93	19,16
Mg ⁺²	3,32	2,34	2,81	0,37	13,03
RAS	1,32	0,92	1,10	0,13	11,66
CE	4,54	3,94	4,17	0,24	5,66
DQO	2120	627	1228	635,33	51,73
DBO ₅	1038	314	602	252,43	41,90
OG	75	8	27	25,37	93,97
ALC	1901	1653	1752	99,17	5,66
PBC	1,1 x 10 ⁷	1,7 x 10 ⁴	2,3 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁶	147,75

Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; S = enxofre, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; DQO = demanda química de oxigênio, mg L⁻¹; DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio, mg L⁻¹; OG = óleos e graxas, mg L⁻¹; ALC = alcalinidade a pH 4,3, mg L⁻¹; PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹; e UFC = unidades formadoras de colônias.

A concentração de manganês (Mn) no efluente oscilou de 0,36 a 2,73 mg L⁻¹, sendo a média de 0,84 mg L⁻¹, como apresentado nos Quadros 26 e 27. No estudo apresentado por Oliveira (2006) foi obtida uma concentração de Mn superior, para efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 5,4 mg L⁻¹. Verificou-se que somente os valores de Mn obtidos nos tempos de funcionamento de 40 e 60 h foram superiores ao limite de 1,5 mg L⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como severo; os demais valores de Mn encontraram-se dentro da faixa-limite de 0,1 a 1,5 mg L⁻¹, que classifica o risco de entupimento de gotejadores como moderado. De acordo com a Resolução CONAMA 357 (2005), os resultados atendem ao padrão de lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do território nacional, que é de 1 mg L⁻¹,

com exceção das concentrações de Mn obtidas nos tempos de funcionamento de 40 e 60 h.

Observa-se, nos Quadros 26 e 27, que os valores do potencial hidrogeniônico (pH) oscilaram de 7,37 a 7,77, com valor médio de 7,54. Tal valor médio de pH foi semelhante ao de 7,4, apresentado por Oliveira (2006) para efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados indicaram que parte dos valores de pH encontrou-se dentro da faixa-limite de 7,0 a 7,5 estabelecida por Bucks et al. (1979), que classifica o risco de entupimento de gotejadores como moderado; enquanto os outros valores de pH foram superiores ao limite de 7,5, que classifica o risco de entupimento de gotejadores como severo. Segundo o CONAMA 357 (2005), os valores de pH encontraram-se dentro da faixa de 5 a 9.

A concentração de sódio (Na^+) no efluente variou de 1,89 a 2,41 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo a média de 2,14 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, conforme apresentado nos Quadros 26 e 27. Oliveira (2006) apresentou concentração de Na^+ superior para efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 4,26 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Nota-se, nos Quadros 26 e 27, que a concentração do cálcio (Ca^{2+}) no efluente variou de 2,99 a 6,64 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, com média de 4,85 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Esse valor médio de Ca^{2+} foi inferior à concentração de 11,48 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ obtida por Oliveira (2006) em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados indicaram que o risco de entupimento de gotejadores foi classificado como baixo, pois os valores de Ca^{2+} foram inferiores ao limite de 12,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ proposto por Capra e Scicolone (1998).

A concentração de magnésio (Mg^{2+}) no efluente oscilou de 2,32 a 3,32 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo o valor médio de 2,81 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, conforme apresentado nos Quadros 26 e 27. Oliveira (2006) apresentou concentração de Mg^{2+} superior para efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 8,32 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Segundo Capra e Scicolone (1998), o risco de entupimento de gotejadores foi classificado como moderado, pois os valores de Mg^{2+} se encontrariam dentro da faixa-limite de 2,0 a 7,3 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Verifica-se, nos Quadros 26 e 27, que a relação de adsorção de sódio (RAS) do efluente variou de 0,92 a 1,32 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}, com valor médio de 1,10 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}. Pereira (2006) obteve RAS superior para efluente da

suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de $1,91 \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1})^{0,5}$.

A condutividade elétrica (CE) do efluente variou de 3,94 a 4,54 dS m^{-1} , tendo como média o valor de 4,17 dS m^{-1} , conforme apresentado nos Quadros 26 e 27. Oliveira (2006) mediu CE superior, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 4,89 dS m^{-1} .

Usando-se a classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo et al. (2005), o efluente pode ser classificado como de salinidade muito alta, C4 (podendo ser utilizado na fertirrigação de culturas tolerantes aos sais, devendo ser aplicado excesso de água na irrigação para ter boa lixiviação) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usado em quase todos os solos). Além disso, o efluente não apresenta risco de redução da infiltração de água no solo devido às características CE e RAS, conforme as diretrizes estabelecidas por Ayers e Westcot (1999).

Observa-se, nos Quadros 26 e 27, que a demanda química de oxigênio (DQO) oscilou de 627 a 2.120 mg L^{-1} , sendo o valor médio de 1.228 mg L^{-1} . Esse valor médio da DQO foi inferior à concentração de 8.945 mg L^{-1} , apresentada por Pereira (2006) em estudo com efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação. Os resultados obtidos para a DQO não atendem ao padrão para lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do estado de Minas Gerais, que é de 90 mg L^{-1} (COPAM, 1986).

A concentração da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) oscilou de 314 a 1.038 mg L^{-1} , sendo a média de 602 mg L^{-1} , conforme observado nos Quadros 26 e 27. Pereira (2006) obteve concentração de DBO_5 superior em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de 6.820 mg L^{-1} . Os resultados de DBO_5 não satisfizeram o limite para o lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do Estado de Minas Gerais, que é de 60 mg L^{-1} (COPAM, 1986).

Constata-se, nos Quadros 26 e 27, que a concentração de óleos e graxas (OG) no efluente variou de 8 a 75 mg L^{-1} , tendo como média o valor de 27 mg L^{-1} . Tal valor médio de OG foi inferior à concentração de 250 mg L^{-1} , obtida por Pereira-Ramirez et al. (2004) em estudo com efluente da suinocultura. De acordo com os resultados, as concentrações de OG atendem ao padrão de lançamento de efluente em corpos hídricos receptores do Estado

de Minas Gerais, que é de 50 mg L^{-1} , com exceção da concentração de OG obtida no tempo de funcionamento inicial (COPAM, 1986).

A alcalinidade a pH 4,3 (ALC) do efluente oscilou de 1.653 a 1.901 mg L^{-1} , com média de 1.752 mg L^{-1} , conforme verificado nos Quadros 26 e 27. Pereira-Ramirez et al. (2004) obtiveram concentração média de ALC inferior, em efluente da suinocultura, no valor de 1.500 mg L^{-1} .

Nota-se, nos Quadros 26 e 27, que a população das bactérias (PBC) no efluente variou de $1,7 \times 10^4$ a $1,1 \times 10^7 \text{ UFC mL}^{-1}$, sendo o valor médio de $2,3 \times 10^6 \text{ UFC mL}^{-1}$. Pereira (2006) obteve PBC inferior, em efluente da suinocultura tratado em tanque de sedimentação, no valor de $5,4 \times 10^5 \text{ NMP mL}^{-1}$ (número mais provável por mililitro). Segundo Bucks et al. (1979), a maioria dos valores de PBC foram superiores a $5 \times 10^4 \text{ UFC mL}^{-1}$, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como severo. Para o tempo de funcionamento de 60 h, o nível populacional de bactérias encontrou-se dentro da faixa-limite de 1×10^4 a $5 \times 10^4 \text{ UFC mL}^{-1}$, que classifica o risco de entupimento de gotejadores como moderado.

Constam, no Quadro 28, os grupos biológicos presentes na água residuária de suinocultura, ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação, identificados por meio da microscopia óptica.

O fitoplâncton encontrado no efluente foi representado pelos grupos Bacillariophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Cyanophyta, Cryptophyta e Dinophyta. No trabalho de Yamamoto et al. (2005), os grupos Bacillariophyta, Chlorophyta e Cyanophyta entupiram gotejadores operando com esgoto doméstico secundário. Notou-se que o grupo Bacillariophyta ocorreu em todos os tempos de funcionamento, sendo representado, predominantemente, por Diatomáceas. Os grupos Chlorophyta e Euglenophyta não foram identificados, apenas, nos tempos de funcionamento de 20 e 120 h, respectivamente. Já o grupo Cyanophyta foi observado nos tempos de funcionamento de 40, 80 e 100 h, sendo representado, predominantemente, por Cyanobactérias. O grupo Cryptophyta foi constatado nos tempos de funcionamento de 20 e 60 h, enquanto o grupo Dinophyta foi observado, somente, no tempo de funcionamento de 40 h.

A escassez de oxigênio dissolvido no efluente provavelmente evitou o desenvolvimento dos grupos de zooplâncton Rotífera, Cladocera e Copepoda, comumente encontrados nos esgotos domésticos secundários.

Os grupos biológicos bactéria, fungo e protozoário também foram identificados no efluente durante todo o período de testes. Nos estudos desenvolvidos por Sagi et al. (1995) e Ü Şahin et al. (2005), constataram-se problemas de entupimento de gotejadores devido à formação de mucilagem pela atividade de bactérias, fungos e protozoários.

Quadro 28 - Caracterização dos grupos biológicos presentes na água residuária de suinocultura, ao longo do tempo de funcionamento das subunidades de fertirrigação, identificados por microscopia óptica

Grupos	Frequências observadas nos tempos de funcionamento (h)									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	
Fitoplâncton										
Bacillariophyta	++	++++	++++	++++	++++	+++	++++	+++	+++	
Chlorophyta	++++	-	++	+++	+++	+++	+++	+++	++++	
Euglenophyta	+++	+++	+++	++	+++	++++	-	++++	+++	
Cyanophyta	-	-	+++	-	++	++	-	-	-	
Cryptophyta	-	++	-	+++	-	-	-	-	-	
Dinophyta	-	-	+++	-	-	-	-	-	-	
Zooplâncton										
Rotífera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cladocera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Copepoda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bactérias	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	
Fungos	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	
Protozoários	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	

Nota: (++++) predominantes, (++++) freqüentes, (++) pouco freqüentes e (-) não observados.

Estão apresentadas no Quadro 29 as características física, química e microbiológica da água utilizada no abastecimento do equipamento de irrigação.

Nota-se, no Quadro 29, que a temperatura (T) da água variou de 19,00 a 19,83 °C, tendo como média o valor de 19,28 °C. Os resultados encontraram-se fora da faixa de 20 a 30 °C, considerada por Pizarro Cabello (1990) como ótima para o desenvolvimento de bactérias.

Não foram detectadas concentrações de sólidos suspensos (SS) na água, indicando nenhum risco de entupimento de gotejadores para tal característica (Quadro 29).

Os sólidos dissolvidos (SD) contidos na água oscilaram de 44 a 61 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 54 mg L⁻¹, conforme observado no Quadro 29. Os resultados foram inferiores ao limite de 500 mg L⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), sendo baixo o risco de entupimento.

Não foram detectadas concentrações de ferro (Fe) e de manganês (Mn) na água, sendo o risco de entupimento de gotejadores praticamente inexistente para tais características (Quadro 29).

Os valores do potencial hidrogeniônico (pH) da água variaram de 7,07 a 7,20, tendo como média o valor de 7,12, conforme apresentado no Quadro 29. Segundo Bucks et al. (1979), os valores de pH encontraram-se dentro da faixa-limite de 7,0 a 7,5, sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como moderado (BUCKS et al., 1979).

As concentrações do sódio (Na^+) na água oscilaram de 0,24 a 0,43 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo o valor médio de 0,34 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 29).

A concentração de cálcio (Ca^{2+}) na água variou de 0,47 a 0,58 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo a média de 0,53 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ (Quadro 29). Os resultados foram inferiores ao limite de 12,5 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ estabelecido por Capra e Scicolone (1998), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo.

Nota-se, no Quadro 29, que a concentração de magnésio (Mg^{2+}) na água oscilou de 0,21 a 0,22 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo como média o valor de 0,21 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Tais valores foram inferiores ao limite de 2,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ estabelecido por Capra e Scicolone (1998), sendo o risco de entupimento classificado como baixo.

Os valores da razão de adsorção de sódio (RAS) da água variaram de 0,39 a 0,69 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}, sendo o valor médio de 0,56 ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)^{0,5}, conforme observado no Quadro 29.

A condutividade elétrica da água (CE) foi praticamente constante durante o período de teste, tendo o valor médio de 0,11 dS m^{-1} (Quadro 29).

Fazendo-se o uso da classificação proposta pelo U. S. SALINITY LABORATORY STAFF, apresentada por Bernardo et al. (2005), a água pode ser classificada como de salinidade baixa, C1 (podendo ser utilizada na irrigação da maioria das culturas com pouca probabilidade de ocasionar salinidade) e com baixo perigo de alcalinização do solo, S1 (podendo ser usada em quase todos os solos). No entanto, a água apresenta risco severo de redução da infiltração de água no solo devido aos baixos valores de CE e RAS (AYERS; WESTCOT, 1999).

A população das bactérias (PBC) na água oscilou de $7,0 \times 10^2$ a $3,3 \times 10^3 \text{ UFC mL}^{-1}$, apresentando como média o valor de $1,8 \times 10^3 \text{ UFC mL}^{-1}$, conforme notado no Quadro 29. Tais valores foram inferiores ao limite de

10^4 UFC mL⁻¹ estabelecido por Bucks et al. (1979), sendo o risco de entupimento de gotejadores classificado como baixo.

Quadro 29 - Características física, química e microbiológica da água ao longo do tempo de funcionamento do equipamento de irrigação com respectivas médias e desvios-padrão

Característica	Tempo de funcionamento (h)			Média ± desvio-padrão
	0	80	160	
T	19,00	19,83	19,00	19,28 ± 0,48
SS	0	0	0	0 ± 0
SD	61	44	57	54 ± 9
Fe	0	0	0	0 ± 0
Mn	0	0	0	0 ± 0
pH	7,20	7,07	7,10	7,12 ± 0,07
Na ⁺	0,24	0,35	0,43	0,34 ± 0,10
Ca ⁺²	0,55	0,47	0,58	0,53 ± 0,06
Mg ⁺²	0,21	0,21	0,22	0,21 ± 0,01
RAS	0,39	0,61	0,69	0,56 ± 0,15
CE	0,11	0,11	0,11	0,11 ± 0,00
PBC	$3,3 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$	$1,5 \times 10^3$	$1,8 \times 10^3 \pm 1,3 \times 10^3$

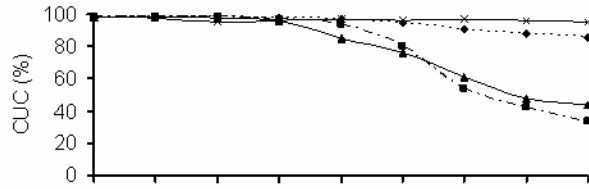
Nota: T = temperatura do efluente, °C; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio, (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; e PBC = população bacteriana, UFC mL⁻¹, sendo UFC = unidades formadoras de colônias.

4.3.2. Desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas proporções de água residuária de suinocultura e água

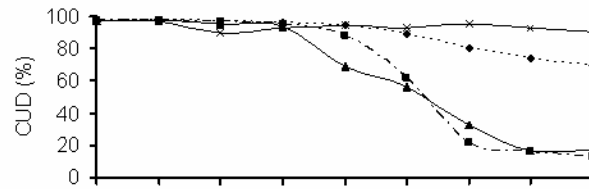
Estão apresentados, nas Figuras 14 a 19, os resultados do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas proporções de água residuária de suinocultura e água.

Na Figura 14, pode-se notar que as subunidades com gotejador G1 apresentaram alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q ao longo do tempo, mediante a aplicação dos níveis.

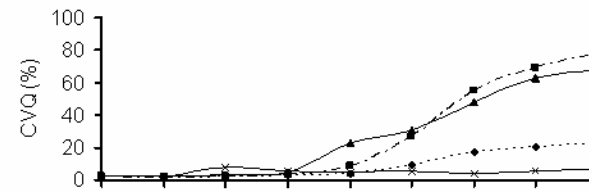
Nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, verificou-se que os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 98,01 e 85,94%; 98,14 e 33,62%; 98,29 e 43,37%; e 98,35 e 94,89%, respectivamente (Figura 14a). Observou-se ainda que os valores de CUC das subunidades, no tempo de funcionamento inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes, conforme proposto por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 1E3A encontrou-se dentro da faixa de 80 a 90%, sendo classificado como bom; os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A foram inferiores a 70%, recebendo, assim, a classificação ruim; e o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 4E foi superior a 90%, mantendo a classificação excelente. As reduções nos valores do CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 12, 66, 56 e 4%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.



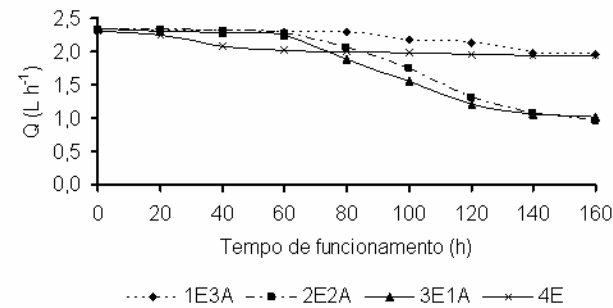
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 14 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G1 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

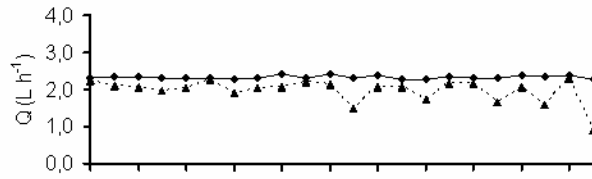
Os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 97,05 e 69,57%; 97,40 e 13,08%; 97,58 e 17,49%; e 97,93 e 90,79%, respectivamente (Figura 14b). No tempo de funcionamento inicial, os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A foram inferiores a 70%, sendo, assim, classificados como ruins, enquanto o valor de CUD da subunidade submetida ao nível 4E foi superior a 90%, mantendo a classificação excelente. Comparando os tempos de funcionamento inicial e 160 h, constatou-se que as reduções nos valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 28, 87, 82 e 7%, respectivamente.

Na Figura 14c, observa-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 2,37 e 22,46%; 2,24 e 77,71%; 2,04 e 67,67%; e 2,03 e 7,17%, respectivamente. No tempo de funcionamento inicial, notou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A foram superiores a 20%, recebendo a classificação ruim a inaceitável, enquanto o valor de CVQ da subunidade submetida ao nível 4E foi inferior a 10%, mantendo a classificação boa. Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h, verificou-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E aumentaram em 9, 35, 33 e 4 vezes, respectivamente.

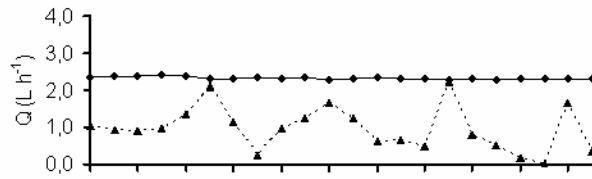
Nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, os valores de Q das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 2,33 e 1,96 L h⁻¹; 2,32 e 0,97 L h⁻¹; 2,34 e 1,01 L h⁻¹; e 2,31 e 1,95 L h⁻¹, respectivamente (Figura 14d). Sendo, assim, as reduções nos valores de Q foram de 16, 58, 57 e 16%.

Em geral, nas subunidades dotadas do gotejador G1 submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A verifica-se tendência de decréscimo dos valores de CUC, CUD e Q e de crescimento dos valores de CVQ ao longo do tempo de funcionamento. No entanto, tais alterações foram menos acentuadas nas subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E. Nesse caso, a velocidade do escoamento de efluente no emissor foi de 0,07 m s⁻¹, pois as subunidades operaram com pressão de serviço de 105 ± 0,5 kPa.

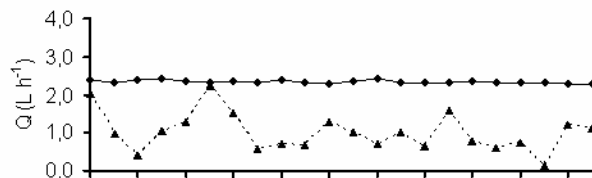
Na Figura 15, observa-se que ocorreu redução na vazão dos gotejadores G1 ao longo das linhas laterais das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, quando os tempos de funcionamento inicial e 160 h foram comparados. Nas subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, o entupimento de gotejadores foi mais acentuado do que nas subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E.



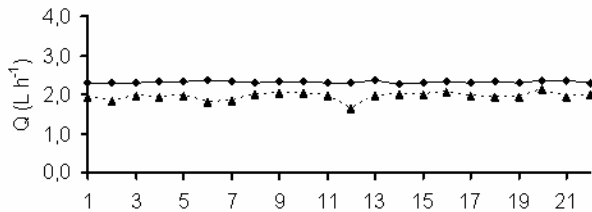
(1E3A)



(2E2A)



(3E1A)



Gotejadores avaliados nas linhas laterais

—●— 0 h - - -▲- - - 160 h

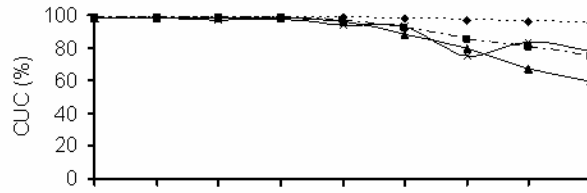
(4E)

Figura 15 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G1 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

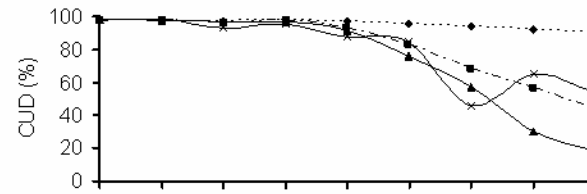
Na Figura 16 estão apresentadas as alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q, ao longo do tempo, das subunidades com gotejador G2 submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E.

Observa-se, na Figura 16a, que os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, foram de 98,68 e 95,17%; 98,68 e 74,79%; 98,73 e 59,44%; e 98,81 e 77,99%, respectivamente. De acordo com Merriam e Keller (1978), os valores do CUC das subunidades no tempo de funcionamento inicial foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes. No tempo de funcionamento de 160 h, o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 1E3A foi superior a 90%, mantendo a classificação excelente; os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 4E encontraram-se dentro da faixa de 70 a 80%, sendo classificados como razoáveis; e o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 3E1A foi inferior a 70%, recebendo a classificação ruim. As reduções nos valores do CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 4, 24, 40 e 21%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

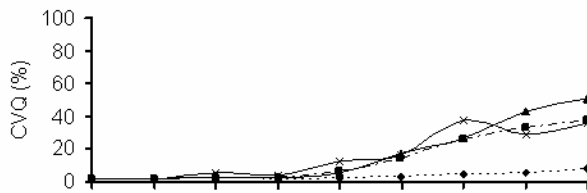
As subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E apresentaram valores do CUD nos tempos de funcionamento inicial e 160 h de 97,51 e 89,69%; 97,89 e 44,55%; 98,14 e 18,78%; e 98,05 e 54,00%, respectivamente (Figura 16b). No tempo de funcionamento inicial, todos os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo, assim, classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, o valor do CUD da subunidade submetida ao nível 1E3A encontrou-se dentro da faixa de 80 a 90%, sendo classificado como bom, enquanto os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E foram menores que 70%, sendo classificados como ruins. Comparando os tempos de funcionamento inicial e 160 h, verificou-se que as reduções nos valores do CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 8, 54, 81 e 45%, respectivamente.



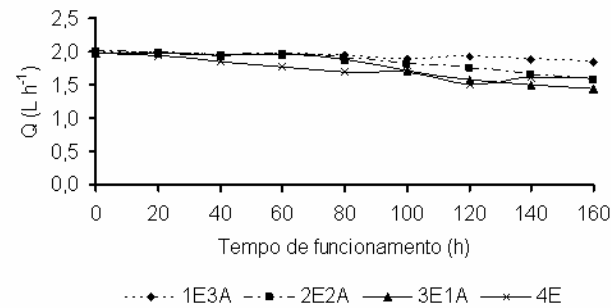
(a)



(b)



(c)



(d)

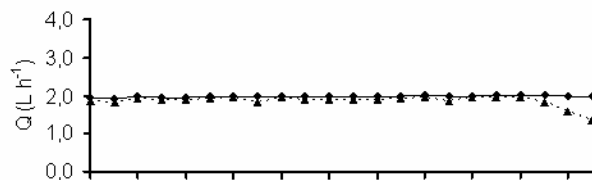
Figura 16 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G2 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

Na Figura 16c, observa-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 1,78 e 7,94%; 1,55 e 37,46%; 1,59 e 50,65%; e 1,45 e 35,61%, respectivamente. No tempo de funcionamento inicial, verificou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo, assim, classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). No tempo de funcionamento de 160 h, o valor de CVQ da subunidade submetida ao nível 1E3A foi inferior a 10%, mantendo a classificação boa; os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E foram superiores a 20%, recebendo, assim, a classificação inaceitável. Os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E aumentaram em 4, 24, 32 e 25 vezes, respectivamente, quando se compararam os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

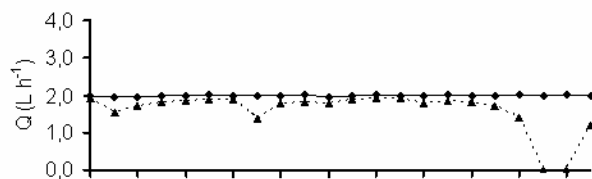
Nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, as subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E apresentaram valores de Q de 1,99 e 1,85 L h⁻¹; 1,99 e 1,58 L h⁻¹; 1,99 e 1,44 L h⁻¹; e 1,99 e 1,50 L h⁻¹, respectivamente (Figura 16d). Comparando os tempos de funcionamento, constatou-se que as reduções nos valores de Q foram de 7, 21, 28 e 20%.

De acordo com os resultados, constatou-se que as alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q foram mais acentuadas nas subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E do que na subunidade submetida ao nível 1E3A. Considerando a vazão inicial e a área de orifício do gotejador G2, verificou-se que a velocidade do escoamento de efluente no emissor foi de 0,30 m s⁻¹ nas subunidades operando com pressão de serviço de 105 ± 0,5 kPa.

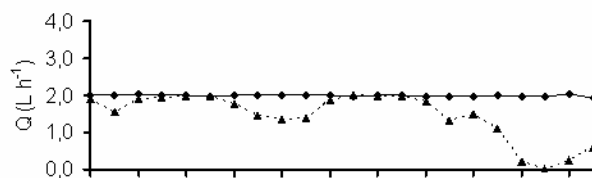
Na Figura 17, nota-se que a redução na vazão dos gotejadores G2 ao longo das linhas laterais das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foi atribuída ao entupimento dos gotejadores. Além disso, o entupimento dos gotejadores foi mais acentuado no terço final das linhas laterais, independentemente da proporção de água utilizada. Tal resultado pode ser atribuído à menor velocidade do efluente no final das linhas laterais, o que provoca maior efeito de sedimentação de partículas, ou à manutenção de maior nível populacional de bactérias e algas nesse ponto da rede.



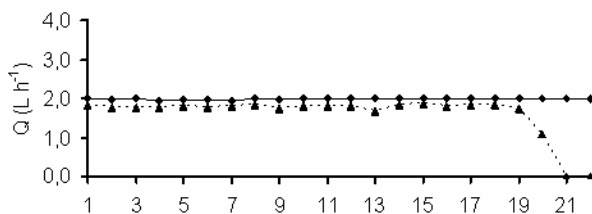
(1E3A)



(2E2A)



(3E1A)



—●— 0 h ...▲... 160 h

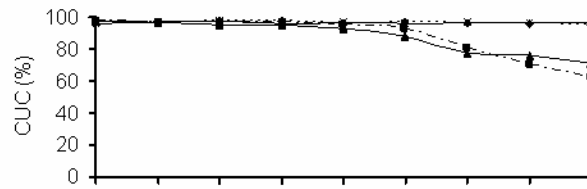
(4E)

Figura 17 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G2 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

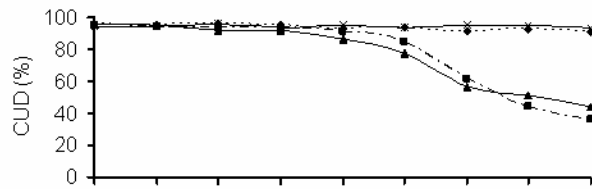
Na Figura 18, verifica-se que as subunidades com gotejador G3 apresentaram alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q ao longo do tempo, mediante os níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E.

Nota-se, na Figura 18a, que os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 97,77 e 95,18%; 97,30 e 62,67%; 97,22 e 71,17%; e 96,32 e 96,53%, respectivamente. Verificou-se que os valores de CUC das subunidades, no tempo de funcionamento inicial, foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes, conforme proposto por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E continuaram sendo superiores a 90% e classificados como excelentes; o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 2E2A foi inferior a 70%, recebendo a classificação ruim; e o valor de CUC da subunidade submetida ao nível 3E1A situou-se entre 70 e 80%, sendo classificado como razoável. As reduções nos valores do CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de 3, 36, 27 e 0%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.

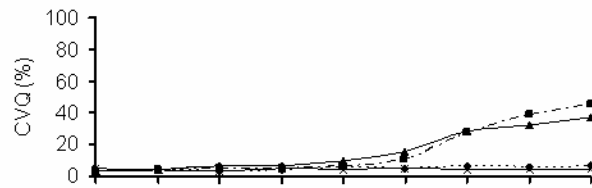
Os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 95,97 e 90,86%; 95,52 e 36,29%; 95,79 e 44,38%; e 94,64 e 94,00%, respectivamente (Figura 18b). No tempo de funcionamento inicial, os valores de CUD das subunidades foram superiores a 90%, sendo classificados como excelentes por Merriam e Keller (1978). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E foram superiores a 90%, mantendo a classificação excelente, enquanto os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A foram inferiores a 70%, sendo, assim, classificados como ruins. Os valores de CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E apresentaram reduções de 5, 62, 54 e 1%, respectivamente, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h.



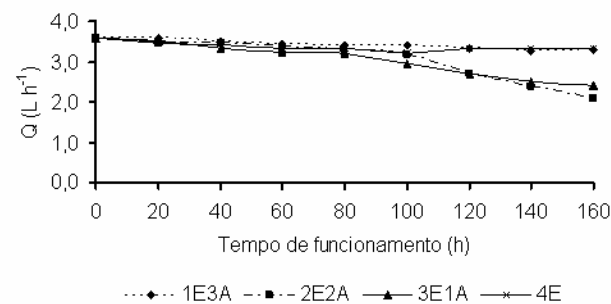
(a)



(b)



(c)



(d)

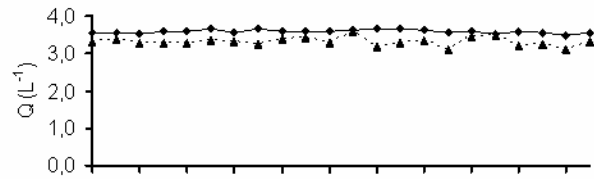
Figura 18 - Valores médios de CUC (a), CUD (b), CVQ (c) e Q (d), ao longo do tempo de funcionamento, nas subunidades com gotejador G3 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

Na Figura 18c, observa-se que os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E nos tempos de funcionamento inicial e 160 h foram de 2,85 e 6,82%; 3,45 e 45,11%; 3,47 e 37,42%; e 4,48 e 4,43%, respectivamente. No tempo de funcionamento inicial, verificou-se que os valores de CVQ das subunidades foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASAE EP 405 (ASAE STANDARDS, 2003). No tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E foram inferiores a 10%, mantendo a classificação excelente, enquanto os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A foram superiores a 20%, recebendo a classificação inaceitável. Estabelecendo comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h, os valores de CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A aumentaram em 2, 13 e 11 vezes, enquanto o valor de CVQ da subunidade submetida ao nível 4E permaneceu inalterado.

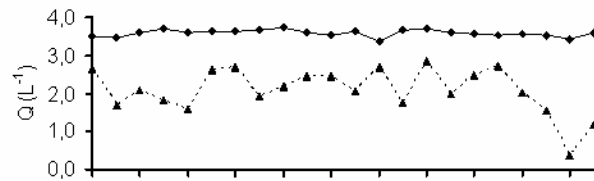
As subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E apresentaram valores de Q nos tempos de funcionamento inicial e 160 h de 3,59 e 3,31 L h⁻¹; 3,58 e 2,08 L h⁻¹; 3,60 e 2,40 L h⁻¹; e 3,57 e 3,32 L h⁻¹, respectivamente (Figura 18d). Nesse caso, as reduções nos valores de Q foram de 8, 42, 33 e 7%.

Em geral, as alterações nos valores de CUC, CUD, CVQ e Q das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A foram mais acentuadas do que nas submetidas aos níveis 1E3A e 4E. Nesse caso, o gotejador G3 apresentou velocidade de escoamento de efluente no valor de 0,20 m s⁻¹, com as subunidades operando na pressão de serviço de 105 ± 0,5 kPa.

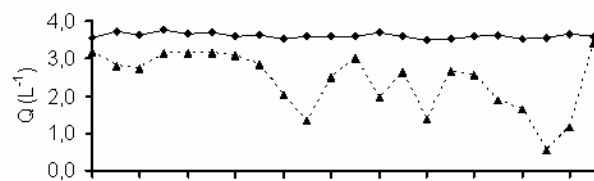
Na Figura 19, observa-se que ocorreu redução na vazão dos gotejadores G3 ao longo das linhas laterais das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, quando se estabeleceu comparação entre os tempos de funcionamento inicial e 160 h. Nas subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E2A o entupimento dos gotejadores ao longo das linhas laterais foi mais acentuado do que nas subunidades submetidas aos níveis 1E3A e 4E.



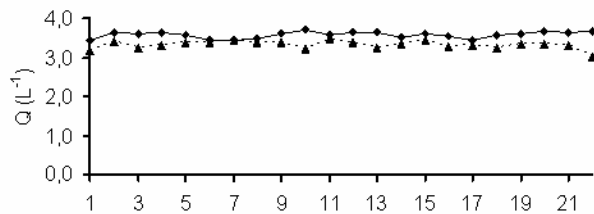
(1E3A)



(2E2A)



(3E1A)



Gotejadores avaliados nas linhas laterais

—◆— 0 h - - -▲- - - 160 h

(4E)

Figura 19 - Valores médios de vazão (Q) ao longo da linha lateral, nos tempos de funcionamento inicial e 160 h, nas subunidades com gotejador G3 submetidas aos níveis 1E3A (uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água), 2E2A (duas horas de aplicação do efluente seguida de duas horas de aplicação de água), 3E1A (três horas de aplicação do efluente seguida de uma hora de aplicação de água) e 4E (quatro horas de aplicação do efluente).

De acordo com os resultados, novamente se verificou que o gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3, fato atribuído à menor velocidade do escoamento de efluente e ao maior comprimento de labirinto.

Os tempos de aplicação de água residuária de suinocultura durante os ensaios foram de 40, 80, 120 e 160 h nos níveis 1E3A, 2E2A, 3E3A e 4E, respectivamente. No entanto, a dose de aplicação depende da concentração de nitrogênio no efluente e da absorção de nitrogênio pela cultura. Por meio da equação 1 proposta por Matos (2007), estimou-se em 160 mm a dose de efluente, para uma cultura que absorva $600 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de nitrogênio total e uma concentração de 401 mg L^{-1} de nitrogênio total no efluente. Nessas condições, o tempo de aplicação da dose de efluente seria de 60, 47 e 33 h em sistemas de irrigação dotados dos gotejadores G1, G2 e G3, respectivamente.

4.3.3. Análise estatística do desempenho hidráulico das subunidades de fertirrigação operando com distintas proporções de água residuária de suinocultura e água

No Quadro 30, apresenta-se o resumo da análise de variância dos valores de CUC, CUD, CVQ e Q das subunidades de fertirrigação, no esquema de parcelas subdivididas.

A interação N x G x T foi significativa a 1% de probabilidade para as variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, conforme apresentado no Quadro 30. Notou-se ainda que os valores do coeficiente de variação das mesmas variáveis na subsubparcela foram de aproximadamente 4, 6, 32 e 3%, respectivamente.

Quadro 30 - Resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subdivididas

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio			
		CUC	CUD	CVQ	Q
Proporção de água (N)	3	2992,898**	8894,991**	4266,554**	1,721**
Resíduo (a)	8	56,550	169,171	81,120	0,030
Tipo de gotejador (G)	2	1048,334**	1669,081**	1356,638**	64,770**
N x G	6	532,571**	1195,878**	854,196**	0,322**
Resíduo (b)	16	37,238	85,498	53,303	0,018
Tempo de funcionamento (T)	8	3116,215**	10114,210**	5415,865**	2,330**
N x T	24	541,925**	1471,913**	761,811**	0,311**
G x T	16	185,565**	321,427**	253,594**	0,137**
N x G x T	48	101,752**	238,580**	143,384**	0,051**
Resíduo (c)	192	13,936	28,594	18,561	0,005
CV (%) parcela		8,344	15,851	67,684	7,414
CV (%) subparcela		6,771	11,269	54,865	5,740
CV (%) subsubparcela		4,142	6,517	32,376	3,039

** F significativo a 1% de probabilidade.

Em vista dos resultados das análises de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação N x G x T.

No Quadro 31 estão apresentadas as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CUC em função do tempo de funcionamento, para cada nível de gotejador e cada nível de proporção de água.

Nas subunidades dotadas do gotejador G1, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CUC e o tempo de funcionamento, com coeficientes de determinação (R^2) de 0,98; 0,98; e 0,96, respectivamente, conforme apresentado no Quadro 31. Já na subunidade submetida ao nível 4E, não se verificou efeito significativo do tempo de funcionamento na alteração do CUC.

Notou-se que o CUC da subunidade dotada do gotejador G2, submetida ao nível 1E3A, não foi alterado, significativamente, pelo tempo de funcionamento. Em relação aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E, constatou-se que o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de CUC, em função do tempo de funcionamento, com valores de R^2 de 0,99; 0,99; e 0,80, respectivamente (Quadro 31).

O CUC das subunidades dotadas do gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, não foi alterado, significativamente, pelo tempo de funcionamento. Entretanto, o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre o CUC e o tempo de funcionamento das subunidades submetidas

aos níveis 2E2A e 3E1A, sendo os valores de R^2 de 0,98; e 0,97, respectivamente, como observado no Quadro 31.

Quadro 31 - Equações de regressão ajustadas à variável CUC em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água

Gotejador	Proporção de água	Equação de regressão	R^2
G1	1E3A	$C\hat{U}C = 98,084 + 0,0349^{ns} T - 0,000726 * T^2$	0,98
	2E2A	$C\hat{U}C = 98,320 + 0,176^{**} T - 0,00388^{**} T^2$	0,96
	3E1A	$C\hat{U}C = 99,837 + 0,0103^{ns} T - 0,00248^{**} T^2$	0,96
	4E	$C\hat{U}C = 96,451$	
G2	1E3A	$C\hat{U}C = 97,642$	
	2E2A	$C\hat{U}C = 98,283 + 0,0755^{ns} T - 0,00142^{**} T^2$	0,99
	3E1A	$C\hat{U}C = 97,687 + 0,152^{**} T - 0,00250^{**} T^2$	0,99
	4E	$C\hat{U}C = 99,693 - 0,0360^{ns} T - 0,000698 * T^2$	0,80
G3	1E3A	$C\hat{U}C = 96,572$	
	2E2A	$C\hat{U}C = 95,643 + 0,173^{**} T - 0,00240^{**} T^2$	0,98
	3E1A	$C\hat{U}C = 97,293 + 0,0119^{ns} T - 0,00116^{**} T^2$	0,97
	4E	$C\hat{U}C = 96,636$	

******, * e ^{ns} significativos a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Constam no Quadro 32 os valores médios da variável CUC para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água. Observa-se, nesse quadro, que não houve efeito das proporções de água sobre o CUC, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 60 h.

Analisando as médias da variável CUC seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas do Quadro 32, notou-se que: no nível 1E3A, o CUC da subunidade dotada do gotejador G1 diferiu somente do CUC da subunidade com gotejador G2, no tempo de funcionamento de 140 h, enquanto no tempo de funcionamento de 160 h o CUC da subunidade dotada do gotejador G1 diferiu do CUC das subunidades com gotejadores G2 e G3; no nível 2E2A, o CUC da subunidade com gotejador G1 diferiu do CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 100 e 120 h, enquanto os valores de CUC das subunidades com gotejadores G1, G2 e G3 diferiram entre si nos tempos de funcionamento de 140 e 160 h; no nível 3E1A, o CUC da subunidade dotada do gotejador G1

diferiu do CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 80, 100 e 120 h, enquanto as subunidades com gotejadores G1, G2 e G3 diferiram entre si, nos tempos de funcionamento de 140 e 160 h; e no nível 4E, a partir de 120 h, o CUC da subunidade com gotejador G2 diferiu do CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G3.

Estabelecendo comparação entres as médias da variável CUC seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas linhas do Quadro 32, constatou-se que: no tempo de funcionamento de 80 h, o CUC da subunidade com gotejador G1, submetida ao nível 3E1A, diferiu do CUC das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 4E; no tempo de funcionamento de 100 h, o CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G1, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CUC das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, enquanto somente o CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, submetidas ao nível 1E3A, diferiu do CUC das subunidades submetidas ao nível 3E1A; nos tempos de funcionamento de 120 e 140 h, o CUC das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CUC das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, enquanto os valores de CUC das subunidades com gotejador G2, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, diferiram entre si; e, no tempo de funcionamento de 160 h, os valores de CUC das subunidades com gotejador G1, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, diferiram entre si, os valores de CUC das subunidades com gotejador G2, submetidas aos níveis 2E2A e 4E, não diferiram entre si, e o CUC das subunidades com gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiram do CUC das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A.

Quadro 32 - Valores médios da variável CUC (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Proporção de água*			
		1E3A	2E2A	3E1A	4E
0	G1	98,01Aa	98,14Aa	98,29Aa	98,35Aa
	G2	98,68Aa	98,68Aa	98,73Aa	98,81Aa
	G3	97,77Aa	97,30Aa	97,22Aa	96,32Aa
20	G1	98,26Aa	98,46Aa	98,27Aa	97,88Aa
	G2	98,78Aa	98,73Aa	98,67Aa	98,68Aa
	G3	96,98Aa	97,03Aa	96,80Aa	96,45Aa
40	G1	98,23Aa	98,14Aa	97,26Aa	95,10Aa
	G2	98,32Aa	98,06Aa	98,05Aa	96,52Aa
	G3	97,31Aa	96,69Aa	94,91Aa	97,38Aa
60	G1	97,91Aa	97,17Aa	96,33Aa	96,03Aa
	G2	98,57Aa	98,24Aa	98,32Aa	97,54Aa
	G3	97,24Aa	96,48Aa	94,94Aa	96,01Aa
80	G1	97,16Aa	95,03Aa	84,79Bb	96,92Aa
	G2	98,42Aa	96,55Aa	95,80Aa	93,76Aa
	G3	96,26Aa	93,59Aa	93,02Aa	97,01Aa
100	G1	94,37Aa	80,42Bb	76,53Bb	95,78Aa
	G2	97,68Aa	92,13Aab	88,30Ab	92,66Aab
	G3	96,83Aa	92,62Aab	87,88Ab	95,97Aab
120	G1	90,67Aa	53,66Bb	61,32Bb	97,05Aa
	G2	96,90Aa	85,46Ab	80,05Abc	75,16Bc
	G3	95,83Aa	81,11Ab	77,96Ab	97,05Aa
140	G1	88,05Ba	41,79Cb	47,66Cb	96,06Aa
	G2	96,27Aa	80,11Ab	66,96Bc	83,21Bb
	G3	95,75ABa	70,52Bb	75,87Ab	96,99Aa
160	G1	85,94Bb	33,62Cd	43,37Cc	94,89Aa
	G2	95,17Aa	74,79Ab	59,44Bc	77,99Bb
	G3	95,18Aa	62,67Bb	71,17Ab	96,54Aa

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de funcionamento e minúscula nas linhas para cada proporção de água não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Estão apresentadas, no Quadro 33, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CUD, em função do tempo de funcionamento, para cada nível de gotejador e cada nível de proporção de água.

O modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CUD e o tempo de funcionamento das subunidades dotadas do gotejador G1 submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, sendo os valores de R^2 de 0,98; 0,91; e 0,95, respectivamente, conforme apresentado no Quadro 33. No entanto, na subunidade submetida ao nível 4E não se constatou efeito significativo do tempo de funcionamento na alteração do CUD.

Observou-se que o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de CUD e o tempo de funcionamento da subunidade dotada do gotejador G2 submetida ao nível 1E3A, tendo R^2 de 0,82. Entretanto,

o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CUD e o tempo de funcionamento das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E, sendo os valores de R^2 de 0,99; 0,98; e 0,79, respectivamente (Quadro 33).

O CUD das subunidades dotadas do gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, não foi alterado, significativamente, pelo tempo de funcionamento. Entretanto, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de CUD em função do tempo de funcionamento das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, sendo os valores de R^2 de 0,97 e 0,96, respectivamente, como observado no Quadro 33.

Quadro 33 - Equações de regressão ajustadas à variável CUD em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água

Gotejador	Proporção de água	Equação de regressão	R^2
G1	1E3A	$C\hat{U}D = 97,038 + 0,0737^{ns} T - 0,00161^{**} T^2$	0,98
	2E2A	$C\hat{U}D = 101,190 + 0,00815^{ns} T - 0,00404^{**} T^2$	0,91
	3E1A	$C\hat{U}D = 102,887 + 0,200^{**} T - 0,00252^{**} T^2$	0,95
	4E	$C\hat{U}D = 93,713$	
G2	1E3A	$C\hat{U}D = 99,214 - 0,0488^{*} T$	0,82
	2E2A	$C\hat{U}D = 97,002 + 0,166^{**} T - 0,00316^{**} T^2$	0,99
	3E1A	$C\hat{U}D = 96,483 + 0,281^{**} T - 0,00498^{**} T^2$	0,98
	4E	$C\hat{U}D = 100,389 - 0,0912^{ns} T - 0,00142^{*} T^2$	0,79
G3	1E3A	$C\hat{U}D = 93,791$	
	2E2A	$C\hat{U}D = 93,600 + 0,233^{**} T - 0,00387^{**} T^2$	0,97
	3E1A	$C\hat{U}D = 96,352 + 0,0156^{ns} T - 0,00230^{**} T^2$	0,96
	4E	$C\hat{U}D = 94,623$	

** , * e ^{ns} significativos a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Estão apresentados, no Quadro 34, os valores médios da variável CUD para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água. Constata-se, nesse quadro, que não houve efeito das proporções de água sobre o CUD, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 60 h.

Comparando as médias da variável CUD seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas do Quadro 34, verificou-se que: no nível 1E3A, a partir de 120 h o CUD da subunidade dotada do gotejador G1 diferiu

do CUD das subunidades com gotejadores G2 e G3; no nível 2E2A, o CUD da subunidade com gotejador G1 diferiu do CUD das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 100, 120 e 160 h, enquanto os valores de CUD das subunidades com gotejadores G1, G2 e G3 diferiram entre si, no tempo de funcionamento de 140 h; no nível 3E1A, o CUD da subunidade com gotejador G1 diferiu do CUD das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 80, 100, 120 e 160 h, enquanto os valores de CUD das subunidades com gotejadores G1, G2 e G3 diferiram entre si, no tempo de funcionamento de 140 h; e no nível 4E, a partir de 120 h, o CUD da subunidade com gotejador G2 diferiu do CUD das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G3.

Analisando as médias da variável CUD seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas linhas do Quadro 34, observou-se que: no tempo de funcionamento de 80 h, o CUD da subunidade com gotejador G1, submetida ao nível 3E1A, diferiu do CUD das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 4E; no tempo de funcionamento 100 h, o CUD das subunidades dotadas dos gotejadores G1, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, o CUD das subunidades com gotejador G2, submetidas ao nível 1E3A, diferiu do CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A e o CUD das subunidades com gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CUD da subunidade submetida ao nível 3E1A; no tempo de funcionamento de 120 h, os valores de CUD das subunidades dotada dos gotejadores G1 e G2, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 4E, diferiram entre si, enquanto o CUD das subunidades com gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A; e nos tempos de funcionamento de 140 e 160 h, os valores de CUD das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G2 submetidas aos níveis 1E3A, 3E1A e 4E diferiram entre si, enquanto o CUD das subunidades com gotejador G3 submetidas aos níveis 1E3A e 4E diferiu do CUD das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A.

Quadro 34 - Valores médios da variável CUD (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Proporção de água*			
		1E3A	2E2A	3E1A	4E
0	G1	97,05Aa	97,40Aa	97,58Aa	97,93Aa
	G2	97,51Aa	97,89Aa	98,14Aa	98,05Aa
	G3	95,97Aa	95,52Aa	95,79Aa	94,64Aa
20	G1	97,42Aa	97,27Aa	97,31Aa	96,60Aa
	G2	97,94Aa	97,82Aa	97,90Aa	98,42Aa
	G3	95,49Aa	94,67Aa	95,05Aa	94,23Aa
40	G1	96,87Aa	96,85Aa	95,44Aa	89,73Aa
	G2	97,00Aa	96,39Aa	96,66Aa	93,01Aa
	G3	95,66Aa	93,61Aa	92,00Aa	95,75Aa
60	G1	96,12Aa	95,21Aa	93,47Aa	92,89Aa
	G2	97,63Aa	97,31Aa	97,13Aa	95,73Aa
	G3	95,12Aa	93,83Aa	91,93Aa	93,59Aa
80	G1	94,76Aa	87,98Aa	68,74Bb	94,41Aa
	G2	97,09Aa	92,84Aa	91,41Aa	87,32Aa
	G3	92,96Aa	90,80Aa	86,62Aa	95,28Aa
100	G1	89,11Aa	62,09Bb	56,55Bb	92,96Aa
	G2	95,53Aa	82,77Ab	76,31Ab	84,66Aab
	G3	93,76Aa	84,63Aab	77,30Ab	93,56Aa
120	G1	80,16Bb	21,23Bc	32,87Bc	94,86Aa
	G2	93,51Aa	68,35Ab	57,70Ab	45,98Bc
	G3	91,57Aa	61,43Ab	56,62Ab	95,21Aa
140	G1	73,92Bb	15,99Cc	16,72Cc	93,24Aa
	G2	91,88Aa	56,51Ab	30,47Bc	65,01Bb
	G3	92,73Aa	43,83Bb	51,35Ab	95,38Aa
160	G1	69,57Bb	13,08Bc	17,49Bc	90,79Aa
	G2	89,69Aa	44,55Ab	18,78Bc	54,00Bb
	G3	90,86Aa	36,29Ab	44,38Ab	94,00Aa

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de funcionamento e minúscula nas linhas para cada proporção de água não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No Quadro 35 estão apresentadas as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de CVQ em função do tempo de funcionamento, para cada nível de gotejador e cada nível de proporção de água.

Nas subunidades dotadas do gotejador G1, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, notou-se que o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVQ e o tempo de funcionamento das subunidades, sendo os valores de R^2 de 0,95; 0,96; e 0,97, respectivamente, como apresentado no Quadro 35. Em relação à subunidade submetida ao nível 4E, não se verificou efeito significativo do tempo de funcionamento na alteração do CVQ.

Na subunidade dotada do gotejador G2, submetida ao nível 1E3A, observou-se que não houve efeito significativo do tempo de funcionamento

sobre os dados de CVQ. Porém, o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de CVQ e o tempo de funcionamento das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E, sendo os valores de R^2 de 0,97; 0,98; e 0,88, respectivamente, conforme verificado no Quadro 35.

O CVQ das subunidades dotadas do gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, não foi alterado, significativamente, pelo tempo de funcionamento. No entanto, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de CVQ em função do tempo de funcionamento das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, sendo os valores de R^2 de 0,97 e 0,97, respectivamente, como observado no Quadro 35.

Quadro 35 - Equações de regressão ajustadas à variável CVQ em função dos tempos de funcionamento (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água

Gotejador	Proporção de água	Equação de regressão	R^2
G1	1E3A	$C\hat{V}Q = 1,917 - 0,0358^{ns} T + 0,00112^{**} T^2$	0,95
	2E2A	$C\hat{V}Q = 1,373 - 0,160^{**} T + 0,00430^{**} T^2$	0,96
	3E1A	$C\hat{V}Q = -0,601 + 0,0557^{ns} T + 0,00256^{**} T^2$	0,97
	4E	$C\hat{V}Q = 4,913$	
G2	1E3A	$C\hat{V}Q = 3,419$	
	2E2A	$C\hat{V}Q = 1,293 - 0,0626^{ns} T + 0,00193^{**} T^2$	0,97
	3E1A	$C\hat{V}Q = 2,290 - 0,154^{**} T + 0,00297^{**} T^2$	0,98
	4E	$C\hat{V}Q = -0,638 + 0,108^0 T + 0,000872^{*} T^2$	0,88
G3	1E3A	$C\hat{V}Q = 4,911$	
	2E2A	$C\hat{V}Q = 4,805 - 0,169^{**} T + 0,00273^{**} T^2$	0,97
	3E1A	$C\hat{V}Q = 3,372 - 0,0205^{ns} T + 0,00155^{**} T^2$	0,97
	4E	$C\hat{V}Q = 4,197$	

^{**}, ^{*}, ⁰ e ^{ns} significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade e não-significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

No Quadro 36, apresentaram-se os valores médios da variável CVQ para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água. Verifica-se, nesse quadro, que não houve efeito das proporções de água sobre o CVQ, para cada tipo de gotejador, até o tempo de funcionamento de 60 h.

Estabelecendo comparação entre as médias da variável CVQ seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas do Quadro 36, constatou-se que: no nível 1E3A, a partir de 120 h, o CVQ da subunidade com

gotejador G1 diferiu do CVQ das subunidades com gotejadores G2 e G3; no nível 2E2A, a partir de 100 h o CVQ da subunidade com gotejador G1 diferiu do CVQ das subunidades com gotejadores G2 e G3; no nível 3E1A, o CVQ da subunidade com gotejador G1 diferiu do CVQ das subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 80, 100 e 120 h, enquanto os valores de CVQ das subunidades com gotejadores G1, G2 e G3 diferiram entre si, nos tempos de funcionamento de 140 e 160 h; e no nível 4E, a partir de 100 h, o CVQ das subunidades com gotejadores G1 e G3 diferiu do CVQ da subunidade dotada do gotejador G2.

Comparando as médias da variável CVQ seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas linhas do Quadro 36, notou-se que: no tempo de funcionamento de 80 h, o CVQ da subunidade com gotejador G1 submetida ao nível 3E1A diferiu do CVQ das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 4E; no tempo de funcionamento de 100 h, o CVQ das subunidades dotadas dos gotejadores G1, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CVQ das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, o CVQ das subunidades com gotejador G2, submetidas ao nível 1E3A, diferiu do CVQ das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E, e o CVQ das subunidades com gotejador G3, submetidas ao nível 1E3A, diferiu do CVQ da subunidade submetida ao nível 3E1A; nos tempos de funcionamento de 120, 140 e 160 h, os valores de CVQ das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G2, submetidas aos níveis 1E3A, 3E1A e 4E, diferiram entre si, enquanto o CVQ das subunidades com gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiu do CVQ das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A.

Quadro 36 - Valores médios da variável CVQ (%) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Proporção de água*			
		1E3A	2E2A	3E1A	4E
0	G1	2,37Aa	2,24Aa	2,04Aa	2,03Aa
	G2	1,78Aa	1,55Aa	1,59Aa	1,45Aa
	G3	2,85Aa	3,45Aa	3,47Aa	4,48Aa
20	G1	2,12Aa	1,94Aa	2,24Aa	2,62Aa
	G2	1,58Aa	1,68Aa	1,70Aa	1,49Aa
	G3	4,08Aa	3,89Aa	3,97Aa	4,30Aa
40	G1	2,18Aa	2,47Aa	3,54Aa	7,93Aa
	G2	2,08Aa	2,55Aa	2,47Aa	5,38Aa
	G3	3,47Aa	4,54Aa	6,27Aa	3,41Aa
60	G1	2,92Aa	3,35Aa	4,47Aa	5,35Aa
	G2	1,93Aa	2,29Aa	2,21Aa	3,61Aa
	G3	4,11Aa	4,64Aa	6,18Aa	4,88Aa
80	G1	3,64Ab	8,82Ab	22,55Aa	4,36Ab
	G2	2,17Aa	5,86Aa	5,75Ba	12,29Aa
	G3	5,77Aa	6,82Aa	9,44Ba	3,75Aa
100	G1	9,37Ab	26,67Aa	30,73Aa	5,75Bb
	G2	3,26Ab	13,90Ba	17,21Ba	16,62Aa
	G3	4,81Ab	10,09Bab	15,11Ba	5,00Bab
120	G1	17,46Ab	55,40Aa	47,78Aa	3,87Bc
	G2	4,38Bc	25,93Bb	26,94Bb	37,20Aa
	G3	6,70Bb	27,82Ba	28,06Ba	3,73Bb
140	G1	20,47Ab	69,32Aa	62,75Aa	5,14Bc
	G2	5,64Bc	32,80Bb	43,13Ba	29,26Ab
	G3	5,58Bb	38,32Ba	32,40Ca	3,79Bb
160	G1	22,45Ab	77,71Aa	67,67Aa	7,17Bc
	G2	7,94Bc	37,46Bb	50,65Ba	35,61Ab
	G3	6,82Bb	45,11Ba	37,42Ca	4,43Bb

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula nas colunas para cada tempo de funcionamento e minúscula nas linhas para cada proporção de água não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Estão apresentadas, no Quadro 37, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados de Q em função do tempo de funcionamento, para cada nível de gotejador e cada nível de proporção de água.

O modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de Q e o tempo de funcionamento das subunidades dotadas do gotejador G1, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E, sendo os valores de R^2 de 0,97; 0,96; 0,95; e 0,97, respectivamente, conforme verificado no Quadro 37.

Constatou-se que o modelo linear foi o que melhor representou a relação entre os dados de Q e o tempo de funcionamento da subunidade dotada do gotejador G2, submetida ao nível 1E3A, tendo R^2 de 0,86. No entanto, o modelo quadrático foi o que melhor representou a relação entre os dados de Q e o tempo de funcionamento das subunidades submetidas aos

níveis 2E2A, 3E1A e 4E, sendo os valores de R^2 de 0,98; 0,96; e 0,91, respectivamente, como apresentado no Quadro 37.

Nas subunidades dotadas do gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou aos dados de Q em função do tempo de funcionamento, com valores de R^2 de 0,96; 0,98; 0,98; e 0,86, respectivamente (Quadro 38).

Quadro 37 - Equações de regressão ajustadas à variável vazão (Q) em função dos tempos de operação (T), para cada nível de gotejador e cada proporção de água

Gotejador	Proporção de água	Equação de regressão	R^2
G1	1E3A	$\hat{Q} = 2,324 + 0,000466^{ns}T - 0,0000181^{**}T^2$	0,97
	2E2A	$\hat{Q} = 2,370 - 0,0000599^{ns}T - 0,0000604^{**}T^2$	0,96
	3E1A	$\hat{Q} = 2,430 - 0,00422^{**}T - 0,0000356^{**}T^2$	0,95
	4E	$\hat{Q} = 2,317 - 0,00598^{**}T + 0,0000234^{**}T^2$	0,97
G2	1E3A	$\hat{Q} = 1,992 - 0,000789^{**}T$	0,86
	2E2A	$\hat{Q} = 1,990 + 0,0000441^{ns}T - 0,0000168^{**}T^2$	0,98
	3E1A	$\hat{Q} = 2,009 - 0,000606^{ns}T - 0,0000205^{**}T^2$	0,96
	4E	$\hat{Q} = 2,015 - 0,00525^{**}T + 0,0000155^{**}T^2$	0,91
G3	1E3A	$\hat{Q} = 3,610 - 0,00316^{**}T + 0,00000728^{ns}T^2$	0,96
	2E2A	$\hat{Q} = 3,524 + 0,00230^{*}T - 0,0000720^{**}T^2$	0,98
	3E1A	$\hat{Q} = 3,605 - 0,00479^{**}T - 0,0000189^{**}T^2$	0,98
	4E	$\hat{Q} = 3,564 - 0,00490^{**}T + 0,0000221^{**}T^2$	0,86

******, ***** e **ns** significativos a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Constam, no Quadro 38, os valores médios da variável vazão (Q) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água.

Não foram estabelecidas comparações entre as médias das colunas, para estudar o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento, pois os gotejadores testados apresentaram vazões nominais distintas. Nessas condições, as comparações feitas dentro de cada nível de tempo de funcionamento se tornam confusas; logo, foram omitidas.

Analisando as médias da variável vazão (Q) seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas linhas do Quadro 38, constatou-se que: no tempo de funcionamento de 40 h, os valores de Q das subunidades com gotejador G1, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, diferiram do valor de

Q da subunidade submetida ao nível 4E; no tempo de funcionamento de 60 h, os valores de Q das subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G2, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, diferiram do valor de Q da subunidade submetida ao nível 4E, enquanto o valor de Q da subunidade com gotejador G3, submetida ao nível 1E3A, foi diferente do valor de Q da subunidade submetida ao nível 3E1A; e, no tempo de funcionamento de 160 h, os valores de Q das subunidades com gotejadores G1, submetidas aos níveis 1E3A e 4E, diferiram dos valores de Q das subunidades submetidas aos níveis 2E2A e 3E1A, o valor de Q da subunidade com gotejador G2, submetida ao nível 1E3A, diferiu dos valores de Q das subunidades submetidas aos níveis 2E2A, 3E1A e 4E, e os valores de Q das subunidades com gotejador G3, submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A, diferiram entre si.

Quadro 38 - Valores médios da variável vazão (Q, em L h⁻¹) para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de proporção de água

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Proporção de água*			
		1E3A	2E2A	3E1A	4E
0	G1	2,33a	2,32a	2,34a	2,31a
	G2	1,99a	1,99a	1,99a	1,99a
	G3	3,59a	3,58a	3,60a	3,57a
20	G1	2,32a	2,32a	2,32a	2,24a
	G2	1,97a	1,98a	1,99a	1,94a
	G3	3,58a	3,47a	3,52a	3,46a
40	G1	2,32a	2,31a	2,29a	2,08b
	G2	1,95a	1,94a	1,94a	1,84a
	G3	3,50a	3,48a	3,33a	3,42a
60	G1	2,28a	2,26a	2,24a	2,01b
	G2	1,97a	1,96a	1,96a	1,77b
	G3	3,43a	3,37ab	3,22b	3,34ab
80	G1	2,28a	2,05b	1,89b	1,99b
	G2	1,95a	1,91a	1,88a	1,69b
	G3	3,40a	3,29ab	3,22b	3,35ab
100	G1	2,18a	1,74c	1,57d	1,98b
	G2	1,88a	1,80ab	1,70b	1,70b
	G3	3,39a	3,16b	2,94c	3,22ab
120	G1	2,13a	1,31b	1,22b	1,95a
	G2	1,92a	1,75a	1,57b	1,49b
	G3	3,33a	2,69b	2,69b	3,34a
140	G1	1,99a	1,08b	1,06b	1,94a
	G2	1,88a	1,65b	1,50b	1,61b
	G3	3,28a	2,38b	2,52b	3,34a
160	G1	1,96a	0,97b	1,01b	1,95a
	G2	1,85a	1,58b	1,44b	1,60b
	G3	3,31a	2,08c	2,40b	3,32a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula nas linhas para cada proporção de água não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em geral, ocorreram alterações significativas nos valores de CUC, CUD e CVQ a partir de 80 h de funcionamento e nos valores de Q a partir de 40 h. Notou-se que o tipo de gotejador e a qualidade do fluido circulante interferem no processo de entupimento de gotejadores. As subunidades dotadas do gotejador G1 apresentaram maior suscetibilidade ao entupimento do que as subunidades dotadas dos gotejadores G2 e G3, quando submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A e 3E1A. No entanto, a subunidade dotada do gotejador G2 foi mais sensível ao entupimento do que as subunidades dotadas dos gotejadores G1 e G3, quando submetida ao nível 4E.

Constatou-se, também, que os níveis 1E3A e 4E minimizaram o entupimento dos gotejadores, enquanto os níveis 2E2A e 3E1A o potencializaram. No nível 1E3A, o tempo de aplicação de água foi maior em relação aos demais níveis, isso pode ter causado a remoção de sólidos do interior dos gotejadores e das linhas laterais e a redução da adesão microbiana nas paredes do equipamento, acarretando, assim, a atenuação do entupimento. Em relação ao nível 4E, a minimização do entupimento foi atribuída à escassez de oxigênio dissolvido no efluente, que, provavelmente, diminuiu a produção de subprodutos da atividade microbiana e, conseqüentemente, a formação de biofilme. Nos níveis 2E2A e 3E1A, os menores tempos de aplicação de água não foram suficientes para a remoção dos sólidos do interior do equipamento, além de favorecerem o desenvolvimento do biofilme, devido ao fornecimento de oxigênio dissolvido aos microrganismos aeróbios.

4.3.4. Caracterização do biofilme formado nas linhas laterais e gotejadores

Constatou-se no equipamento de aplicação o desenvolvimento de biofilme complexo, resultante da interação entre agentes físico (sólidos suspensos), químico (precipitados de enxofre) e biológico (bactérias, fitoplânctons, fungos e protozoários).

A formação desse biofilme deveu-se, em parte, à não-realização de abertura de finais de linhas laterais para limpeza, tendo a ausência dessa

prática o propósito de potencializar os efeitos do entupimento e, conseqüentemente, apontar o gotejador menos suscetível.

A formação de biofilme sobre a área de filtração dos gotejadores dificultou a entrada de efluente pelas pequenas aberturas, acarretando, assim, a redução na vazão. Na Figura 20, podem-se observar as pequenas aberturas dos gotejadores G1, G2 e G3 e a membrana de autocompensação do gotejador G3 preenchidas pelo biofilme.

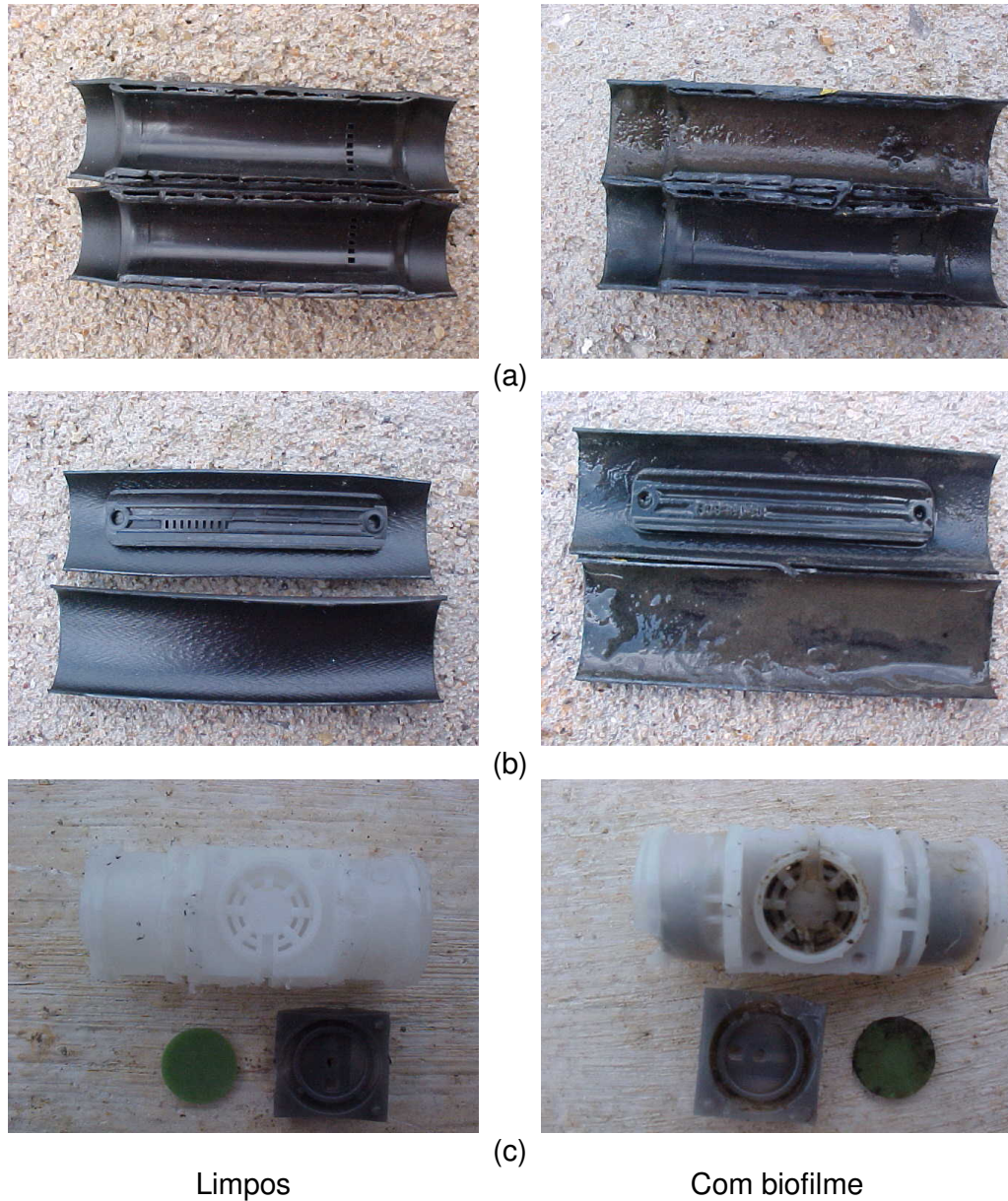


Figura 20 - Gotejadores G1 (a), G2 (b) e G3 (c) limpos e com a presença de biofilme.

Neste trabalho, a hipótese sobre o processo de entupimento de gotejadores por biofilme foi a seguinte: durante o abastecimento das linhas laterais com efluente ocorre a migração de microrganismos do fluido para as paredes do equipamento de aplicação, pois muitos desses só realizam a divisão celular nessa condição. Sabe-se que superfícies hidrofóbicas, como polietileno e PVC, favorecem, principalmente, a adesão de bactérias com parede celular hidrofóbica. Depois da adesão primária, as células fracamente ligadas consolidam o processo de adesão, produzindo substâncias extracelulares que as fixam sobre a superfície sólida. Durante esse estágio de adesão, os microrganismos podem unir-se uns aos outros, formando agregados na superfície a que se aderem; a partir desse ponto, inicia-se o processo de maturação do biofilme. A densidade e a complexidade do biofilme aumenta à medida que as células se dividem (ou morrem), e os componentes extracelulares gerados pelas bactérias interagem com partículas orgânicas e inorgânicas do ambiente circundante. Quando o biofilme se desenvolve por completo, as forças hidráulicas que surgem durante a operação do sistema de aplicação desprendem células e fragmentos do biofilme, que podem rapidamente dispersar e multiplicar, colonizando novas superfícies, ou podem ser depositados sobre as áreas de filtração dos gotejadores, desencadeando, assim, o processo de entupimento.

A análise microscópica dos biofilmes realizada com o objetivo de caracterizar a biomassa presente em cada subunidade está apresentada na Figura 21. Distintas morfologias foram observadas durante a microscopia por contraste de fases, sendo que, em todos os biofilmes, os microrganismos predominantes foram bacilos curvos (provavelmente bactérias redutoras de sulfato), bacilos em pares, cocos bacilos, filamentos, bactérias filamentosas (semelhante a *Methanosaeta*) e diatomáceas. Moraes e Paula Júnior (2004), trabalhando com efluente da suinocultura, constataram a predominância de bacilos curvos, bacilos retos e cocos bacilos no biofilme formado dentro de reatores. Luiz (2007) identificou bacilos, cocos bacilos, filamentos e bactérias semelhantes a *Methanosaeta* e *Methanosarcina* no biofilme formado em reatores operando com água residuária do cafeeiro.

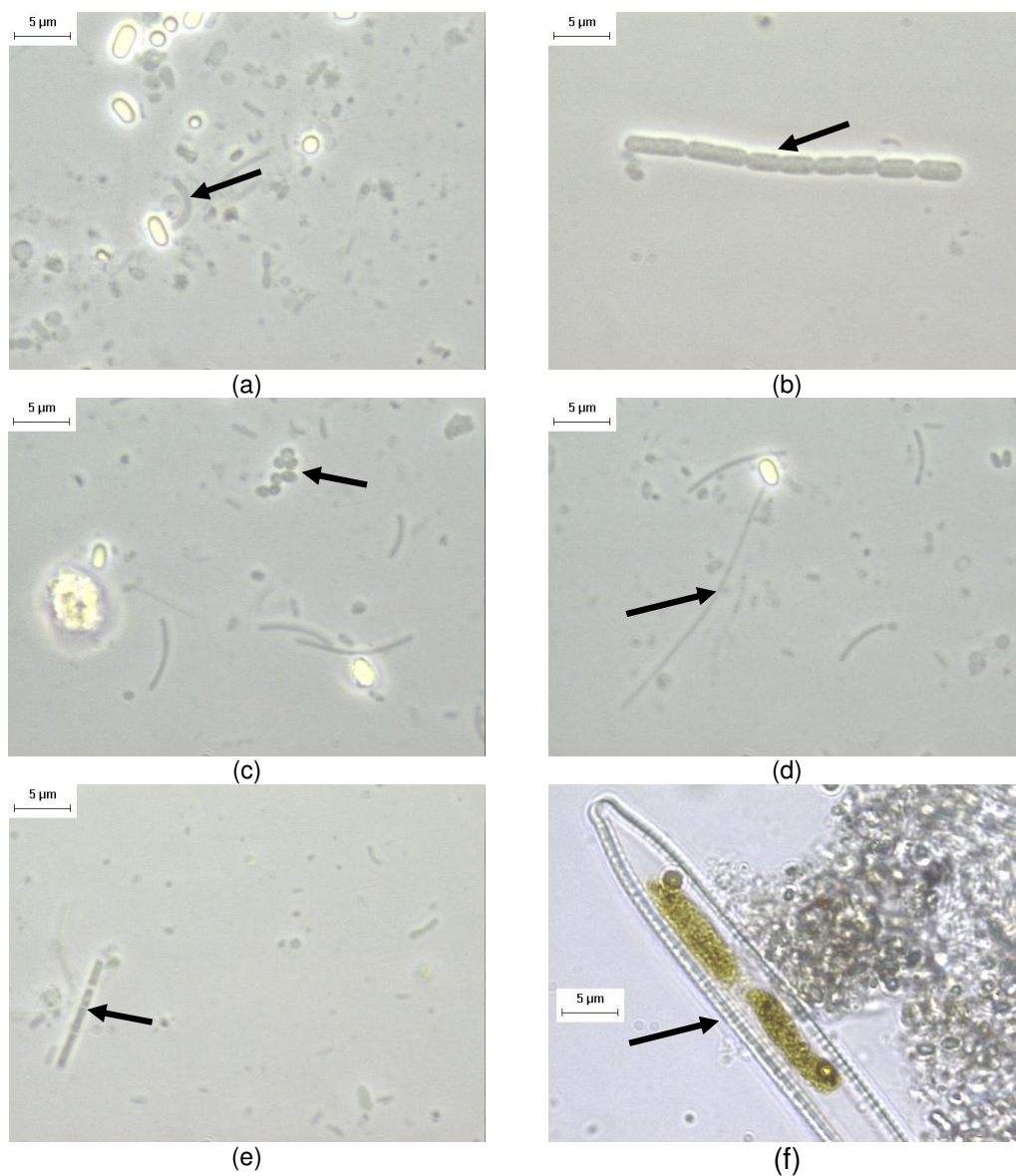


Figura 21 - Morfologias observadas por microscopia no biofilme dos gotejadores das subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E: bacilo curvo (a), bacilos em pares (b), cocos bacilos (c), filamento (d), bactéria filamentososa semelhante a *Methanosaeta* (e) e diatomácea (f) (objetiva 100, ocular 10 e zoom 1,25).

Por meio de análises em meios de cultura, obteve-se o nível populacional de bactérias causadoras de entupimento de gotejadores, conforme apresentado no Quadro 39. Os níveis populacionais de bactérias nos biofilmes dos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E foram de $8,5 \times 10^5$, $1,8 \times 10^6$, $1,9 \times 10^6$ e $1,1 \times 10^6$ UFC mL⁻¹, respectivamente. De acordo com os relatos de Nakayama et al. (2006), os gêneros de bactérias *Enterobacter*, *Pseudomonas* e *Clostridium* causam sérios problemas de obstrução em gotejadores.

Quadros 39 - Caracterização das bactérias presentes no biofilme formado nas subunidades submetidas aos níveis 1E3A, 2E2A, 3E1A e 4E

Bactérias	Proporção de água			
	1E3A	2E2A	3E1A	4E
População bacteriana (UFC mL ⁻¹)	8,5 x 10 ⁵	1,8 x 10 ⁶	1,9 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁶
<i>Enterobacter</i> (UFC mL ⁻¹)	2,0 x 10 ³	7,5 x 10 ³	4,5 x 10 ³	2,0 x 10 ³
<i>Pseudomonas</i> (UFC mL ⁻¹)	3,5 x 10 ³	5,5 x 10 ³	1,0 x 10 ⁴	1,0 x 10 ⁴
* <i>Clostridium</i> (UFC mL ⁻¹)	1,0 x 10 ³	< 10 ²	6,5 x 10 ³	< 10 ²

Nota: UFC = unidades formadoras de colônias. * Clostrídios sulfito redutores.

4.3.5. Tratamento da água residuária de suinocultura na UTARS

No Quadro 40 estão apresentados os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas da água residuária de suinocultura coletada a montante e a jusante dos tanques A, B, C e D, na Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS).

Nota-se, no Quadro 40, que a fonte de variação (a água residuária de suinocultura coletada a montante e a jusante dos tanques A, B, C e D) foi significativa a 1% de probabilidade para as variáveis SS, Fe, DQO, DBO₅, OG, N, P e K e a 5% de probabilidade para as variáveis Mn, Na⁺ e Ca²⁺, enquanto a fonte de variação das variáveis pH, SD, Mg²⁺, CE, ALC e RAS foi não-significativa a 5% de probabilidade.

Verificou-se, com base nos dados apresentados no Quadro 40, que os efluentes dos tanques A, B, C e D não diferiram entre si, com relação às variáveis SS, Fe, DQO, DBO₅, N, P e K, porém estes diferiram do afluente; o afluente e os efluentes dos tanques A, B, C e D não diferiram entre si, com relação às variáveis Mn e Ca²⁺; os efluentes dos tanques A, B e C não diferiram entre si, com relação à variável Na⁺, mas estes diferiram do afluente; e os efluentes dos tanques B, C e D não diferiram entre si, com relação à variável OG, porém estes diferem do afluente.

Estabelecendo comparação entre o efluente do tanque D e o afluente, constatou-se que ocorreram reduções de 95, 89, 79, 32, 93, 92, 82, 45, 48, 31 e 32% nas concentrações de SS, Fe, Mn, Na⁺, DQO, DBO₅, OG, N, P, K e Ca²⁺, respectivamente. Perdomo et al. (1999) apresentaram remoções inferiores, para DQO₅, N, P e K, nos valores de 45, 20, 39 e 18%. Mesmo

assim, os valores de SS, DQO, DBO₅ do efluente do tanque D não atendiam aos padrões estabelecidos pelo COPAM (1986).

Quadro 40 - Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas da água residuária de suinocultura a montante e a jusante dos tanques A, B, C e D, na UTARS

Característica	F	Afluente	Efluente			
			Tanque A	Tanque B	Tanque C	Tanque D
SS	30,79**	3997a	500b	338b	233b	195b
Fe	17,21**	17,95a	5,78b	3,68b	2,60b	2,06b
Mn	4,19*	1,69a	0,48a	0,46a	0,34a	0,35a
Na ⁺	5,40*	2,40a	1,50b	1,60b	1,59b	1,64ab
DQO	47,92**	8313a	1054b	702b	612b	572b
DBO ₅	81,02**	3967a	559b	424b	351b	320b
OG	7,21**	127a	64ab	47b	33b	23b
N	156,64**	733a	411b	421b	406b	401b
P	20,05**	91a	51b	50b	52b	47b
K	11,44**	262a	191b	195b	189b	180b
Ca ⁺²	3,41*	6,66a	4,64a	4,85a	4,65a	4,55a
pH	0,66 ^{ns}	7,34	7,34	7,37	7,53	7,57
SD	0,41 ^{ns}	1212	1169	1119	1152	1133
Mg ⁺²	2,98 ^{ns}	3,15	1,77	1,86	1,89	1,71
CE	1,14 ^{ns}	4,22	3,87	3,9	3,88	3,83
ALC	0,03 ^{ns}	1621	1614	1648	1651	1638
RAS	1,32 ^{ns}	1,11	0,85	0,88	0,89	0,95

*, ** e ^{ns} F significativo a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade, respectivamente. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; Fe = ferro, mg L⁻¹; Mn = manganês, mg L⁻¹; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; DQO = demanda química de oxigênio, mg L⁻¹; DBO₅ = demanda bioquímica de oxigênio, mg L⁻¹; OG = óleos e graxas, mg L⁻¹; N = nitrogênio, mg L⁻¹; P = fósforo, mg L⁻¹; K = potássio, mg L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; pH = potencial hidrogeniônico; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; ALC = alcalinidade a pH 4,3, mg L⁻¹; e RAS = relação de adsorção de sódio (mmol_c L⁻¹)^{0,5}.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

A escassez de água doce e a geração de grande quantidade de dejetos de suínos com necessidade de tratamento estimulam o uso de águas residuárias de suinocultura na agricultura. A fertirrigação por gotejamento é uma atividade segura para esta finalidade, mas possui como barreira tecnológica o entupimento dos emissores. Por esta razão, torna-se indispensável a criação de novas tecnologias de prevenção do entupimento de gotejadores, com custo acessível ao produtor e baixo risco à saúde humana, às plantas cultivadas e ao ambiente.

Neste trabalho, teve-se por objetivos avaliar e analisar o desempenho de sistema de irrigação por gotejamento quando utilizado para aplicar água residuária de suinocultura, no que se refere aos seguintes aspectos: (a) remoção de sólidos suspensos e de óleos e graxas em peneiras estáticas inclinadas operando com efluente; (b) influência da pressão de serviço no entupimento de gotejadores aplicando efluente e água; e (c) efeito da proporção de água no entupimento de gotejadores, após a aplicação de efluente. O experimento foi conduzido na Unidade-Piloto de Tratamento e Aplicação Localizada de Água Residuária de Suinocultura (UTARS) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Na primeira etapa do trabalho, montou-se uma bancada experimental constituída de cinco peneiras com aberturas de 47, 56, 77, 106 e 154 μm , destinadas à filtração de efluente da suinocultura. A amostragem da água residuária foi realizada a montante e a jusante das peneiras, com frequência

horária, durante um período de quatro horas. Para a segunda e terceira etapas do trabalho, montou-se outra bancada experimental composta por duas unidades de controle para bombeamento de efluente e de água, uma plataforma de alvenaria e quatro unidades de fertirrigação com três tipos de gotejadores (G1, G2 e G3). Cada unidade de fertirrigação constou de três subunidades, sendo uma para cada tipo de gotejador. Foram instaladas, por subunidade, três linhas laterais com 18 m de comprimento. Em todas as linhas laterais foram identificados 22 emissores para medição da vazão. Durante os ensaios, realizaram-se análises física, química e biológica do efluente e da água que abasteceram as unidades de fertirrigação. Na segunda etapa do trabalho, as quatro unidades de fertirrigação operaram diariamente nas pressões de 75, 145, 215 e 285 kPa, por quatro horas, aplicando-se efluente durante as primeiras duas horas e água no tempo restante. A avaliação da uniformidade de aplicação da vazão nas subunidades de fertirrigação foi feita a cada 20 h, durante todo o período de aplicação do efluente. Na terceira etapa do trabalho, as quatro unidades de fertirrigação operaram à pressão de 105 kPa, enquanto os níveis foram: nível 1E3A - uma hora de aplicação do efluente seguida de três horas de aplicação de água; nível 2E2A - duas horas de aplicação do efluente seguidas de duas de aplicação de água; nível 3E1A - três horas de aplicação do efluente seguidas de uma de aplicação de água; e nível 4E - quatro horas de aplicação do efluente. Realizou-se avaliação da uniformidade de aplicação da vazão nas subunidades de fertirrigação, a cada 20 h, durante o período de aplicação do efluente.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que:

- Remoções consideráveis de sólidos suspensos e de óleos e graxas foram obtidas somente na peneira com abertura de 47 μm .
- A formação de um biofilme resultante da interação entre os agentes físico, químico e biológico propiciou entupimento parcial e total dos gotejadores e, conseqüentemente, redução na uniformidade de aplicação de efluente nas subunidades de fertirrigação.
- O gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3, devido à menor velocidade de escoamento do efluente e ao maior comprimento do labirinto.
- O aumento na pressão de serviço diminuiu o nível de entupimento somente nas subunidades de fertirrigação dotadas do gotejador G1,

em função do aumento na velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor.

- Em média, as subunidades operando nas pressões de serviço P1 (75 kPa) e P2 (145 kPa) apresentaram maiores níveis de entupimento em relação àquelas com as pressões de serviço P3 (215 kPa) e P4 (285 kPa).
- Os níveis 1E3A e 4E foram os mais eficazes na minimização do entupimento dos gotejadores das subunidades de fertirrigação, enquanto nos níveis 2E2A e 3E1A ocorreram os maiores níveis de entupimento.
- O gotejador G3 operando na pressão de serviço de 105 kPa associado aos níveis 1E3A e 4E foram as combinações que melhor atenuaram o entupimento.
- Em condições de campo, os níveis de entupimento dos gotejadores G1, G2 e G3 poderiam ser menores, devido ao menor tempo de funcionamento do equipamento para aplicação sustentável da água residuária da suinocultura.

6. REFERÊNCIAS

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

ADIN, A. Clogging in irrigation systems reusing pond effluents and its prevention. **Water Science Technology**, London, v. 19, n. 12, p. 323-328, 1987.

ADIN, A.; ALON, G. Mechanisms and process parameters of filter screens. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, n. 4, p. 293-304, 1986.

ALVES, R. V. **Avaliação do desempenho de lagoas de estabilização para o tratamento de dejetos de suínos: aspectos microbiológicos**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 118 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. New York: APHA, AWWA, WPCR, 1998.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA – **ANUALPEC**. São Paulo: Instituto FNP, 2006. 369 p.

ASAE D384.2 – Manure Production and Characteristics. **ASAE Standards**, St. Joseph, p. 1-20, 2005.

ASAE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. **ASAE Standards**, St. Joseph, p. 900-905, 2003.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzida por H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damaceno. Campinas Grande: UFPB, 1999. 153 p. (Estudos FAO 29, 1999).

BASSO, J. C.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1305-1312, 2005.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Suscetibilidade ao entupimento de gotejadores mediante a aplicação de esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 14, n. 2, p. 81-87, 2006.

BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F.; Lo MONACO, P. A. Obstrução de gotejadores utilizados para a aplicação de água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 299-305, 2005a.

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C. Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9 (suplemento), p. 62-65, 2005b.

BEGHIN, J.; METCALFE, M. **Environmental regulation and competitiveness in the hog industry an international perspective**. Iowa: ISU, 1998. 53 p.

BELLI FILHO, P.; LISBOA, H. L. Avaliação de emissões odorantes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 3, p. 101-106, 1998.

BERKOWITZ, S. J. Hydraulic performance of subsurface wastewater drip systems. In: ON-SITE WASTEWATER TREATMENT, 9., Fort Worth, 2001. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2001. p. 583-592. (Paper n. 701P0069).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 625 p.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R. G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, n. 2, p. 149-162, 1979.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, 2006. (doi:10.1013/j.jclepro.2006.07.032).

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 68, n. 2, p.135-149, 2004.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, London, v. 70, n. 4, p. 355-365, 1998.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 22, n. 2, p. 251-257, 2006.

CEOTTO, E.; SPALLACCI, P. Pig slurry applications to alfalfa: Productivity, solar radiation utilization, N and P removal. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, n. 2-3, p. 135-155, 2006.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; VIEIRA, F. C. B.; HERBES, M. G.; MOREIRA, I. C. L.; BERWANGER, A. L. Dejeito líquido suíno: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 6, p. 1296-1304, 2005.

CHASTAIN, J. P.; LUCAS, W. D.; ALBRECHT, J. E.; PARDUE, J. C.; ADAMS, J.; MOORE, K. P. Removal de solids and major plant nutrients from swine manure using a screw press separator. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 17, n. 3, p. 355-363, 2001.

CHIENG, S.; GHAEMI, A. Uniformity in a microirrigation with partially clogged emitters. **ASAE Annual International Meeting**, St. Joseph, 2003. (Paper n. 032097)

CHOUDHARY, M.; BAILEY, L. D.; GRANT, C. A. Review of the use of swine manure in crop production: effects on yield and composition and on soil and water quality. **Waste Management & Research**, London, v. 14, n. 6, p. 581-595, 1996.

COMMISSION DECISION. Granting a derogation requested by Austria pursuant to Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. **Official Journal of the European Union**, Brussels, L. 66, p. 44-46, 2006.

COMMISSION DECISION. Concerning a request for derogation under point 2(b) of Annex III to and Article 9 of Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. **Official Journal of the European Union**, Brussels, L. 94, p. 34-36, 2005a.

COMMISSION DECISION. Granting a derogation requested by the Netherlands pursuant to Council Directive 91/676/EEC concerning the protection of waters against pollution caused by nitrates from agricultural sources. **Official Journal of the European Union**, Brussels, L. 324, p. 89-93, 2005b.

CONSELHO ESTADUAL DE CONTROLE AMBIENTAL – CECA (1997). Deliberação Normativa nº 003 de 20 de junho de 1997. **Dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1997. Disponível em: <http://www.ms.sebrae.com.br/uploads/Estudos%20Agronegocios/Fruticultura_Corumba/CRV%20-%203%20-Deliberacao%20CECA%203-97rechidricos%20ms.doc>. Acesso em: 28 dez. 2006.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM (1998). Deliberação Normativa nº 32 de 18 de dezembro de 1998. **Altera a alínea “h” do artigo 15 da Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986.** Belo Horizonte, 1998. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=188>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM (1995). Deliberação Normativa nº 10 de 16 de dezembro de 1986. **Estabelece normas para licenciamento e controle da atividade de suinocultura.** Belo Horizonte, 1995. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=111>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL – COPAM (1986). Deliberação Normativa nº 10 de 16 de dezembro de 1986. **Estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e para o lançamento de efluentes nas coleções de águas.** Belo Horizonte, 1986. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=91>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA (2005). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.** Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo do dejetos de suínos.** Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA/EMATER-RS, 1998. 33 p. (Boletim informativo, 11).

DE BEER, D.; SRINIVASAN, R.; STEWART, P. S. Direct measurement of chlorine penetration into biofilms during disinfection. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 60, n. 12, p. 4339-4344, 1994.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; OULD AHMAD, B. V.; FUJIYAMA, H.; MIYAMOTO, K. The effect of chlorine on emitter clogging induced by algae and protozoa and the performance of drip irrigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 48, n. 2, p. 519-527, 2005.

DEHGHANISANIJ, H.; YAMAMOTO, T.; RASIAH, V.; INOUE, M.; KESHAVARZ, A. Control of clogging in microirrigation using wastewater in Tohaku, Japan. **ASAE Annual International Meeting**, St. Joseph, 2003. (Paper n. 032027)

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos de suínos.** Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA/EMATER-RS, 2002. 31 p. (Boletim informativo, 14)

DOURMAD, J.Y.; SÈVE, B.; LATIMIER, P.; BOISEN, S.; FERNANDEZ, J.; van der PEET-SCHWERING, C.; JONGBLOED, A. W. Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, the Netherlands and Denmark. **Livestock Production Science, Amsterdam**, v. 58, n. 3, p. 261-264, 1999.

FARIA, L. F.; COELHO, R. D.; FLECHA, P. A. N.; ROBLES, W. G. R.; VÁSQUEZ, M. A. N. Entupimento de gotejadores e seu efeito na pressão da rede hidráulica de um sistema de microirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 195-198, 2002.

FORD, H. W.; TUCKER, D. P. H. Blockage of drip irrigation filters and emitters by iron-sulfur-bacterial products. **Hortscience**, Alexandria, v. 10, n. 1, p. 62-64, 1975.

FRIGO, E. P.; SAMPAIO, S. C.; FREITAS, P. S. L.; NÓBREGA, L. H.; SANTOS, R. F.; MALLAMANN, L. S. Desempenho do sistema de gotejamento e de filtros utilizando água residuária da suinocultura. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 305-318, 2006.

GOIAS (1979). DECRETO Nº 1.745 DE 6 DE DEZEMBRO DE 1979. **Aprova o regulamento da Lei nº 8.544, de 17 de outubro de 1978, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente**. Disponível em: <http://www3.agenciaambiental/go.gov.br/legislacao/01_legis_decre_estad_1745.php>. Acesso em: 28 dez. 2006.

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

HILLS, D. J.; TAJRISHY, M. A.; TCHOBANOGLIOUS, G. The influence of filtration on ultraviolet disinfection of secondary effluent for microirrigation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, n. 6, p. 1499-1505, 2000.

HILLS, D. J.; EL-EBABY, F. G. Evaluating of microirrigation self-cleaning emitters. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 6, n. 4, p. 441-445, 1990.

HILLS, D. J.; NAWAR, F. M.; WALLER, P. M. Effects of chemical clogging in drip-tape irrigation uniformity. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 4, p. 1202-1206, 1989.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da pecuária municipal**. Rio de Janeiro, 2005. v. 33, 38 p.

JONGBLOED, A. W.; POULSEN, H. D.; DOURMAD, J. Y.; van der PEET-SCHWERING, C.M.C. Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 3, p. 243-249, 1999.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation desing**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.

KRAPAC, I. G.; DEY, W. S.; ROY, W. R.; SMYTH, C. A.; STORMENT, E.; SARGENT, S. L.; STEELE, J. D. Impacts of swine manure pits on groundwater quality. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 120, n. 2, p. 475-492, 2002.

LESIKAR, B. J.; WEYNAND, V. L.; PERSYN, R. A. Evaluation of the application uniformity of subsurface drip distribution systems. In: ON - SITE WASTEWATER TREATMENT, 10., Sacramento, 2004. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2004. p.73-83. (Paper n. 701P0104).

Lo MONACO, P. A.; MATOS, A. T.; JORDÃO, C. P.; CECON, P. R.; MARTINEZ, M. A. Influência da granulometria da serragem de madeira como material filtrante no tratamento de águas residuárias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 116-119, 2004.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

LUIZ, F. A. R. **Desempenho de reatores anaeróbios de leito fixo no tratamento de águas residuárias da lavagem e descascamento/despolpa dos frutos do cafeeiro**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MAGALHÃES, M. A.; MATOS, A. T.; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 472-478, 2006.

MATOS, A. T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 142 p. (Caderno didático n. 38).

MATOS, A. T.; BRANDÃO, V. S.; NEVES, J. C. L.; MARTINEZ, M. A. Removal of cu and zn from swine raising wastewater using organic filters. **Environmental Technology**, London, v. 24, n. 2, p. 171-178, 2003.

MEDEIROS, S. S. **Alterações física e químicas do solo e estado nutricional do cafeeiro em resposta à fertirrigação com água residuária de origem doméstica**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

MORAES, L. M.; PAULA JÚNIOR, D. R. Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de resíduos da bovinocultura e da suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 445-454, 2004.

NAKAYAMA, F. S.; BOMAN, B. J.; PITTS, D. Maintenance. In: LAMM, F. R.; AYARS, J. E.; NAKAYAMA, F. S. (Eds.). **Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management**. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389 - 430.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, Amsterdam, v. 12, p. 187-192, 1991.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrients requirements of swine**. 10. ed. Washington, D. C.; 1998. 190 p.

OLIVEIRA, W. **Uso de água residuária da suinocultura em pastagens da *Brachiária Decumbens* e Grama Estrela *Cynodom Plectostachyum***. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

OLIVEIRA, R. A.; TAGLIAFERRE, C.; DENÍCULI, W.; CECON, P. R. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 1, p. 33-40, 2005.

OLIVEIRA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINEZ, M. A.; CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000.

OLIVEIRA, P. A. V.; MARTINS, R. R.; PEDROSO, D.; LIMA, G. J. M. M.; LINDNER, E. A.; BELLI FILHO, P.; CASTILHO JÚNIOR, A. B.; SILVEIRA, V. R.; BALDISERA, I.; MATTOS, A. C.; GOSSMANN, H.; CRISTMANN, A.; BONETT, E.; HESS, A. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA, 1993. 188 p. (Documentos, 27).

ORON, G.; CAMPOS, C.; GILLERMAN, L.; SALGOT, M. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 38, n. 3, p. 223-234, 1999.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Sistema de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia, SC: EMBRAPA Suínos e Aves, 2003. 85 p. (Documentos, 85).

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Gramado, RS, EMBRAPA – CNPSA, 2001. p. 8-24.

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R. H.; MEDRI, W.; MIRANDA, C. R. **Dimensionamento de sistema de tratamento (decantador de lagoas) e utilização de dejetos suínos**. Concórdia, SC: EMBRAPA – CNPSA, 1999. 5 p. (Comunicado técnico, 234).

PERDOMO, C. C.; LIMA, G. J. M. M. Considerações sobre a questão dos dejetos e o meio ambiente. In: **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: EMBRAPA – SPI, 1998. p. 209-235.

PEREIRA, E. R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu uso no ambiente agrícola**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2006. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PEREIRA-RAMIREZ, O.; QUADRO, M. S.; ANTUNES, R. M.; KOETZ, P. R. Influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no tratamento de efluente de suinocultura. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 10, n. 1, p. 103-110, 2004.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación**. 2. ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1990. 471 p.

POULSEN, H. D.; JONGBLOED, A. W.; LATIMIER, P.; FERNANDEZ, J. A. Phosphorus consumption, utilization and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 58, n. 3, p. 251-259, 1999.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Hydraulic performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 77, n. 1-3, p.249-262, 2005a.

PUIG-BARGUÉS, J.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Filtration of effluents for microirrigation systems. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 48, n. 3, p. 969-978, 2005b.

QINGRONG, Z.; WENCHU, D. The patters of suspended solids transportation and deposition in drip irrigation laterals. **China Rural Water and Hydropower**, Wuhan, n. 6, p. 28-30, 2000.

QUEIROZ, F. M.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; OLIVEIRA, R. A. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

RAV-ACHA, C.; KUMMEL, M.; SALAMON, I.; ADIN, A. The effect of chemical oxidants on effluent constituents for drip irrigation. **Water Research**, Oxford, v. 29, n. 1, p. 119-129, 1995.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G.; YECHIALY, Z.; LEV, Y. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. **Agricultural Water Management**, v. 33, n. 2-3, p. 127-137, 1997.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimer wastewater. **Irrigation Science**, New York, v. 13, n. 3, p. 129-139, 1992.

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**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

RIO GRANDE DO SUL (1989). PORTARIA Nº 05, DE 16 DE MARÇO DE 1989. **Dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d'água interiores do estado do rio Grande do Sul**. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000019.doc>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

ROWAN, M.; MANCL, K.; TUOVINEN, O. H. Clogging incidence of drip irrigation emitters distributing effluents of differing levels of treatment. In: ON-SITE WASTEWATER TREATMENT, 10., 2004, Sacramento. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2004. p. 84-91. (Paper n. 701P0104).

SADOVSKI, A. Y.; FATTAL, B.; GOLDBERG, D. Microbial contamination of vegetables irrigated with sewage effluent by the drip method. **Journal of Food Protection**, Ames, 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 e sulfú bactería. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

ŞAHIN, Ü.; ANAPALI, Ö.; DÖNMEZ, M. F.; ŞAHIN, F. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. **Journal of Environmental Management**, London, v. 76, n. 4, p. 338-341, 2005.

SÁNCHEZ, M.; GONZÁLEZ, J. L. The fertilizer of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 96, n. 10, p. 1117-1123, 2005.

SANTA CATARINA (1981). DECRETO Nº 14.250, DE 5 DE JUNHO DE 1981. **Regulamenta dispositivos da Lei nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referentes à proteção e a melhoria da qualidade ambiental**. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/pesquisa/docs/legislacao_estadual/decreto_14250.doc>. Acesso em: 28 dez. 2006.

SÃO PAULO (1976). DECRETO Nº 8.468, DE 8 DE SETEMBRO DE 1976. **Aprova a Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a presença e o controle da poluição do meio ambiente**. Disponível em: <http://www.al.sp.gov.br/StaticFile/integra_ddilei/decreto/1976/decreto%20n.8.468,%20de%2008.09.1976.htm>. Acesso em: 28 dez. 2006.

SILVA, G. P.; MARQUES, S. M. T. Impacto dos maus odores decorrentes da suinocultura na saúde de moradores rurais no município de concórdia, Santa Catarina, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 2, p. 135-141, 2004.

SINOTTI, A. P. S. **Avaliação do volume de dejetos e da carga de poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do ciclo criatório**. Florianópolis, SC: UFSC, 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, J. A. A. **uso de água residuária de origem doméstica na fertirrigação do cafeeiro: efeitos no solo e na planta**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 147 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

TAJRISHY, M.; HILLS, D. J.; TCHOBANOGLOUS, G. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 120, n. 4, p. 716-731, 1994.

TALOZI, S. A.; HILLS, D. J. Simulating emitter clogging in a microirrigation subunit. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 6, p. 1503-1509, 2001.

TAYLOR, H. D.; BASTOS, R. K. X.; PEARSON, H. W.; MARA, D. D. Drip irrigation with waste stabilization pond effluents: solving the problem of emitter fouling. **Water Science Technology**, London, v. 31, n. 12, p. 417-424, 1995.

THEIS, L. T.; SINGER, P. C. Complexation of iron (II) by organic matter and its effect on iron (II) oxygenation. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 8, n. 6, p. 569-573, 1974.

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**, St. Joseph, v. 16, n. 5, p. 505-508, 2000.

WATSON, J. T.; McENTYRE, C. L. Peer reviewed guideline for wastewater subsurface drip distribution. In: ON-SITE WASTEWATER TREATMENT, 10., 2004, Sacramento. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2004. p. 68-72. (Paper n. 701P0104).

YAMAMOTO, T.; AHMED, B. A. O.; KOIWASAKI, M.; DEHGHANISANIJ, H.; FUJIYAMA, MIYAMOTO, K. Preventing biochemical clogging of filters and emitters in microirrigation systems. **ASAE Annual International Meeting**, St. Joseph, 2005. (Paper n. 052241).

ZHANG, R. H.; YANG, P.; COLLAR, C. A.; HAM, L. Treatment of flushed dairy manure by solid-liquid separation and lagoon aeration. In: INTERNATIONAL ANIMAL AGRICULTURAL AND FOOD PROCESSING WASTES, 9., 2003, North Carolina. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 2003. p. 496-503.