**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores
autocompensantes (irrigação localizada)**

Marconi Batista Teixeira

Tese apresentada, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e
Drenagem

**Piracicaba
2006**

Marconi Batista Teixeira
Engenheiro Agrônomo

**Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes
(irrigação localizada)**

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor
em Agronomia. Área de concentração: Irrigação e
Drenagem

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Teixeira, Marconi Batista

Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada) / Marconi Batista Teixeira. - - Piracicaba, 2006.

318 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.
Bibliografia.

1. Ácido 2. Cloro 3. Gotejadores 4. Irrigação localizada 5. Temperatura
I. Título

CDD 631.7

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

DEDICATÓRIA

A DEUS pela vida, amor e fé.

Aos meus pais Antônio e Ivone: exemplos de vida, amor e fé.

Dedico.

Ao Prof. Dr. Walter Yoshizo Okano (graduação).

Ao Prof. Dr. Everardo C. Mantovani (graduação/mestrado).

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho (doutorado).

Pelos valiosos ensinamentos e por serem pessoas notáveis.

Agradeço.

Aos Professores Dr. José A. Frizzone e Dr. Márcio M. Ramos.

Pelo apoio, exemplo de sabedoria e amizade.

Ofereço.

A Eloísio, Geraldo, Gecyara, Rodrigo, Cláudia, Adriana e Raquel.

Cuja dedicação em busca de conhecimento, tenacidade e vontade de vencer servem como incentivo.

Ofereço.

A Eugênio, Joaquim (Kinka), Ninita, José, Rafael, Silvestre e Conceição.

Pelo incentivo, exemplo de amor e apoio incondicional.

Ofereço.

Ao Dr. Marcos Emanuel da Costa Veloso e Madaíla.

Pelo exemplo de amor e amizade sincera.

Ofereço.

A minha namorada Délia, pelo amor, incentivo, paciência e companheirismo.

Ofereço.

“Os maiores males que afligem nossa terra são a ignorância e a opressão, não a ciência, a tecnologia e a indústria, cujos instrumentos, quando usados adequadamente, são as ferramentas indispensáveis de um futuro construído pela Humanidade, por ela e para ela, vencendo os problemas maiores da superpopulação, da fome e da doença” Heidelberg Appeal

“Para ser o que sou hoje, já fui vários homens. E, volto a encontrar-me com os homens que fui, não me envergonho deles. Foram etapas do que sou. Tudo o que sei custou as dores da experiência. Tenho respeito pelos que não sabem, pelos que procuram, pelos que tateiam, pelos que erram. E o que é mais importante, estou persuadido de que minha luz se extinguiria se eu fosse o único a possuí-la”.

GOETHE

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela constante em todas as minhas dificuldades e fraquezas.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, pela oportunidade oferecida para realização do curso.

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, pela orientação com maestria, ensinando-me a reconhecer limitações e como superá-las. Pelo exemplo de vida, comprometimento, disciplina e como alcançar objetivos. Por todas as oportunidades concedidas e apoio em momentos importantes.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro fundamental à pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo fornecida durante o curso.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Dr. José Antônio Frizzzone, Dr. Sérgio Nascimento Duarte, Dr. Tarlei Arriel Botrel, Dr. Marcos Vinícius Folegatti, Dr. Décio Eugênio Cruciani e Dr. Iran José Oliveira da Silva, pela amizade, ensinamentos e pelo exemplo de dedicação a ciência, cheia de sabedoria e humildade.

Aos Professores Dr. Jarbas H. de Miranda, Dr. Paulo L. Libardi, Dr. Everardo C. Mantovani, Dr. Márcio M. Ramos, Dr. Rubens A. de Oliveira, Dr. Paulo A. Ferreira, Dr. Edson E. Matsura, Dr. João C. C. Saad, Dr. Eugênio F. Coelho pela amizade, humildade, sabedoria e exemplo de dedicação à pesquisa e ao ensino.

Aos Professores Dr. Décio Barbin, Dra. Meiby, Dra. Sônia e Dr. Carlos Tadeu pelo apoio incondicional na análise estatística e amizade.

Aos fabricantes de tubogotejadores que doaram material para a realização dos ensaios, por não medir esforços para estreitar os laços de união com a universidade, contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas as necessidades do mercado, em especial ao Eng. Luiz Andrade (Petroísa).

Ao Prof. Dr. Elliot W. Kitajima por permitir o uso do microscópio eletrônico de varredura, instalado no Laboratório de microscopia eletrônica NAP/MEPA.

A Ralini Ferreira de Melo, “mulher de fibra”, pelo exemplo de dedicação, atitude, força de vontade, competência e amizade.

A Pabblo A. de Aguiar Ribeiro, pelo apoio incondicional para a construção da bancada e pelo exemplo de competência e comprometimento com a pesquisa.

A minha namorada, por ter abraçado este sonho junto comigo, por ter suportado minha ausência em momentos importantes, pelas palavras de incentivo e gesto de compreensão quando era preciso.

Aos meus irmãos Rodrigo, Silvestre, Rafael e Éder, por todo o incentivo, amor e apoio cheio de entusiasmo.

Ao nobre amigo Dr. Marcos Emanuel da Costa Veloso, sua esposa Madaíla, e sua sobrinha Valquíria pelo apoio, proteção, carinho, exemplo de vida, humildade, comprometimento e amizade sincera. Um agradecimento especial também ao Dr. Lúcio e sua esposa Antônia.

Aos nobres funcionários do Departamento de Engenharia Rural (ESALQ/USP): Luis e Gilmar e em especial a Hélio, Sr. Antônio, Áureo Santana e ao Eng. Agrícola Osvaldo Rettore Neto, que auxiliaram diretamente na execução de todo o trabalho com muito bom ânimo, sabedoria e humildade, sem esperar nada em troca, meus sinceros agradecimentos.

Às excelentes secretárias do Departamento de Engenharia Rural (ESALQ/USP): Davilmar, Sandra e Vanda pela competência, paciência, carinho e colaboração para que este trabalho pudesse ser bem concluído e a Bia pela amizade.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação e Biblioteca, pela gentileza e simpatia no atendimento prestado.

Aos amigos Rogério Pereira da Silva Airoidi e Ana Maria Duarte, pela sabedoria, humildade, excelente amizade e exemplo de dedicação à pesquisa.

Aos colegas, Tales M. Soares, Miguel T. del Pino, Waleska M. Eloi, Sérgio W. P. Chaves, Euro R. Detomini, Kelte R. Arantes, Tadeu M. de Queiroz, Ceres D. G. C. de Almeida, Cleomar F. de Oliveira, Roberta A. B. Gloaguen, pela sabedoria, humildade, amizade e exemplo de dedicação à pesquisa.

Aos colegas, Dr. Ênio, Antônio C. S. Tavares, Célia R. Ferrari, Francisco Edinaldo P. Mousinho, Jose A. Junior, Priscylla Ferraz, Lílían C. C. de Carvalho, Manoel Januário da S. Júnior, Hudson de P. Carvalho, Rodrigo O. C. Monteiro, Ronaldo A. dos Santos, Adalberto, Carlos César, Cícero Renê, Denis C. Cararo, Cláudio, Edson Cabral, Renê, Pelé, Tony, Carmello, Luiz, Francisco Valfísio, Dalva, Fabiana, Yanê, Robson André, Sérgio André, Tiago e Wagner de Oliveira, pela boa convivência, amizade e pelo bom exemplo de dedicação a ciência.

Aos estagiários do GPID em especial a Ana Luiza, Thomas, Pedro e Alessandra por todo o apoio.

A tia Cláudia, prima Jane, Ana Cláudia, Mirinha, Rosinha, Márcia, Kelle Ane, Maíra, Maria Cecília, Maria Helena, por todo o apoio, incentivo, carinho, amizade sincera e exemplo de vida.

Aos amigos irmãos Dr. Igor Siqueira, José Paulo Marques, José Carlos Marques, pelo incentivo, exemplo de vida e amizade. E ao amigo Edson C. Schwambach, pelo incentivo.

Ao amigo Dr. Laudi Cunha Leite e sua noiva Dra. Meiby, pelo exemplo de vida, sabedoria, humildade, dedicação à ciência e companheirismo.

Ao amigo Dr. Daniel de Paula Souza, pelo companheirismo, pelo exemplo de força de vontade e amizade durante o curso.

Aos amigos Dr. Rodrigo, Dr. José César Cruz, Leonardo Fontes e MSc. Marcos Biehl pelo companheirismo, apoio e oportunidade de vivenciar bons momentos juntos.

A Gisela, Grazielle e Ricardo da Copiadora “Luiz de Queiroz”, pelo apoio e amizade.

A Nívia, Carol, Dolorice, Gerany, Cláudia e Mônica, pela boa companhia, carinho, amizade e virtudes.

A Carol, Priscila, Cecília e Bárbara, pelo carinho e amizade.

A Lílían, Lúcia, Lílían, Juliana e Fernanda, pela amizade.

Aos amigos Dr. Walisson Freitas, MSc. Fabrício, Dr. Luciano Virtuoso, Dr. Luciano Carvalho, Dr. Luiz Fabiano, MSc. Darik, MSc. Hiran, Dr. Sílvio Meirelles e Rogério, pelo companheirismo.

Às minhas avós Maria Araújo e Carmem Ribeiro pelas orações e cuja vontade de viver servem como incentivo.

A tia Carmélia, avô José Viana e avô José Batista “in memorian”.

A tia Aparecida e a todos os demais tios (as) e primos (as) os quais não citei o nome, meus sinceros agradecimentos pelo apoio e incentivo.

A todos os professores pela singela contribuição, desde o ensino básico até a pós-graduação. Enfim, para todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	15
ABSTRACT.....	17
LISTA DE FIGURAS.....	19
LISTA DE TABELAS.....	31
LISTA DE SÍMBOLOS.....	41
1 INTRODUÇÃO.....	43
1.1 Influência da velocidade da água em obstruções de emissores.....	45
1.2 Problemas de obstruções de emissores.....	47
1.3 Obstruções causadas por precipitações químicas.....	49
1.4 Obstruções causadas por problemas biológicos.....	50
1.5 Medidas preventivas para controle de obstruções.....	54
1.5.1 Filtragem.....	55
1.5.2 Tratamento químico da água.....	55
1.6 Recuperação dos emissores.....	56
1.7 Custos dos equipamentos para tratamento da água de irrigação.....	58
1.8 Escolha dos materiais para fabricação de tubos e gotejadores.....	60
1.8.1 Nomenclatura de polímeros.....	61
1.8.2 Resistência química dos materiais plásticos (PVC).....	62
1.8.3 Considerações para Tubos de PVC.....	63
1.8.4 Ataque químico a termoplásticos e elastômeros.....	64
1.9 Características hidráulicas e efeitos da temperatura da água em emissores utilizados na irrigação localizada.....	66
1.10 Objetivos do trabalho.....	73
Referências.....	73
2. AVALIAÇÃO DE DANOS QUÍMICOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO DE GOTEJADORES, CAUSADO PELA APLICAÇÃO DINÂMICA DE DOSE EXTREMA DE CLORO LIVRE.....	79
Resumo.....	79
Abstract.....	80

2.1 Introdução.....	81
2.1.1 Uso do cloro para tratamento químico da água.....	82
2.1.2 Hidráulica dos gotejadores autocompensantes.....	87
2.1.3 Parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de água.....	89
2.1.4 Coeficiente de variação de fabricação.....	91
2.1.5 Uso de emissores autocompensantes.....	94
2.1.6 Importância e uso dos polímeros.....	97
2.2 Desenvolvimento.....	100
2.2.1 Material e Métodos.....	104
2.2.1.1 Modelos de gotejadores amostrados.....	106
2.2.1.2 Delineamento estatístico.....	108
2.2.1.3 Análise da água utilizada nos ensaios.....	110
2.2.1.4 Determinação da vazão, do coeficiente de variação e da uniformidade de distribuição.....	115
2.2.1.5 Distribuição empírica.....	120
2.2.1.6 Avaliação das características hidráulicas dos emissores sob diferentes temperaturas da água.....	122
2.2.1.7 Avaliação da variação de volume das membranas de compensação de pressão dos gotejadores pela ação do cloro.....	125
2.2.2 Resultados e Discussão.....	128
2.2.2.1 Análise de água.....	128
2.2.2.2 Vazão média dos gotejadores.....	129
2.2.2.3 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação de vazão (CV).....	139
2.2.2.4 Distribuição do entupimento.....	152
2.2.2.5 Alteração de volume em membranas de compensação.....	168
2.2.2.6 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão.....	183
2.3 Conclusões.....	205
Referências.....	206

3 AVALIAÇÃO DE DANOS QUÍMICOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO DE GOTEJADORES, CAUSADO PELA APLICAÇÃO ESTÁTICA DE DOSE EXTREMA DE CLORO LIVRE.....	211
Resumo.....	211
Abstract.....	212
3.1 Introdução.....	213
3.2 Desenvolvimento.....	216
3.2.1 Material e Métodos.....	216
3.2.2 Resultados e Discussão.....	219
3.2.2.1 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão.....	232
3.3 Conclusões.....	240
Referências.....	241
4 AVALIAÇÃO DE DANOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO SOB DIFERENTES TEMPOS DE CONTATO COM ÁCIDO NÍTRICO.....	243
Resumo.....	243
Abstract.....	244
4.1 Introdução.....	245
4.2 Desenvolvimento.....	246
4.2.1 Material e Métodos.....	246
4.2.2 Resultados e Discussão.....	251
4.2.2.1 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão.....	268
4.2.2.2 Tratamentos químicos da água <i>versus</i> temperatura da água.....	276
4.3 Conclusões.....	294
Referências.....	295
ANEXOS.....	297

RESUMO

Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)

Este projeto de pesquisa foi desenvolvido visando quantificar possíveis distúrbios de vazão em emissores do tipo gotejador (irrigação localizada) submetidos à aplicação de cloro livre e acidificação em condições estática e dinâmica de fluxo de água no sistema. O experimento foi realizado no período de setembro de 2005 a junho de 2006, utilizando-se 14 modelos de gotejadores autocompensantes com suas respectivas linhas gotejadoras montadas em uma bancada de ensaios em estrutura metálica. Os tratamentos utilizados no experimento foram: a) aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0; b) aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0; c) aplicação de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 durante $\frac{1}{2}$ h (sistema pressurizado); d) aplicação de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 durante 12 h (sistema pressurizado). Foram realizadas curvas vazão *versus* pressão para cada tratamento em três diferentes temperaturas da água (15, 25 e 40 °C). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em esquema fatorial, com utilização dos testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. Os resultados obtidos mostram que para o tratamento da água com 100 mg L^{-1} de cloro livre em condição dinâmica, ocorreu um decréscimo de 10 a 20% em média da vazão (L h^{-1}) para alguns modelos de gotejadores mais sensíveis aos produtos químicos, sendo que o modelo I apresentou redução drástica de vazão na ordem de 100% em virtude do bloqueio total do labirinto do emissor, em decorrência do aumento de 112% do volume da membrana após 2688 h de aplicação contínua de cloro. Os tratamentos estáticos não apresentaram variações acentuadas de vazão média (L h^{-1}), coeficiente de variação (%), uniformidade de distribuição (%), Vazão Relativa (%) e Grau de Entupimento (%). Verificou-se relação linear entre a vazão e a temperatura da água para os gotejadores novos, sendo que após a aplicação dos diferentes tratamentos, as curvas vazão *versus* pressão para cada modelo de gotejador sofreram influência tanto da pressão quanto da temperatura de maneira distinta.

Palavras-chave: cloração, acidificação, temperatura, emissores autocompensantes.

ABSTRACT

Chlorine and pH extreme dosages effects on the flow rate of self compensating emitters (drip irrigation)

This research project was developed to quantify possible flow rate variation in emitters (drip irrigation) submitted to the application of free chlorine and acidification under static and dynamics conditions of water flow. The experiment was accomplished in the period of September, 2005 to June, 2006, being analyzed 14 models of pressure compensating emitters set up in a metallic bench. The treatments used in the experiment were the following ones: a) dynamic application of 100 mg L⁻¹ of free chlorine with pH 5,5 to 6,0; b) static application of 100 mg L⁻¹ of free chlorine with pH 5,5 to 6,0; c) application of acid nitric with pH 2,0 to 3,0 during ½ h (pressurized system); d) application of acid nitric with pH 2,0 to 3,0 during 12 h (pressurized system). The operating pressures and emitter model combination were: 50, 100, 200, 300, 400 kPa for emitters A to N, in three different water temperatures (15, 25 and 40 °C). The obtained values of flow rate were used to calculate the CUD, CV, relative flow rate, the percentage of drippers in each flow rate range, and the number of the drippers completely clogged. The statistical analysis of the treatments were accomplished by Tukey test at 5% probability. The obtained results show that for the treatment of the water with 100 mg L⁻¹ of free chlorine in dynamic condition, a reduction from 10 to 20% of the flow rate (L h⁻¹) occurred for some models more sensitive to chemical products. Model I presented drastic reduction of flow rate in the order of 100% by total blockade of the labyrinth of the emitter, due to the increase of 112% of the volume of the membrane after 2688 h of continuous application of 100 mg L⁻¹ of chlorine free with pH 5,5 to 6,0. The static treatments didn't present accentuated variations of medium flow rate (L h⁻¹), variation coefficient (%), distribution uniformity (%), relative flow rate (%) and degree of blockage (%). For pressure compensating emitters, where the discharge sensitivity to temperature is insignificant, after the application of the different treatments, the measured discharge/pressure relationship for each emitter model was sensitive to pressure as well to temperature.

Keywords: chlorination, acidification, temperature, pressure compensating emitters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Processos biológicos de formação de mucilagens.....	52
Figura 2- Sequência da corrosão por pites e obstrução de uma tubulação de ferro por efeito de ferrobactérias e bactérias redutoras de enxofre (BRS)..	53
Figura 3- Exemplos típicos de emissores utilizados em sistema de irrigação por gotejamento.....	67
Figura 4- Influência da temperatura na vazão relativa (Q_r) de diferentes emissores	69
Figura 5- Diferenças geométricas do elastômero sob a ação de diferentes pressões.....	72
Figura 6- Quantidades relativas de ácido de hipocloroso (HOCl) presente em solução em função do pH.....	84
Figura 7- Curva representativa do ponto de inflexão (Break Point) $N = 1 \text{ mg L}^{-1}$	87
Figura 8- Classificação dos emissores segundo seu expoente.....	89
Figura 9- Demonstração do uso de emissores autocompensantes comparado ao uso de emissores não autocompensantes em terrenos declivosos e com linhas laterais longas.....	94
Figura 10- Vazão uniforme na faixa de pressão operacional adequada para emissores autocompensantes (modo operacional).....	96
Figura 11- Curvas de tensão em módulo para EPDM e Silicone.....	99
Figura 12- Gráfico comparativo VernaChlor versus EPDM quanto ao aumento de volume com o tempo.....	100
Figura 13- Foto da bancada de ensaios.....	101
Figura 14- Detalhamento da bancada de ensaios com os cinco níveis.....	102
Figura 15- Foto ilustrativa do térreo da bancada de ensaios, onde foi desenvolvido o experimento de tratamento de choque induzido sob condição forçada.....	102
Figura 16- Esquema geral do experimento.....	104
Figura 17- Detalhamento do dispositivo e parafuso utilizado para sustentação dos tubogotejadores.....	105
Figura 18- Fixação e identificação das linhas gotejadoras na bancada.....	105
Figura 19- Reservatórios 1a e 1b.....	112
Figura 20- Reservatório 2.....	112

Figura 21- Entrada da água no nível e ponto de tomada de pressão.....	113
Figura 22- Recolhimento da água aplicada no final.....	113
Figura 23- Despejo da água aplicada na telha.....	113
Figura 24- Despejo da água aplicada na calha.....	113
Figura 25- Condução da água aplicada até o reservatório 1a.....	113
Figura 26- Condução da água aplicada até o reservatório 2.....	113
Figura 27- Conjunto motobomba.....	114
Figura 28- Vista geral dos equipamentos.....	114
Figura 29- Medidor magnético de vazão.....	114
Figura 30- Filtro e demais acessórios.....	114
Figura 31- Entrada da água na bancada.....	115
Figura 32- Detalhe da conexão das linhas gotejadoras no final.....	115
Figura 33- Coleta da água pelo recipiente.....	117
Figura 34- Leitura do volume de água coletado em peso.....	117
Figura 35- Monitoramento do pH e temperatura da água durante o ensaio.....	117
Figura 36- Proteção lateral da bancada e vestimenta utilizada para manuseio de reagentes.....	122
Figura 37- Equipamentos utilizados para o resfriamento e o aquecimento da água.....	124
Figura 38- Equipamentos utilizados para o monitoramento da pressão de serviço (manômetro digital) e controle automático da temperatura da água durante o ensaio.....	124
Figura 39- Reservatório 2 com membranas imersas.....	127
Figura 40- Detalhe da imersão das membranas.....	127
Figura 41- Rede com as membranas.....	127
Figura 42- Reservatório 2 coberto.....	127
Figura 43- Variação da temperatura e pH da água do reservatório na bancada, durante o período do ensaio.....	128
Figura 44- Variação da vazão média dos gotejadores ($L h^{-1}$) no período do ensaio, utilizando a coleta manual.....	130
Figura 45- Variação da vazão relativa (QR) no período do ensaio.....	138

Figura 46- Variação da uniformidade de distribuição de água (UD), no período do ensaio.....	140
Figura 47- Coeficiente de variação (CV), no período do ensaio.....	142
Figura 48- Correlação entre coeficiente de uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV), no período do ensaio (modelos A a H).....	146
Figura 49- Correlação entre coeficiente de uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV), no período do ensaio (modelos I a N)	147
Figura 50- Curvas vazão versus pressão para 0 h e 152 h (modelos A a N) com aplicação de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25 °C)	148
Figura 51- Curvas vazão versus pressão para 2688 h e 1512 h* (modelos A a N) com aplicação de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25 °C).....	149
Figura 52- Grau de entupimento (GE), no período do ensaio.....	152
Figura 53- Percentual do número total de gotejadores (n = 17) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio.....	154
Figura 54- Percentual do número total de gotejadores (n = 12) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio.....	155
Figura 55- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio.....	156
Figura 56- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio.....	157
Figura 57- Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio.....	158
Figura 58- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio.....	159
Figura 59- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio.....	160
Figura 60- Percentual do número total de gotejadores (n = 10) por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio.....	161
Figura 61- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio.....	162

Figura 62-	Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio.....	163
Figura 63-	Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio.....	164
Figura 64-	Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio.....	165
Figura 65-	Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio.....	166
Figura 66-	Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio.....	167
Figura 67-	Alteração do volume das membranas de compensação, % (25°C), causado pela ação do cloro, no período do ensaio.....	168
Figura 68-	Esquema ilustrativo da alteração de volume da membrana de compensação, pela ação do cloro ao longo do tempo (proposta do autor).....	170
Figura 69-	Volume de solução total aplicado (100 mg L ⁻¹ de cloro livre) nos diferentes modelos de gotejadores ensaiados.....	177
Figura 70-	Comparação da variação de espessura entre as amostras com 0 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre e após 2688 h de aplicação dinâmica para o modelo E (aumento 13x).....	181
Figura 71-	Comparação da variação de espessura entre as amostras com 0 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre e após 2688 h de aplicação dinâmica para o modelo I (aumento 12x).....	181
Figura 72-	Variação de espessura das amostras do modelo E (aumento 50x) com 0 h e 2688 h de aplicação de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre. Detalhe em vermelho e azul, mostrando a diferença de espessura.....	182
Figura 73-	Variação de espessura das amostras do modelo I (aumento 50x) com 0 h e 2688 h de aplicação de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre. Detalhe em vermelho e azul, mostrando a diferença de espessura.....	182
Figura 74-	Aumento de 1000x das amostras do modelo E, submetidas a 0 h e 2688 h de contato com 100 mg L ⁻¹ de cloro livre em solução.....	183

Figura 75- Aumento de 1000x das amostras do modelo I, submetidas a 0 h e 2688 h de contato com 100 mg L ⁻¹ de cloro livre em solução.....	183
Figura 76- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo A (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	187
Figura 77- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo B (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	187
Figura 78- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo C (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	188
Figura 79- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo D (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	188
Figura 80- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo E (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	188
Figura 81- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo F (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	189
Figura 82- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo G (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	189
Figura 83- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo H (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	189
Figura 84- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo I (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	190
Figura 85- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo J (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	190
Figura 86- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo K (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	190
Figura 87- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo L (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	191
Figura 88- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo M (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	191
Figura 89- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo N (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25°C e 40 °C).....	191

Figura 90- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo A (após 1512 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	199
Figura 91- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo B (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	199
Figura 92- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo C (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	199
Figura 93- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo D (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	200
Figura 94- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo E (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	200
Figura 95- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo F (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	200
Figura 96- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo G (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	201
Figura 97- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo H (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	201
Figura 98- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo I (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	201
Figura 99- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo J (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	202
Figura 100- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo K (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	202
Figura 101- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo L (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	202
Figura 102- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo M (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	203
Figura 103- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo N (após 1512 h de aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	203
Figura 104- Linhas gotejadoras envolvidas por tubo de PVC 32 mm, no nível 2 da bancada de ensaios.....	216
Figura 105- Valores de temperatura (°C) e pH medidos durante o período do ensaio.....	219

Figura 106- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio.....	228
Figura 107- Percentual do número total de gotejadores (n = 13) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio.....	228
Figura 108- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio.....	228
Figura 109- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio.....	229
Figura 110- Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio.....	229
Figura 111- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio.....	229
Figura 112- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio.....	230
Figura 113- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio.....	230
Figura 114- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio.....	230
Figura 115- Percentual do número total de gotejadores (n = 12) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio.....	231
Figura 116- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio.....	231
Figura 117- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio.....	231
Figura 118- Percentual do número total de gotejadores (n = 20) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio.....	232
Figura 119- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio.....	232
Figura 120- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo A (após 1344 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	233

Figura 121- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo B (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	234
Figura 122- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo C (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	234
Figura 123- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo D (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	234
Figura 124- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo E (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	235
Figura 125- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo F (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	235
Figura 126- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo G (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	235
Figura 127- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo H (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	236
Figura 128- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo I (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	236
Figura 129- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo J (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	236
Figura 130- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo K (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	237
Figura 131- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo L (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	237
Figura 132- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo M (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	237
Figura 133- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo N (após 1344 h de aplicação estática de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre).....	238
Figura 134- Valores de temperatura (°C) e pH medidos durante o período do ensaio.....	251
Figura 135- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio.....	264

Figura 136- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio.....	264
Figura 137- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio.....	264
Figura 138- Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio.....	265
Figura 139- Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio.....	265
Figura 140- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio.....	265
Figura 141- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio.....	266
Figura 142- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio.....	266
Figura 143- Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio.....	266
Figura 144- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio.....	267
Figura 145- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio.....	267
Figura 146- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio.....	267
Figura 147- Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio.....	268
Figura 148- Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio.....	268
Figura 149- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo A (após 1344 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	269
Figura 150- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo B (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	270

Figura 151- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo C (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	270
Figura 152- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo D (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	270
Figura 153- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo E (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	271
Figura 154- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo F (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	271
Figura 155- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo G (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	271
Figura 156- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo H (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	272
Figura 157- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo I (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	272
Figura 158- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo J (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	272
Figura 159- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo K (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	273
Figura 160- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo L (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	273
Figura 161- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo M (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	273
Figura 162- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo N (após 1344 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h).....	274
Figura 163- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo A comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	280
Figura 164- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo B comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	281

Figura 165- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo C comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	282
Figura 166- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo D comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	283
Figura 167- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo E comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	284
Figura 168- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo F comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	285
Figura 169- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo G comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	286
Figura 170- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo H comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	287
Figura 171- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo I comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	288
Figura 172- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo J comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	289
Figura 173- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo K comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	290
Figura 174- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo L comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	291

Figura 175- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo M comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	292
Figura 176- Curva vazão <i>versus</i> pressão para o modelo N comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C.....	293
Figura 177- Curvas características de bombas de água centrífugas marca KSB, modelo Megabloc 32-160.1R 3500 rpm, modelos Hydrobloc C 1000, C 500 e P 1000.....	301

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Vazão mínima ($L \text{ min}^{-1}$) requerida para descarga em laterais e demais linhas que compõem um sistema de irrigação por gotejamento para uma velocidade linear da água de $0,3 \text{ m s}^{-1}$	46
Tabela 2- Principais elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada.....	47
Tabela 3- Sugestão para classificação da qualidade de água relacionada a seu potencial de entupimento em gotejadores.....	48
Tabela 4- Causas de entupimento ou redução de vazão e relativa porcentagem de ocorrência em emissores de sistemas de irrigação por gotejamento em Yuma, Arizona (Gilbert et al., 1981) ^a	57
Tabela 5- Efeito do tratamento da água no desentupimento de emissores, utilizando água do Rio Colorado, Yuma, Arizona (Gilbert et al., 1981) ^a	58
Tabela 6- Resistência do PVC aos agentes químicos que possuem cloro em sua composição.....	63
Tabela 7- Resistência química de elastômeros.....	65
Tabela 8- Formas básicas e reações do cloro e seus sais.....	85
Tabela 9- Comparação de diferentes formas de cloro.....	86
Tabela 10- Coeficiente de variação de fabricação e expoente de descarga do emissor (x) para vários tipos de emissores. (Adaptado de SOLOMON, 1979).....	89
Tabela 11- Classificação dos valores de UD.....	90
Tabela 12- Classificação do coeficiente de variação de fabricação, conforme Hillel (1982).....	92
Tabela 13- Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores segundo Abreu et al. (1987).....	93
Tabela 14- Recomendação para classificação de emissores, conforme a variação do coeficiente de variação de fabricação (Adaptado de ASAE Standard EP405.1, 1999).....	93
Tabela 15- Principais fabricantes de emissores autocompensantes.....	97

Tabela 16- Características técnicas dos modelos com fluxo autocompensante, vazões, diâmetro nominal ($\varnothing$ N), pressão de serviço, distância entre gotejadores (DEG), design do labirinto, forma do emissor, membrana de compensação, utilizados na pesquisa.....	107
Tabela 17- Análise de variância para testar a significância da regressão.....	109
Tabela 18- Análise da água utilizada no experimento (13/10/2005).....	111
Tabela 19- Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP (24/01/2006).....	111
Tabela 20- Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP (24/04//2006).....	112
Tabela 21- Dados para confecção de curva de titulação para ácido fosfórico 85% P.A. para manutenção do pH na faixa de 5,5 a 6,0.....	121
Tabela 22- Códigos utilizados para identificação das membranas de compensação, conforme as semelhanças apresentadas entre os modelos avaliados.....	126
Tabela 23- Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível 1).....	130
Tabela 24- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos A, B, C, D, E, F e G.	132
Tabela 25- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos H, I, J, K, L, M e N...	133
Tabela 26- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos A a N e testes de média, respectivamente	134
Tabela 27- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A.....	135
Tabela 28- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B.....	135
Tabela 29- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C.....	135
Tabela 30- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D.....	135
Tabela 31- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E.....	135
Tabela 32- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F.....	136

Tabela 33- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G.....	136
Tabela 34- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H.....	136
Tabela 35- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I.....	136
Tabela 36- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J.....	136
Tabela 37- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K.....	137
Tabela 38- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L.....	137
Tabela 39- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M.....	137
Tabela 40- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N.....	137
Tabela 41- Uniformidade de distribuição de água (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.....	143
Tabela 42- Coeficiente de variação (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.....	144
Tabela 43- Coeficientes da equação do emissor para as curvas apresentadas nas Figuras 2.43a, b, c, e vazão média (q_m).....	151
Tabela 44- Volume médio (VM), expresso em % dos modelos de membranas de compensação avaliados, no período do ensaio, e testes de média, respectivamente.....	169
Tabela 45- Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos A a C.....	173
Tabela 46- Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos D a G.....	174
Tabela 47- Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos H a K.....	175
Tabela 48- Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos L a N.....	176
Tabela 49- Volume de solução aplicado (100 mg L^{-1} de cloro livre) no período do ensaio pelos diferentes modelos de gotejadores.....	177

Tabela 50-	Vazão nominal (VN), vazão média (VM), volume de solução de cloro aplicado durante o ensaio (VS_{cloro}), aumento do volume da membrana (AVM) e susceptibilidade do material da membrana (SMM) a danos químicos por cloro (hipoclorito de sódio, 12%).....	179
Tabela 51-	Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ dos gotejadores novos, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente	193
Tabela 52-	Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação dinâmica de 100 $mg L^{-1}$ de cloro livre e temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente.....	204
Tabela 53-	Concentração recomendada de cloro livre na água de irrigação	214
Tabela 54-	Fontes equivalentes de cloro comercial e quantidade necessária para tratamento de 1,233 m^3 (1 acre-ft) de água para obter 1 $mg L^{-1} Cl_2$	215
Tabela 55-	Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível 2).....	220
Tabela 56-	Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G.....	222
Tabela 57-	Vazão média (q_m), expresso em $L h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N.....	223
Tabela 58-	Vazão da linha gotejadora (q_L), expresso em $L h^{-1}$, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N e testes de média, respectivamente.....	224
Tabela 59-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A.....	225
Tabela 60-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B.....	225
Tabela 61-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C.....	225
Tabela 62-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D.....	225
Tabela 63-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E.....	225
Tabela 64-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F.....	226
Tabela 65-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G.....	226

Tabela 66- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H.....	226
Tabela 67- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I.....	226
Tabela 68- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J.....	226
Tabela 69- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K.....	226
Tabela 70- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L.....	227
Tabela 71- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M.....	227
Tabela 72- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N.....	227
Tabela 73- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento químico com aplicação estática de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e $40\ ^\circ C$, e teste de média, respectivamente.....	239
Tabela 74- Características dos principais ácidos comerciais possíveis de serem utilizados para acidificar a água de irrigação.....	245
Tabela 75- Dados para confecção de curva de titulação para ácido nítrico 65% P.A. para manutenção do pH na faixa de 2,0 a 3,0.....	250
Tabela 76- Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível 3).....	252
Tabela 77- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}\ h$ com pH na faixa de 2,0 a 3,0.....	253
Tabela 78- Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}\ h$ com pH na faixa de 2,0 a 3,0.....	254
Tabela 79- Vazão da linha gotejadora (q_L), expresso em $L\ h^{-1}$, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}\ h$ com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e teste de média, respectivamente.....	255
Tabela 80- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A.....	256
Tabela 81- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B.....	256

Tabela 82-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C.....	256
Tabela 83-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D.....	256
Tabela 84-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E.....	256
Tabela 85-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F.....	257
Tabela 86-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G.....	257
Tabela 87-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H.....	257
Tabela 88-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I.....	257
Tabela 89-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J.....	227
Tabela 90-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K.....	227
Tabela 91	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L.....	258
Tabela 92-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M.....	258
Tabela 93-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N.....	258
Tabela 94-	Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0.....	259
Tabela 95-	Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0.....	260
Tabela 96-	Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e teste de média, respectivamente.....	261
Tabela 97-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F.....	262
Tabela 98-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G.....	263
Tabela 99-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J.....	263
Tabela 100-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L.....	263
Tabela 101-	Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M.....	263

Tabela 102-	Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente.....	275
Tabela 103-	Planilha utilizada para leitura individual dos gotejadores em cada linha gotejadora, para cada um modelos de gotejadores ensaiados na bancada de ensaios.....	298
Tabela 104-	Planilha utilizada para leitura da vazão das linhas gotejadoras com o medidor magnético de vazão.....	299
Tabela 105-	Planilha utilizada para avaliação do volume das membranas de compensação dos modelos de gotejadores ensaiados.....	300
Tabela 106-	Propriedades físicas da água doce, à pressão atmosférica ($g = 9,81\ m\ s^{-2}$)	302
Tabela 107-	Dados utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão para 0 h com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	303
Tabela 108-	Coeficiente de variação dos dados utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão para 0 h com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	303
Tabela 109-	Dados utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão para 1152 h com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	304
Tabela 110-	Vazão média utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão para 2688 h com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	304
Tabela 111-	Coeficiente de variação dos dados utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão para 2688 h com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	305
Tabela 112-	Graus de entupimento (GE), expresso em percentagem, para os modelos de gotejadores avaliados, no período do ensaio com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).....	306

Tabela 113-	Vazão média ($L\ h^{-1}$) à temperatura 15 °C utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	307
Tabela 114-	Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 15 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	307
Tabela 115-	Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 15 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	308
Tabela 116-	Vazão média ($L\ h^{-1}$) à temperatura 25 °C utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	308
Tabela 117-	Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 25 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	309
Tabela 118-	Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 25 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	309
Tabela 119-	Vazão média ($L\ h^{-1}$) à temperatura 40 °C utilizados para a confecção das curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	310
Tabela 120-	Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	310
Tabela 121-	Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão (gotejadores novos).....	311
Tabela 122-	Coeficiente de variação de vazão (CV , %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre.....	311
Tabela 123-	Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre.....	312
Tabela 124-	Coeficiente de variação de vazão (CV , %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre por $\frac{1}{2}$ h.....	312
Tabela 125-	Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre por $\frac{1}{2}$ h.....	313

Tabela 126- Coeficiente de variação de vazão (CV, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h.....	313
Tabela 127- Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão <i>versus</i> pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h.....	314
Tabela 128- Exemplo de vazões coletadas ao longo da linha lateral dos emissores E e I durante o ensaio com aplicação dinâmica de 100 mg L ⁻¹ de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0.....	314
Tabela 129- Coeficientes da equação do emissor para as curvas apresentadas nas Figuras 2.68 a 2.81.....	315
Tabela 130- Intervalos de confiança para parâmetros da regressão dos dados apresentados nas Figuras 2.68 a 2.81.....	316

LISTA DE SÍMBOLOS

- β_0 - Intercepto na equação de regressão
- β_1 - Coeficiente angular na equação de regressão
- e - Base de logaritmos naturais
- ε - Erro aleatório.
- GL - Graus de liberdade
- H_0 e H_1 - Teste da hipótese
- NE - Número de emissores na linha gotejadora
- q_L - Vazão da linha gotejadora ($L h^{-1}$)
- q_m - Vazão média do gotejador ($L h^{-1}$)
- QM_E - Quadrado médio devido à variação residual
- QM_R - Quadrado médio devido à regressão
- R^2 - Coeficiente de determinação
- R^2_{ajust} - Coeficiente de determinação ajustado
- S_{HfQ} - Erro padrão de estimativa
- σ^2 - Variância
- SQ_E - Soma dos quadrados devido à variação residual
- SQ_R - Soma dos quadrados devido a regressão
- SQ_T - Soma total dos quadrados
- S_{xy} - Numerador da equação
- Teste F - Testes ou provas de significância para análise de variância
- VM - Volume da membrana de compensação em percentagem
- AVM - Aumento de volume da membrana de compensação
- CV - Coeficiente de variação de vazão
- CV_f - Coeficiente de variação de fabricação
- UD - Uniformidade de distribuição de água

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho de pesquisa é apresentado em capítulos visando facilitar a compreensão dos assuntos analisados nos diferentes experimentos conduzidos em laboratório.

Na Introdução geral é apresentada inicialmente uma revisão de literatura abrangente, enfocando o estado da arte sobre a questão de entupimento na irrigação por gotejamento, sendo apresentados também os objetivos deste trabalho.

No capítulo 1 é apresentada a avaliação de danos químicos em membranas de compensação de gotejadores, causado pela aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre.

No capítulo 2 é apresentada a avaliação de danos químicos em membranas de compensação de gotejadores, causado pela aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre.

No capítulo 3 é apresentada a avaliação de danos químicos em membranas de compensação de gotejadores, causado pela aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0.

Em regiões onde a precipitação pluvial não é suficiente para atender às necessidades hídricas das culturas, ou mesmo onde ela é suficiente, mas irregularmente distribuída ao longo do ano, a aplicação da irrigação torna-se necessária ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas.

A irrigação por gotejamento possibilita manter a umidade do solo na zona radicular próximo da capacidade de campo, com a aplicação de pequenas vazões e elevada frequência, aplicações de fertilizantes via água de irrigação, baixas pressões e altas eficiências, geralmente superior a 90%, possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (BERNARDO, 2006; LEITE, 1995; RESENDE, 1999).

Segundo Azevedo (1986), a irrigação localizada compreende a aplicação da água em apenas uma fração do sistema radicular das plantas. A área molhada não deve ser superior a 55% da área sombreada pela planta, enquanto que a área mínima molhada é de 20% nas regiões úmidas e 30% nas regiões de clima semi-árido.

A irrigação por gotejamento apresenta vantagens como: 1) maior eficiência no uso da água, com menores perdas por evaporação (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006); 2) maior produtividade, principalmente para culturas que respondem a menores variações dos níveis de umidade no solo (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006); 3) utilização de pequenos mananciais, isto porque o sistema de irrigação por gotejamento aplica pequenas vazões em

períodos reduzidos de tempo (VIEIRA, 1983) e 4) pode ser utilizada em diferentes tipos de solos e topografia, porque a aplicação da lâmina d'água é feita em pequena intensidade (KELLER; BLIESNER, 1990).

Na irrigação localizada, vários fatores podem comprometer a uniformidade de distribuição de água, tais como a desuniformidade dos emissores devido a processos de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema, bem como o entupimento dos emissores, causado pelas partículas minerais ou orgânicas presentes na água.

Problemas de desuniformidade de vazão também estão associados à diminuição da vazão nominal do gotejador, devido às obstruções provocadas pela precipitação de CaCO_3 nos reduzidos diâmetros dos condutos e bocais dos emissores e pela lenta velocidade de escoamento, ou pelo aumento da vazão nominal do gotejador, devido à deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores autocompensantes, assim como pela deterioração da mesma (GILBERT et al., 1981).

O entupimento de emissores é relacionado diretamente à qualidade da água de irrigação que inclui fatores como carga de partícula suspensa, composição química, e tipo microbiano e população da mesma.

No sistema por gotejamento, a qualidade da água deve ser observada, pois, ela escoar por orifícios de pequenos diâmetros e com velocidade de escoamento lenta, podendo causar obstrução devido à deposição do material que carrega em suspensão. O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, pois dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e a limpeza ou substituição dos emissores entupidos é onerosa (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

São conhecidos três tipos de processos de obstrução, o físico, que está relacionado a sedimentação de partículas que vêm em suspensão na água; o químico, que está relacionado com a precipitação de substâncias diluídas na água e o biológico, que está associado ao desenvolvimento de microorganismos no interior das instalações (PIZARRO, 1996).

Para o tratamento de recuperação dos emissores, existem produtos que removem o limo (biofilme) aderido às paredes das tubulações e gotejadores, deixando, assim, a passagem de água novamente livre.

Para a minimização do entupimento são sugeridas diversas técnicas na literatura. Entre as práticas mais usuais estão a filtração e a cloração. O conjunto de medidas adotadas visando

reduzir ou evitar o entupimento de emissores irá variar em função da fonte causadora do entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação e o monitoramento da qualidade da água são essenciais para prevenir o entupimento.

De modo geral, uma das medidas mais utilizadas, é o tratamento químico da água, com o uso da acidificação e a cloração para controlar o entupimento de origem biológica.

A cloração pode ser contínua ou intermitente. No entanto, deve-se selecionar um método adequado à necessidade de cada sistema. A aplicação contínua é feita utilizando-se baixas dosagens de cloro (1 a 10 mg L^{-1} de cloro livre), e a intermitente pode ser efetuada utilizando-se aplicações de choque, fazendo uso de altas dosagens de cloro (acima de 100 mg L^{-1}), na última meia hora ou uma hora de irrigação, deixando o sistema hidráulico desativado por pelo menos 12 horas (NAKAYAMA; BUCKS, 1991). De modo geral, o tratamento com utilização combinada de ácido e cloro apresenta vantagens, em relação ao uso exclusivo de ácidos ou cloro, tanto em termos de efetividade como também de economicidade, sendo que o tratamento com ácido é normalmente efetuado com frequência semanal, utilizando-se o mesmo tempo da aplicação do cloro.

1.1 Influência da velocidade da água em obstruções de emissores

O entupimento de emissores influi diretamente na uniformidade de distribuição do sistema, sendo necessária uma avaliação periódica. A maior parte de sedimentos que acumulam nas linhas de distribuição do sistema de irrigação, começam com partículas pequenas que se unem para causar problemas de entupimento. Estas partículas pequenas são suficientemente leves para serem suspensas e serem transportadas pela água corrente quando a velocidade da água é alta. Porém, a velocidade de fluxo da água em um sistema de irrigação por gotejamento decresce com a descarga de água ao longo da tubulação, especialmente ao longo das linhas laterais. Desta forma, a vazão no final das linhas laterais é reduzida, contribuindo para que nos últimos emissores onde a velocidade da água é baixa, acumule sedimentos. Como resultado, o problema de entupimento de emissores é mais evidente nos finais das linhas laterais.

A Tabela 1 apresenta para os diferentes diâmetros de tubulações utilizados para a montagem de um sistema de irrigação por gotejamento, a vazão mínima (L min^{-1}) requerida para velocidade da água nas linhas de $0,3 \text{ m s}^{-1}$.

Tabela 1 – Vazão mínima (L min^{-1}) requerida para descarga em laterais e demais linhas que compõem um sistema de irrigação por gotejamento para uma velocidade linear da água de $0,3 \text{ m s}^{-1}$

Diâmetro nominal (mm)	Vazão requerida para $0,3 \text{ m s}^{-1}$ (L min^{-1})	Diâmetro nominal (mm)	Vazão requerida para $0,3 \text{ m s}^{-1}$ (L min^{-1})
13	3,2	76	91,6
19	6,1	102	151
25	10,2	152	328
38	16,9	203	556
51	27,0	254	864
64	42,2	305	1216
76	61,8	-----	-----

Nota: Tubulação com diâmetro inferior a 51 mm, assumiu-se sendo tubos de polietileno, enquanto para os diâmetros superiores a 51 mm referem-se a tubos de PVC.

Fonte: Nakayama e Bucks (1991).

Trabalhos realizados na África do Sul por Koegelenberg e Reinders (2002) com sistemas de irrigação por gotejamento que utilizam emissores autocompensantes mostraram uma tendência geral de vazão aumentada, possivelmente devido a sedimentos que aderiram entre a membrana de compensação e o labirinto, resultando em um regulamento ineficaz da vazão, sendo que também foram observados emissores autocompensantes perfurados.

Souza; Cordeiro e Costa (2006) estudando um modelo de gotejador autocompensante com dois anos de uso, operando com água contendo $1,7 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro total e que apresentavam em campo, vazão média superior à vazão nominal do modelo, observaram o uso do tratamento químico da água com 150 mg L^{-1} de cloro livre (hipoclorito de sódio, 12%) para recuperação da vazão nominal dos gotejadores e melhoria da uniformidade de distribuição de água, sendo que após quatro aplicações do tratamento químico os sistemas foram avaliados em quatro diferentes pressões de funcionamento, todas dentro da faixa recomendada para o modelo, a fim de se estimar possíveis danos provocados pela utilização de produtos químicos à membrana de compensação. Os autores observaram que as vazões ficaram muito abaixo da vazão nominal nas pressões abaixo de 200 kPa e com pequena variação a partir desta pressão, fato que pode indicar algum possível dano à membrana de compensação, o que é condizente com Nakayama; Bucks e French (1977), que afirmam que doses superiores a 100 mg L^{-1} podem causar danos à membrana de compensação de pressão. Desta forma, Souza; Cordeiro e Costa (2006) afirmam a importância

de uma avaliação em gotejadores novos para verificar especificamente a ocorrência de danos à membrana de compensação, como forma de comprovar os resultados obtidos em seus estudos.

1.2 Problemas de obstruções de emissores

Segundo Nakayama e Bucks (1991) são diversas as causas que podem provocar o entupimento parcial ou a completa obstrução dos emissores e tubulações, prejudicando o fluxo de água e a distribuição da mesma ao longo da linha principal, derivação e principalmente nas laterais, reduzindo, conseqüentemente, a eficiência do sistema. As causas são: areia, silte, argilas, fitoplâncton, algas, zooplâncton, larvas e ovos de lesmas, bactérias, plásticos (oriundos do corte de tubulações durante instalação e manutenção do sistema), resíduos lubrificantes (oriundos por falta de manutenção adequada no conjunto motobomba), ação de bactérias (oxidando ferro, manganês e enxofre) e precipitados (carbonato, fosfato, hidróxidos) por uso de fertilizantes que aumentam a alcalinidade da água de irrigação. Resumidamente, todas as causas citadas estão compreendidas na combinação de material suspenso, precipitação química e crescimento biológico em bombas d'água, linhas de irrigação e emissores (ADIN, 1986).

As obstruções dos emissores podem ser causadas por agentes físicos, químicos e biológicos (Tabela 2). A determinação da causa dessas obstruções pode ser complexa pelo fato de os vários agentes na água interagindo entre si, agravando o problema, sobretudo se for considerada a natureza dinâmica dos parâmetros de qualidade de muitas águas (RAVINA et al., 1992).

Tabela 2 – Principais elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada

Físicos		Químicos		Biológicos	
(Sólidos em suspensão)		(Precipitação)		(Bactérias e Algas)	
1.	Partículas inorgânicas	1.	Carbonato de Ca e Mg	1.	Filamentos
	a. Areia	2.	Sulfato de cálcio	2.	Lodo
	b. Silte	3.	Metais pesados:	3.	Depósitos microbiológicos
	c. Argila	a.	óxidos	a.	Ferro
	d. Plásticos	b.	hidróxidos	b.	Enxofre
2.	Partículas orgânicas	c.	carbonatos	c.	Manganês
		d.	silicatos	4.	Organismos aquáticos
		e.	sulfetos		
		4.	Óleos e outros lubrificantes		
		5.	Fertilizantes:		

Fonte: Ayers e Westcot (1991).

Segundo Pizarro (1996), não se dispõe de um método para avaliar com segurança o risco de obstruções ocasionado pelo uso de uma determinada água de irrigação, isto porque alguns fatores que interferem são variáveis, como o caso da temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microorganismos, enquanto, outros dependem de produtos adicionados, principalmente fertilizantes. No entanto, é interessante dispor de alguma orientação do tipo quantitativo. Bucks; Nakayama e Gilbert (1979) propuseram uma classificação de qualidade de água para determinar o risco de entupimento dos emissores, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Sugestão para classificação da qualidade de água relacionada a seu potencial de entupimento em gotejadores

Problemas		Unidades	Grau de restrição de uso		
			Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Físico	Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	<50	50 - 100	>100
	pH	mg L ⁻¹	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
	Sólidos solúveis	mg L ⁻¹	<500	500 - 2.000	>2.000
Químico	Manganês	mg L ⁻¹	<0,1	0,1 - 0,5	>1,5
	Ferro	mg L ⁻¹	<0,1	0,1 - 0,5	>1,5
	Ácido sulfídrico	mg L ⁻¹	<0,5	0,5 - 2,0	>2,0
Biológico	Populações bacterianas	Nº máx. m L ⁻¹	<10.000	10.000 - 50.000	>50.000

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

Geralmente, as obstruções causam diminuição da vazão dos emissores, por outro lado, existem alguns modelos de emissores nos quais ocorre o oposto. Ravina et al. (1992), trabalharam com emissores autocompensantes e não autocompensantes e observaram aumento da vazão no início do processo de entupimento, em ambos os tipos. Cordeiro (2002) e Souza (2002) constataram aumento da vazão de gotejadores Netafim RAM 17 após dois anos de operação, o que alterou a uniformidade de distribuição de água do sistema e, conseqüentemente, reduziu a eficiência do uso da água. Este mesmo comportamento foi observado por Resende; Coelho e Piedade (2000), com os gotejadores Netafim RAM e Dripline, no qual, o aumento da vazão, pode estar associado ao primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, o que pode alterar o regime do escoamento. Em modelos autolimpantes, o mecanismo de auto-limpeza é projetado para expelir qualquer partícula que possa causar o entupimento, pelo incremento da pressão diferencial, que faz com que o diafragma aumente, momentaneamente, o volume do corte

transversal da saída de água para expulsar a sujeira do sistema. Como a mucilagem formada por ferrobactérias se adere fortemente às paredes internas dos gotejadores, este aumento de volume pode ser contínuo, o que também explicaria o aumento de vazão (SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

1.3 Obstruções causadas por precipitações químicas

As precipitações químicas ocorrem devido a mudanças no pH, na temperatura, na concentração de oxigênio dissolvido e na concentração relativa de outras substâncias na solução, causando obstruções que são formadas gradualmente e, portanto, são mais difíceis de detectar (PITTS; HAMAN; SMAJSTRLA, 1990).

De acordo com Pizarro (1996) e Leite (1995) os precipitados químicos podem ser produzidos quando as condições iniciais da água são modificadas como pH, temperatura, sólidos dissolvidos totais e, sobretudo, a evaporação da água nos emissores após cada irrigação, o que aumenta a concentração dos sais dissolvidos que se precipitam ao superar o limite de solubilidade.

Segundo Michalakos et al. (1997), nas águas superficiais que contêm ferro, este é geralmente encontrado na forma de precipitado (Fe_2O_3), enquanto nas camadas mais profundas de reservatórios com carência de oxigênio pode ser encontrado no estado ferroso (FeO), dissolvido.

Nas águas provenientes de lençóis freáticos, com presença de ferro, este se encontra na forma ferrosa e quando bombeado para a superfície, entra em contato com o oxigênio atmosférico, oxidando-se e produzindo um precipitado castanho-avermelhado (VERMEIREN; JOBLING, 1997).

O ferro precipitado pode ser arrastado pela água, saindo pelo emissor, ou pode ser retido por filamentos de bactérias, contribuindo para formar uma massa gelatinosa de cor avermelhada, que obstrui a passagem da água. As bactérias podem aderir ao plástico ou ao metal, o que impede seu arraste pela água. Outras bactérias não-filamentosas, como *Enterobacter* e *Pseudomonas*, também podem precipitar o ferro e reter o precipitado na massa gelatinosa formada por elas, criando uma mucilagem que pode obstruir os emissores, atuando também como cimentante de pequenas partículas minerais (PIZARRO, 1996).

Bucks; Nakayama e Gilbert (1979) estabeleceram que, para ser utilizada sem restrição na irrigação, a água deve apresentar uma concentração de ferro menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. A utilização de águas com teor de ferro maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, em sistemas de irrigação por gotejamento, possui severas restrições devido o alto risco de entupimento de gotejadores.

Tem sido comprovado que as concentrações de ferro a partir de $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ são suficientes para que se produzam depósitos visíveis de hidróxidos férricos e que, em águas de irrigação, elas passam a ser problemáticas a partir de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (PIZARRO, 1996).

1.4 Obstruções causadas por problemas biológicos

Os constituintes biológicos da água, (bactérias e algas) mesmo sendo menores que o orifício do gotejador podem causar entupimento dos gotejadores, pois se combinam com partículas de silte e argila formando aglomerados e também podem causar precipitação de manganês, ferro e enxofre (PITTS; HAMAN; SMAJSTRLA, 1990).

O entupimento devido a causas biológicas é o mais comprometedor em sistemas de irrigação localizada, cuja água contém fragmentos orgânicos e ferro ou sulfeto de hidrogênio. Algas em águas superficiais podem adicionar carbono orgânico ao sistema, favorecendo o desenvolvimento de limo nas paredes das tubulações. A combinação de fertilizantes e o aquecimento da água nas tubulações de cor preta, também, podem promover o crescimento de limo (GILBERT; FORD, 1986).

Segundo Pizarro (1996), a presença de algas provoca vários tipos de problemas, principalmente nos filtros, onde se acumulam, dificultando a passagem da água, o que obriga a retrolavagem freqüente. Salvo algumas algas filamentosas, esses microrganismos não se desenvolvem no interior dos tubos, porém os resíduos de algas mortas que atravessam os filtros constituem um alimento para as bactérias, que podem crescer em ausência de luz.

De acordo com Videla (2003), a biocorrosão causada por bactérias oxidantes do ferro se deve a um grupo heterogêneo de microrganismos (bactérias do gênero *Gallionella*, *Sphaerotillus*, *Crenothrix* entre as mais freqüentes) que têm em comum a capacidade de oxidar o íon ferroso (Fe^{2+}) a férrico (Fe^{3+}) que serve como fonte primária de energia para essas bactérias. O produto dessa oxidação é geralmente hidróxido férrico insolúvel ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). As bactérias criam um limo de cor vermelho, amarelo ou bronzeado, formando agregados coloridos chamados ocre. A espécie

Sphaerotilus gera formações de envoltura e depósitos de ferro ao redor do tubo, formando um tapete espesso, enlodado, deixando o tubo incrustado com depósitos de ferro. Estas formações podem se tornar severas nas paredes do tubo, ocasionando mudanças de pressão, temperatura, fluxos, etc., e contribuindo para o entupimento dos emissores. Outra ferrobactéria a *Gallionella*, forma talos ou tiras de ferro que são depositados ao redor do organismo através de secreções. Este depósito pode apanhar partículas rapidamente suspensas, e assim aumentar a fonte de alimento que resulta em um crescimento exponencial da colônia.

O entupimento de emissores causado por bactérias que oxidam o ferro apresentam um difícil controle. Até mesmo concentrações férreas muito pequenas (menos de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$) são suficientes para prover o crescimento bacteriano que geralmente aparece avermelhado. Estas bactérias oxidam o ferro da água de irrigação como uma fonte de energia. A precipitação do ferro e o rápido crescimento das bactérias criam um material volumoso que pode entupir um sistema de irrigação por gotejamento completamente em questão de algumas semanas.

O desenvolvimento de microrganismos no interior das instalações é um fenômeno complexo, resultante da interação dos próprios microrganismos com outros fatores, tais como a qualidade da água de irrigação que contém ferro e H_2S , além do pH, temperatura da água, transparência dos materiais da tubulação, dentre outros.

Um dos exemplos mais freqüentes de biocorrosão causada por ferrobactérias é encontrada em tubulações de ferro fundido utilizadas para distribuição de água potável e para irrigação, em que excrescências tuberculares, formadas na parede interna das tubulações, são constituídas principalmente por hidróxido férrico associado a outros compostos de ferro, cálcio e manganês.

A Figura 1 apresenta uma descrição esquemática dos processos químicos e microbiológicos de formação e crescimento de mucilagens.

Figura 1 – Processos biológicos de formação de mucilagens

Fonte: Videla (2003).

O início e o desenvolvimento do ataque corrosivo por aeração diferencial, que pode chegar a obstruir totalmente a tubulação ou a perfurar a parede, foram descritos graficamente (Figura 2) por Chantereau (1980), citados por Videla (2003).

Figura 2 – Sequência da corrosão por pites e obstrução de uma tubulação de ferro por efeito de ferrobactérias e bactérias redutoras de enxofre (BRS)

Fonte: Videla (2003).

Igualmente problemáticas são as massas mucilaginosas, formadas pelas ferrobactérias filamentosas. Essas mucilagens crescem rapidamente, mesmo em águas que contêm nível muito baixo de ferro, e são especialmente problemáticas em águas com substâncias orgânicas adstringentes (tipo taninos), solúveis e escuras, as quais servem de alimento para as bactérias (AYERS; WESTCOT, 1991).

O pH, a temperatura e a presença de carbono orgânico na água são fatores que influenciam o crescimento das bactérias responsáveis pelas obstruções. Embora a maioria das bactérias tenha exigência de um nível ótimo de pH, muitas se desenvolvem em pH entre 3,5 e 8,5, motivo pelo qual o problema não é resolvido pela simples alteração do pH da água. A

temperatura ideal varia de 20 a 30° C, mas as bactérias continuam a crescer com menos velocidade em temperaturas fora desta faixa (PIZARRO, 1996).

1.5 Medidas preventivas para controle de obstruções

Muitos estudos de campo mostraram que o entupimento de emissores pode ser a causa principal da variação de descarga do emissor dentro de um sistema de irrigação por gotejamento (PITTS et al., 1996b). Outras condições como construção do emissor, temperatura de água, e envelhecimento do emissor também pode causar variações de vazão. A operação do sistema com respeito ao dia ou ano, temperatura da água, variações na qualidade da água, e adição química, diferentes para cada tratamento de água, afeta o entupimento de emissores e a variabilidade de uniformidade de aplicação de água no sistema. A manutenção preventiva continua sendo a melhor solução para reduzir ou eliminar o aparecimento de problemas de entupimento de emissores.

A luta contra as obstruções compreende dois tipos de medidas: as preventivas, que incluem filtragem da água, inspeção do campo, lavagem das linhas laterais e tratamento químico da água. A lavagem das linhas laterais pode ajudar a minimizar a formação de sedimentos, e junto com o tratamento químico da água melhorar o desempenho a longo prazo de um sistema de irrigação por gotejamento (PIZARRO, 1996).

No tratamento preventivo com cloro, deve-se permitir que, no emissor mais distante, a água saia com uma concentração de cloro livre entre 0,5 e 1,0 mg L⁻¹, durante pelo menos 45 minutos. Se o tempo for menor, não há segurança em relação ao efeito bactericida. Se a concentração for menor, o efeito pode ser inverso, visto que quantidades insuficientes de cloro podem estimular o rápido crescimento de bactérias. É importante que seja medido o cloro livre, e não o cloro total (PIZARRO, 1996).

Cordeiro (2002) aplicou continuamente na concentração de 0,5 a 1,0 mg L⁻¹ de cloro livre em um sistema de gotejamento montado com cinco diferentes modelos de gotejadores, abastecido com água com teor de ferro em torno de 3,0 mg L⁻¹. O autor utilizou associado à cloração, aeração e decantação como medida preventiva. Após 300 horas de funcionamento, não foi observada redução significativa de vazão em nenhum modelo testado.

1.5.1 Filtragem

Diferentes tipos de filtros têm sido usados para minimizar os problemas de entupimentos. A maioria deles está baseado no mecanismo de filtragem cujos os poros do filtro (tela) são menores que a maioria das partículas que estão sendo filtradas (SEKULOV, 1982).

Matsura; Testezlaf e Almeida Neto (1989) citam que o objetivo da filtração da água é remover sólidos em suspensão, em função da necessidade de utilização da água, evitando assim a obstrução dos emissores e a desuniformidade de distribuição de água às culturas irrigadas.

A filtração da água pode ser realizada através de vários tipos de filtros usados individualmente ou agrupados de forma a se obter uma melhor eficiência na remoção de impurezas (PHILLIPS, 1993).

Dentre os vários tipos de filtros destacam-se os filtros de areia, os filtros hidrociclone, os filtros de tela e disco.

1.5.2 Tratamento químico da água

O tratamento químico da água compreende a adição de compostos de cloro e/ou ácido no interior das tubulações, com o objetivo de prevenir ou controlar as obstruções dos emissores do sistema, causadas por organismos vivos ou precipitados químicos, respectivamente.

As obstruções dos emissores causados por precipitados químicos podem ser prevenidas provocando a precipitação destes elementos antes do sistema de filtragem ou com a aplicação de ácido para reduzir o pH da água e mantê-los em solução. Estes elementos são solúveis em estado reduzido e ao oxidar-se precipitam. O cloro e os ácidos são os produtos mais utilizados, tanto como medida preventiva quanto para recuperar emissores obstruídos (JAMES, 1988).

Costa (2000), trabalhando com gotejadores de cinco diferentes fabricantes, abastecidos com água contendo um teor de ferro de $3,0 \text{ mg.L}^{-1}$ observou, após 200 horas de funcionamento, redução de vazão que variou de 34 a 87 %, o que confirma a necessidade de um pré-tratamento para utilização de água contendo altos teores de ferro.

Uma outra forma de obter a oxidação do ferro consiste em arejar a água por meio de saltos, bandejas, sistemas mecânicos em tanques abertos, ou injetando ar na água para induzir à oxidação e precipitação do ferro. Uma vez precipitado, o ferro pode ser separado por meio de

filtros. No entanto, ambos os processos devem ser avaliados sob o ponto de vista econômico (PIZARRO, 1996). Aliados à aeração, os tanques de sedimentação, são uma solução simples e econômica para eliminação desses precipitados, bem como de sólidos em suspensão, como areia, silte e argila. Nakayama e Bucks (1991) salientam, entretanto, que este ambiente pode favorecer o desenvolvimento de microorganismos.

1.6 Recuperação dos emissores

A recuperação de emissores entupidos por microorganismos é difícil. Quando os gotejadores são desmontáveis, se pode desobstruí-los manualmente, porém o custo desta operação pode ser maior que o do sistema de irrigação. Padmakumari e Sivanappan (1985) avaliaram o uso de hipoclorito de sódio a 500 mg L^{-1} , sulfato de cobre a 1% e ácido clorídrico a 2% para a recuperação de gotejadores entupidos e observaram que o tratamento com hipoclorito de sódio foi o mais efetivo para aumentar a vazão dos emissores. Com gotejadores parcialmente entupidos, Pizarro (1990) recomenda a aplicação de 250 a 500 mg L^{-1} de cloro durante 12 h, seguida de uma lavagem com água em alta pressão.

Um estudo realizado por Gilbert et al., (1981) no Arizona usando a água do rio Colorado compara a efetividade de vários tratamentos de água para prevenir o entupimento de emissores em termos do número de emissores que operam a menos que 50% da taxa de vazão nominal ao término do experimento (Tabela 4 e 5).

Tabela 4 – Causas de entupimento ou redução de vazão e relativa porcentagem de ocorrência em emissores de sistemas de irrigação por gotejamento em Yuma, Arizona (GILBERT et al., 1981)^a

Causas de Entupimento	Ocorrência (%)	
	Individual	Total
<u>Fatores físicos</u>		
Grãos de areia	17	
Partículas de plásticos	26	
Sedimentos	2	
Partes do corpo de insetos e animais	3	
Membranas de compensação de pressão deformadas ^b	7	55
<u>Fatores biológicos</u>		
Limo microbiano	11	
Raízes de planta e algas	3	14
<u>Fatores químicos</u>		
Precipitados de carbonatos	2	
Precipitados de ferro-mangânês	0	2
<u>Fatores combinados</u> ^c		
Físico/biológico	8	
Físico/químico	2	
Químico/biológico	6	
Físico/biológico/químico	2	18
<u>Não-detectáveis (provavelmente físicos)</u>		11

^a Os resultados são representativos de oito sistemas de irrigação por gotejamento e quatro tratamentos de água (C, D, E, e F, Tabela 10), sendo os mesmos operados por mais de 4 anos. Havia 1220 emissores instalados nestes tratamentos de água, e 119 com fluxo reduzido ou condições entupidas (50% de fluxo projetado) foram dissecados e analisados em microscópio para verificar as causas de reduções de fluxo.

^b Discos de borracha de silicone estavam deformados por tratamento da água com cloro e ácidos (D e E, Tabela 10) restringindo a vazão dos emissores.

^c As observações indicaram que a provável causa inicial da redução de fluxo era um fator físico, seguido pelo desenvolvimento de fatores biológicos e químicos. Os principais fatores físicos envolvidos foram grãos de areia e partículas de plástico.

Somente o uso de filtros de tela foi inadequado, apresentando 68% dos emissores entupidos (Tabela 5). Em contraste, uma combinação de filtros de areia e de tela (Tratamento C) reduziu a incidência de entupimento para 23%, e o tratamento químico da água (Tratamentos D, E, e F) reduziu mais ainda. Os emissores funcionaram melhor com aplicação contínua de ácido sulfúrico (Tratamento F), onde ocorreram somente 8% de entupimento. Estes resultados indicam que o tratamento mais eficiente para prevenção de entupimento de emissores nas condições encontrada foi a acidificação contínua para controle do pH e prevenção da formação de carbonatos e precipitados. Porém, tal tratamento somente será efetivo quando seguido do uso de

filtros de areia e tela. Uma combinação de tratamento contínuo (1 mg L^{-1}) ou tratamento intermitente (10 mg L^{-1}) com cloro e ácido sulfúrico também foram efetivos na redução de entupimento de emissores.

Tabela 5 – Efeito do tratamento da água no desentupimento de emissores, utilizando água do Rio Colorado, Yuma, Arizona (GILBERT et al., 1981)^a

Trat. água	Filtração	Químico	Nº. Emissores entupidos	Emissores entupidos (%)
A	Tela (50 mesh)	Nenhum	205	68
B	Tela (50 mesh)	Aplicação intermitente de cloro ^c (10 mg L^{-1}) e ácido ^d (baixar pH para 7)	205	68
C	Areia (Sílica Nº. 20) + Tela (20 mesh)	Nenhum	68	23
D	Igual ao Trat. C	Igual ao Trat. B	53	18
E	Igual ao Trat. C	Aplicação contínua de cloro (1 mg L^{-1}) e ácido (baixar pH para 7)	41	14
F	Igual ao Trat. C	Aplicação contínua de ácido (baixar pH para 7)	25	8
Total =			597	33

^a Observações coletadas para cada 300 emissores e oito projetos diferentes com um total de 1800 emissores.

^b Emissores entupidos e parcialmente entupidos com vazão menor que 50% da vazão nominal.

^c Cloro residual livre

^d Ácido sulfúrico.

Nakayama; Bucks e French (1977), recuperaram emissores obstruídos por lodo biológico com aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre por 24 horas e adição de ácido sulfúrico para baixar o pH para 2. Antes do tratamento a vazão média dos gotejadores era inferior a 50 % da vazão nominal, após o tratamento 90 a 95%.

1.7 Custos dos equipamentos para tratamento da água de irrigação

A irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, ou seja, o sistema é constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área, não havendo movimentação das linhas laterais. Contudo, somente determinado número de linhas laterais funciona por vez, a fim de minimizar a capacidade do cabeçal de controle (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Em se tratando de sistemas fixos, o custo torna-se mais elevado, o que limita seu uso somente para culturas nobres, ou seja, culturas com alta capacidade de retorno. Também o número de emissores por unidade de área afeta o custo do sistema, isto é, quanto maior for o espaçamento entre plantas, maior será o espaçamento entre emissores e menor será o custo do sistema (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). Nessas condições, a irrigação localizada somente é usada em fruteiras, cafeicultura e alguns hortigranjeiros de maior valor comercial.

O bom desempenho dos sistemas de irrigação localizada deve ser maximizado, a fim de assegurar uma relação custo/benefício favorável. Portanto se os emissores entopem em um curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação irão adicionar custos na manutenção do sistema, além de que podem não ser tão eficientes em algumas circunstâncias (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979).

Para se ter um bom controle dos custos se deve considerar o correto dimensionamento dos equipamentos e sua eficiência. Isto determina os custos variáveis, que a longo prazo tem a maior incidência no custo total.

Para o custo total de um projeto de irrigação por gotejamento não se deve considerar somente o investimento para aquisição do equipamento, como também outros custos de projeto como: rede elétrica, equipamento de fertirrigação e outras obras de captação.

É importante ressaltar que o custo por hectare de um sistema de irrigação por gotejamento poderá variar conforme a distância do ponto de captação, tamanho da área, lâmina requerida, automação do sistema, equipamentos necessários para tratamento da água, etc. Além disso, a qualidade de água é um dos principais fatores que devem ser levados em consideração quando o assunto é irrigação por gotejamento, sendo que dependendo da qualidade da água poderá se ter aumento em custos, seja em pré-tratamentos, filtração ou tratamentos químicos no sistema.

A análise de água, por ser feita no ponto de captação, tem seus custos diluídos por área irrigada conforme o aumento da receita, ou seja, o aumento da área irrigada na propriedade utilizando o mesmo ponto de captação contribui para que o gasto utilizado para análise de água seja diluído por hectare irrigado.

Os custos podem também ser afetados pelo pH, que se deseja atingir para permitir uma concentração maior de ácido hipocloroso, pelo teor de ferro e população bacteriana presentes na água, e pelo tipo equipamento para pré-tratamento utilizado.

O tratamento de água é uma despesa adicional inevitável que o produtor tem que utilizar para atingir um desempenho adequado do sistema de irrigação. A prevenção de entupimentos é muito mais barata que a substituição ou recuperação de emissores.

Boman e Ontermma (1994), através de entrevistas realizadas com irrigantes, representando 53 mil hectares com o cultivo de citrus no estado da Califórnia – EUA -, constataram que o custo médio para prevenção no processo de obstrução de emissores de U\$ 60,00 por hectare.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO (2005) observaram uma variação no custo total ao redor de U\$ 70,00 a 110,00, dependendo da área, qualidade de água e período de irrigação utilizado.

Vieira (2002) obteve melhor relação benefício/custo, utilizando tratamento químico da água de irrigação com 25 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio, com um custo total de 24,88 R\$ ha⁻¹ para 3 aplicações do tratamento.

1.8 Escolha dos materiais para fabricação de tubos e gotejadores

As principais considerações para a escolha de materiais em um sistema de irrigação são: habilidade do material para resistir a tensões mecânicas, temperaturas extremas, radiação solar, e contatos químicos para os quais eles podem ser expostos.

A tensão mecânica pode ser devida a condições internas como pressão da água, acidez da água e alcalinidade, golpe de aríete e vácuo. Os componentes também podem ser afetados por forças externas como expansão térmica e contração. Há numerosas combinações de metais, combinações, plásticos, cerâmicas, e elastômeros que podem ser usados em componentes para um sistema de irrigação. Não somente é importante que os materiais resistam às tensões mecânicas e ambientais que podem ocorrer, como também devem ser compatíveis entre si para evitar corrosão interna ou efeitos de galvanização. As principais considerações na seleção dos materiais são: pressão, faixa de temperatura, afinidade química e custo.

O planejamento da pressão de trabalho é o fator mais importante na seleção dos materiais para compor o sistema de distribuição de água. Tipicamente, tubulações e dispositivos de controle deveriam resistir o dobro da pressão de operação normalmente utilizada. O ambiente e a temperatura da água devem receber um pouco de consideração na seleção dos materiais, pois temperaturas elevadas podem diminuir a força de plásticos. Em casos onde podem ser expostos

componentes a temperaturas altas (por exemplo: próximo de estações de bomba), plásticos especiais que resistem a altas temperaturas ou aço deveriam ser usados em vez de PVC. Em áreas sujeito ao congelamento, deve ser dada consideração a materiais que não sofrem fraturas tão facilmente como o ferro. A radiação ultravioleta (UV) é um problema comum para tubulações expostas à luz solar. A radiação UV pode causar degradação da maioria dos plásticos; então, são usados elementos aditivos como negro de carbono para inibir este processo. Os elastômeros são normalmente menos influenciados pela radiação UV, e os metais normalmente permanecem inalterados (MANO; MENDES, 2004).

A resistência química é uma consideração importante em sistemas de irrigação por gotejamento onde se faz a aplicação de diferentes tipos de substâncias químicas agrícolas que variam desde fertilizantes a produtos utilizados para limpeza das linhas. No entanto, combinações corrosivas freqüentemente podem passar pelo sistema. Condições ácidas (pH baixo) resultarão em corrosão da maioria dos metais. Alumínio e zinco são os metais mais sensíveis à ação do ácido. Ferro fundido, aço carbono, e ligas de cobre são menos sensíveis, mas para uma exposição prolongada para condições ácidas, um material resistente como aço inoxidável deveria ser utilizado. Condições de pH alto (alcalino) podem ser prejudiciais a alumínio, zinco, e titânio. A maioria dos outros metais, como também a maioria dos plásticos e elastômeros, não são sensíveis a condições alcalinas (MANO; MENDES, 2004).

Partículas sólidas como areia no fluxo de água pode resultar em severos danos à parede de metais e componentes plásticos. Danos a superfície destes materiais podem ser devido à cavitação. Plásticos e elastômeros são mais elásticos e resistentes a danos causados por cavitação; porém, eles são mais suscetíveis a danos por abrasão de sólidos a alta velocidade.

1.8.1 Nomenclatura de polímeros

A diversidade de formação dos profissionais, envolvidos em atividades tanto acadêmicas quanto industriais na área de Polímeros, impõe a necessidade de se obedecer às regras de nomenclatura sistemática, a fim de que não se instale o caos nas informações técnicas (MANO; MENDES, 2004).

Na linguagem técnica, pela simplificação que traz aos usuários, é muito empregada a nomenclatura baseada em *siglas*, que utiliza abreviações das denominações usuais, sempre em

Inglês. Ex.: PE (“polyethylene”, polietileno), HDPE (“high density polyethylene”, polietileno de alta densidade), LDPE (“low density polyethylene”, polietileno de baixa densidade), LLDPE (“linear low density polyethylene”, polietileno linear de baixa densidade); UHMWPE (“ultra-high molecular weight polyethylene”, polietileno de altíssimo peso molecular), PMMA (“poly(methyl methacrylate)”, poli(metacrilato de metila)), PA-6 (“polyamide 6”, poliamida 6), PVC (“poly(vinyl chloride)”, poli(cloreto de vinila)), etc.

No caso das borrachas ou elastômeros diênicos, além das denominações científicas, é comum, industrialmente, serem empregadas siglas referentes aos monômeros e à natureza elastomérica do produto. Exemplo: IR (“isoprene rubber”, borracha de poliisopreno), NBR (“acrylonitrile butadiene rubber”, borracha de copolímero de butadieno e acrilonitrila), etc. Por extensão, é comum denominar-se NR (“natural rubber”) a borracha natural proveniente da serigueira, *Hevea brasiliensis*. Deve-se observar que os termos *borracha* (“rubber”) e elastômero (“elastomer”) são equivalentes.

Nos polímeros não-diênicos elastoméricos são ainda empregadas algumas siglas: CSM (“chloro sulfonated methylene elastomer” - elastômero de polietileno cloro-sulfonado), EPDM (“ethylene propylene diene methylene elastomer” - elastômero de copolímero de etileno, propileno e dieno não-conjugado), TPR (“thermoplastic rubber” - borracha termoplástica). Na prática, emprega-se a denominação que for mais simples para cada caso (MANO; MENDES, 2004).

1.8.2 Resistência química dos materiais plásticos (PVC)

Dentre os diversos materiais plásticos, o PVC é dos mais inertes quimicamente à ação da maioria dos produtos químicos e em particular a todos os produtos usados para limpeza que podem se encontrar nas águas servidas. É resistente a álcool, gorduras, e óleos e petróleo. Também a maioria dos agentes corrosivos que incluem ácidos inorgânicos, alcalinos e sais. O PVC não deve ser usado com ésteres, acetona, éteres e aromático ou hidrocarbonetos clorados, pois o PVC absorve estas substâncias e isto conduz a um inchaço e uma redução em resistência à tração.

A Tabela 6 apresenta a resistência do PVC aos agentes químicos que possuem cloro em sua composição. Os diferentes produtos foram classificados por ordem alfabética e marcados às

temperaturas de 20° e 60°C com os sinais convencionais R (Resistente), L (Resistência limitada – leve ataque) e N (Não resistente).

Tabela 6 – Resistência do PVC aos agentes químicos que possuem cloro em sua composição

Produto	20°C	60°C
Ácido cloroacético, 100%	*R	*L
Ácido clorídrico	R	R
Ácido clorosulfônico, 100%	*N	N
Clorato de cálcio	R	R
Clorato de potássio	R	R
Clorato de sódio, solução saturada	R	R
Cloreto alílico	N	N
Cloreto de alumínio	R	R
Cloreto de amila	N	N
Cloreto de amônio, solução saturada	R	R
Cloreto de antimônio	R	R
Cloreto de cálcio, solução saturada	R	R
Cloreto de carbono (tetra), 100%	L	N
Cloreto de cobre	R	R
Cloreto de estanho	R	R
Cloreto de etila	N	N
Cloreto de metileno, 100%	N	N
Cloreto de mercúrio	R	R
Cloreto de potássio, solução saturada	R	R
Cloreto de sódio, solução saturada	R	R
Cloreto férrico, solução saturada fria	R	R
Cloro benzeno	N	N
Cloro, gás seco, 100%	R	L
Cloro (água de) saturada a frio	R	L
Clorofórmio	N	N
Dicloreto de etileno	N	N
Hipoclorito de cálcio	R	R
Hipoclorito de sódio	R	R

* R (Resistente), L (Resistência limitada – leve ataque) e N (Não resistente).

Fonte: Dubois (1974).

1.8.3 Considerações para Tubos de PVC

Para trabalho de escoamento de água normal, tubos de PVC são totalmente inalterados pelo solo e substâncias químicas presentes na água. É provável que a questão de resistência química somente surja se eles são usados em ambientes incomuns ou se eles são usados para escoar substâncias químicas. Os dados seguintes dão direção neste contexto.

Os tubos de PVC não serão afetados por nada que normalmente possa estar presente em efluente de sistema de esgoto. Porém, se alguma descarga ilegal é feita é provável o ataque ao anel de borracha de vedação que o tubo de PVC possui. Por causa de modernos controles de

poluição de descargas de esgoto, tubos de PVC podem ser usados seguramente em qualquer cadeia de sistema de esgoto municipal, inclusive em áreas que aceitam efluente industrial (MANO; MENDES, 2004).

Para aplicações específicas de transporte de alimento ou armazenamento, devem ser observados regulamentos de saúde, sendo obtidas informações específicas a respeito do uso de tubos de PVC.

Geralmente é conhecido que tubos e acessórios em material termoplásticos são extensamente usados em indústrias onde o transporte de líquidos altamente corrosivos e gases requer materiais de alta qualidade e caracterizados por uma excelente resistência a corrosão. Aço inox, aço revestido, vidro e materiais cerâmicos podem ser substituídos freqüentemente e vantajosamente por materiais termoplásticos com segurança, confiabilidade e benefícios econômicos expostos a condições operacionais semelhantes (MANO; MENDES, 2004).

Variações na análise das combinações químicas como também nas condições operacionais (pressão e temperatura) podem modificar significativamente em comparação a resistência química atual dos materiais.

1.8.4 Ataque químico a termoplásticos e elastômeros

Substâncias químicas que atacam polímeros fazem isso a taxas diferentes e modos diferentes. Há dois tipos comuns de ataques químicos em polímeros: a) Ocorre uma expansão do polímero, sendo que o mesmo retorna à sua condição original se a substância química for removida. Porém, se o polímero é composto de um ingrediente que é solúvel na substância química, podem ser alteradas as propriedades do polímero por causa da remoção deste ingrediente e a própria substância química será contaminada; e b) A resina básica ou moléculas de polímeros são mudadas união em cruz, oxidação, reação de substituição ou cisão em cadeia. Nestas situações o polímero não pode ser restabelecido pela remoção da substância química. Exemplos deste tipo de ataque em PVC é vapor d'água a 200°C e gás cloro úmido (MANO; MENDES, 2004).

Vários fatores podem afetar a taxa e o tipo de ataque químico que pode ocorrer. Estes fatores são: a) *Concentração*: em geral, a taxa de ataque aumenta com a concentração, mas em muitos casos há níveis limiar no qual nenhum efeito químico significativo é notado; b) *Temperatura*: como com todos os processos, a taxa de ataque aumenta com a elevação da

temperatura. Novamente, temperaturas limiares podem ser utilizadas; c) *Período de contato*: em muitos casos, a taxa de ataque é lenta, tendo resultado somente com um contato contínuo e prolongado. “Em geral PVC é considerado relativamente insensível para acentuar corrosão” (MANO; MENDES, 2004).

A resistência química de polietileno é devida a não-polarização ou natureza parafinada do material que é em função da concentração de reagentes e temperatura. Algum ataque pode ocorrer sob condições específicas.

Onde misturas de borracha modificada LDPE são usadas para aperfeiçoar propriedades em aplicações de irrigação, o efeito de substâncias químicas específicas, pode requerer avaliação do tubo e tubogotejador a ser utilizado em sistema de irrigação por gotejamento (MANO; MENDES, 2004).

A Tabela 7 apresenta a resistência química de anéis de borracha (elastômeros) utilizados para vedação e outros diversos fins.

Tabela 7 – Resistência química de elastômeros

Material e sigla	Geralmente resistente para	Geralmente não resistente para
Borracha natural NR	A maioria das substâncias químicas moderadas, úmidas ou secas, ácidos orgânicos, álcool, acetonas, aldeídos	Ozônio, ácidos fortes, gorduras, óleos, graxas, a maioria dos hidrocarbonetos
Borracha Butadieno estireno SBR	Igual para Borracha Natural	Igual para Borracha Natural
Policloropreno (Neopreno) CR	Substâncias químicas moderadas e ácidas, ozônio, gorduras, muitos óleos e solventes	Ácidos oxidantes fortes, ésters, acetonas, clorados, hidrocarboneto de nitro aromático
Copolímero de etileno, propileno e dieno EPDM	Animal e óleos vegetais, ozônio, Substâncias químicas oxidantes fortes	Óleos minerais e solventes, hidrocarboneto aromáticos
Borracha de Nitrila NBR	Muitos hidrocarbonetos, gorduras, óleos, fluidos gordurosos, fluidos hidráulicos, substâncias químicas	Ozônio, acetonas, ésters, aldeídos, clorados e hidrocarbonetos de nitro

Fonte: Mano e Mendes (2004).

Nota: O desempenho químico de elastômeros é influenciado por vários fatores incluindo: a) temperatura de serviço; b) condições de serviço; c) grau de polimerização e d) combinação utilizada.

Uma composição moldável de borracha é complexa. A massa é comumente designada *composição vulcanizável* e sempre contém, além do elastômero, alguns aditivos, em pequena quantidade; pode ainda conter outros ingredientes em quantidades muito maiores, sob a forma de carga e plastificante. Quando a composição vulcanizável não contém carga é chamada *goma pura*

(“pure gum”). Os principais ingredientes são os seguintes: a) Agente de vulcanização; b) Acelerador; c) Ativador; d) Antioxidante; e) Carga (reforçadora ou inerte); e f) Plastificante, etc.

Da correta formulação de uma composição moldável dependerá não apenas o bom processamento da mistura, como também as propriedades do produto obtido (MANO; MENDES, 2004).

Na avaliação das propriedades de um polímero é necessário considerar a fluência da massa, que envolve força e deformação ao longo do tempo, a uma dada temperatura. Assim, são exigidos alguns conhecimentos de caráter reológico.

Conforme Mano e Mendes (2004), os materiais sólidos podem ser de imediato reconhecidos à temperatura ambiente pela suas características de deformação antes da ruptura, através de sua duração (temporária ou permanente), grau (elevado ou baixo) e natureza (elástica ou plástica).

Materiais de elastômeros são usados para vedação e selamento por resistirem a altas tensões junto com temperaturas altas e baixas. Borracha natural ou sintética provou ser o material mais satisfatório para vedação e selamento em sistemas de irrigação. Eles fornecem bom desempenho para resistência, flexibilidade, e uso (MANO; MENDES, 2004).

1.9 Características hidráulicas e efeitos da temperatura da água em emissores utilizados na irrigação localizada

Uma das principais exigências do sistema de irrigação por gotejamento, é o fornecimento preciso da aplicação de água. Para atingir um controle ótimo, todos os emissores têm que apresentar uniformidade de distribuição de água adequada, não sofrendo mudanças com o tempo ou fatores ambientais.

Para Wu e Gitlin (1974) a uniformidade de aplicação de água na linha lateral está relacionada com a variação na vazão dos emissores que é função do comprimento da linha lateral e pressão de entrada, espaçamento dos gotejadores e da razão de fluxo total.

Na Figura 3 são mostrados diferentes tipos de emissores utilizados em sistema de irrigação por gotejamento.

Figura 3 – Exemplos típicos de emissores utilizados em sistema de irrigação por gotejamento
 Fonte: adaptado de Rodríguez-Sinobas; Juana e Losada (1999).

Vermeiren e Jobling (1997) relatam que os emissores se caracterizam do ponto de vista hidráulico, pela pressão de serviço, pela variação desta pressão e pela vazão nominal.

Para se obter uma vazão menor, o emissor deve apresentar alta perda de carga, o que requer uma secção de fluxo relativamente pequena (KELLER; KARMELI, 1974).

O importante é projetar um sistema que terá um equilíbrio hidráulico tal que uma subunidade dentro do sistema tenha a vazão do emissor conhecida e uniforme. Porque variações significativas na pressão de serviço podem ocorrer num sistema de irrigação em campo, devido a variação de elevação e perda de fricção. Porém, a vazão dos emissores e a uniformidade de um sistema de irrigação por gotejamento podem também ser influenciadas por outros fatores como: variabilidade industrial, temperatura da água, e entupimento dos emissores (KELLER; BLIESNER, 1990; SOLOMON, 1985;). O projetista não tem controle sobre a variabilidade industrial, que é normalmente pequena ($< 0,10$) para emissores tipo labirinto (VON BERNUTH; SOLOMON, 1986) e pode ser incorporado no projeto. Já problemas de entupimento de gotejadores podem ser controlados por uso adequado de sistemas de filtragem, tratamento químico, e manutenção do sistema. Porém, a temperatura da água é um parâmetro variável que não tem controle em campo, podendo influenciar a vazão de emissores individuais e a

uniformidade de emissão de um sistema de irrigação por gotejamento (KELLER; KARMELI, 1975; VON BERNUTH; SOLOMON, 1986).

Variações na temperatura da água, influenciam propriedades da água, especialmente a viscosidade. Este pode ser um fator importante que afeta a vazão de gotejadores. A geometria na passagem de fluxo também pode ser afetada. Como conseqüências, são esperadas mudanças na perda de fricção e vazão do emissor. Os efeitos da viscosidade quando o fluxo é turbulento podem ser desprezados, podendo ser deduzido então que as variações de temperatura não causam mudanças dimensionais na passagem de fluxo dentro do emissor (KELLER; KARMELI, 1975; PARCHOMCHUK, 1976; ZUR; TAL, 1981). Estudos realizados em laboratório concluíram que temperaturas entre 25 °C e 32 °C não alteram a vazão do gotejador de forma significativa (OLIVEIRA et al., 2000).

Zur e Tal (1981) desenvolveram uma relação linear entre vazão de emissor e temperatura da água para diferentes tipos de emissores. Os autores mostraram um efeito combinado da pressão e temperatura da água na vazão do emissor.

Para Bernuth e Solomon (1986) a melhor equação que representa o efeito da temperatura da água na vazão dos gotejadores de fluxo turbulento, é a do tipo linear. Oliveira et al., (2000) estudando as características hidráulicas de um modelo de tubo gotejador não verificaram relação linear entre a vazão e a temperatura da água, discordando dos autores citados anteriormente que afirmam ser a relação linear a que melhor representa o efeito da temperatura na vazão dos gotejadores.

Parchomchuk (1976) afirma que mudanças na viscosidade provocadas pela variação da temperatura da água podem causar variações na vazão dos emissores, maiores que o limite máximo de $\pm 10\%$, caso o regime de escoamento no emissor for turbulento, a vazão não será afetada significativamente pela mudança de viscosidade.

Variações da temperatura da água podem ocorrer devido a variações de temperatura ao longo do dia (dia-noite), dia para dia, mudanças sazonais e no final de linhas laterais devido ao aquecimento solar do tubo de polietileno. A variação máxima de temperatura no final de linhas laterais medida por Parchomchuk (1976) foi 16 °C, valor este suficiente para causar 22 % de variação de vazão em emissores tipo microtubos. Até mesmo quando a variação de temperatura na linha lateral é mínima, a variação de temperatura sazonal foi suficiente para causar variação de descarga de -20 % a +10 % para emissores microtubos. Com isso, variações de vazão podem ser

maiores quando são combinados efeitos de temperatura ao longo da linha lateral e variações sazonais (PARCHOMCHUK, 1976).

Um efeito adicional de variações de vazão é a mudança resultante em perdas de fricção devido a mudanças no fluxo. Estas variações de perda de fricção podem compensar ou favorecer variações de vazão. Por exemplo, variações de vazão ao longo de linhas laterais podem ser reduzidas pela elevação das perdas por fricção devido ao aumento de fluxo. Por outro lado, maiores perdas de fricção em subunidades contribui para o aumento de desuniformidade entre as linhas laterais (PARCHOMCHUK, 1976).

O funcionamento do sistema de irrigação somente a noite, elimina o efeito do aquecimento solar completamente. Outro método de reduzir o aumento de temperatura ao longo das linhas laterais é reduzir o tempo de permanência da água dentro da linha lateral, usando emissores com altas vazões e fluxo turbulento. Apenas o ajuste da pressão de serviço, não contribui para controlar variações de temperatura ao longo da linha lateral. Porém, a pressão de serviço necessária para causar fluxo turbulento pode ser elevada.

A vazão de emissores tipo labirinto com vazões de 2 L h^{-1} e 4 L h^{-1} praticamente não mostraram nenhuma sensibilidade para aumento da temperatura da água. Em contraste, a vazão de um emissor tipo vortex diminuiu com o aumento da temperatura da água (Figura 4).

Figura 4 – Influência da temperatura na vazão relativa (Q_r) de diferentes emissores

* $q_{\text{emissor com longo caminho helicoidal}} = 4 \text{ L h}^{-1}$; $q_{\text{labirinto}} = 4 \text{ L h}^{-1}$ e $q_{\text{vortex}} = 7,5 \text{ L h}^{-1}$.

Fonte: adaptado de Zur e Tal (1981).

Pela Figura 4, é demonstrada a dependência de Q_{rt} (vazão relativa do emissor) com relação a temperatura da água para três tipos de emissores (pressão de serviço igual a 100 kPa). A Figura 4 também mostra o efeito da mudança da viscosidade em função da temperatura da água na vazão relativa dos emissores (Q_{rt}) caracterizando fluxo laminar.

Foi observada sensibilidade positiva na variação de vazão quanto a variação de temperatura da água para os emissores de longo-caminho helicoidal, sensibilidade insignificante para os emissores tipo labirinto, e negativa para os emissores tipo vortex.

Keller e Karmeli (1975) concluíram que o regime de fluxo em emissores de longo-caminho helicoidal é influenciado por inércia como também forças viscosas.

A dependência medida de Q_{rt} na temperatura da água para os emissores tipo labirinto foi pequena ou insignificante. Isto já era esperado, devido o regime de fluxo nestes emissores ser turbulento como sugerido pelo valor de 0,5 medido para o coeficiente b nestes emissores. Os resultados que mostram uma sensibilidade negativa de Q_{rt} à temperatura para os emissores tipos vortex não foram esperados. O valor medido do coeficiente b para estes emissores foi de 0,43.

É esperado que a variação da temperatura da água com a distância ao longo do tubo seja relacionada inversamente à velocidade de fluxo de água no tubo. Considerando que a velocidade de fluxo decresce nitidamente para o final do tubo, a temperatura da água tenderia a aumentar com distância.

Parchomchuk (1976) mediu um aumento de 16 °C na temperatura da água em tubo de polietileno com 37 m de comprimento exposto ao sol. O autor também mediu um aumento de 6 °C na temperatura da água em um tubo semelhante enterrado a 15 cm da superfície.

Assim, a variação de temperatura ao longo de uma linha lateral de polietileno exposta a radiação solar é resultado do equilíbrio de energia da linha lateral e a velocidade de fluxo na linha.

A mudança de temperatura da água na linha lateral é causada por transmissão e absorção de radiação devido à temperatura do ar ambiente, temperatura do solo e radiação solar. Também depende dos materiais e densidade dos tubos usados. A mudança de temperatura da água pode afetar o tamanho da tubulação, o orifício do emissor, a densidade da água, a tensão de superfície e a viscosidade da água. Para uma variação de temperatura de 0 a 50 °C a mudança de densidade, tensão de superfície e viscosidade são respectivamente 1%, 10%, e 300%. Então, a viscosidade é significativamente afetada pela mudança de temperatura da água (PENG; WU; PHENE, 1986).

De acordo com os estudos desenvolvidos por Peng; Wu e Phene (1986) a diferença de temperatura ao longo da linha de 20 °C para 50 °C causará somente 1% a 2% de diferença na perda de fricção relativa à seção mediana da linha lateral.

A temperatura da água em um sistema de irrigação por gotejamento pode influenciar o número de Reynolds (Re) devido a mudanças na viscosidade cinemática da água e também ter impacto nos coeficientes de fricção das linhas laterais (PENG; WU; PHENE, 1986) e dos emissores, e subsequentemente na vazão dos mesmos (KELLER; BLIESNER, 1990). Em regime de fluxo laminar e fluxo instável ($Re < 4000$), a vazão do emissor é muito dependente da viscosidade da água. Porém, em regimes de fluxo parcialmente e totalmente turbulentos ($Re > 4000$), o coeficiente de fricção muda muito pouco com Re e é praticamente independente da temperatura (KELLER; BLIESNER, 1990). Assim, a temperatura da água e a viscosidade não têm muito efeito na vazão de emissores com fluxo turbulento ($x = 0,5$). Porém, muitos modelos de fitas gotejadoras possuem emissores com caminhos tortuosos (labirinto) e coeficiente de descarga que variam de 0,5 a 0,7, ficando o fluxo no regime laminar e instável, resultando em possível sensibilidade à variação da temperatura da água (CLARK, G. A.; LAMM, F. R.; ROGERS, D. H., 2005).

Emissores autocompensantes apresentam princípios de comportamento diferente dos demais tipos de emissores. Eles são construídos para fornecer vazão quase constante em uma faixa ampla de pressão de serviço. Para tanto, utilizam um elastômero (membrana elástica) inserido em uma câmara que permite o controle do fluxo pelo orifício do gotejador. Este elastômero trabalha como um diafragma que separa duas câmaras. Quando ocorre um diferencial de pressão, a seção para passagem da água diminui, conforme demonstra a Figura 5.

Figura 5 – Diferenças geométricas do elastômero sob a ação de diferentes pressões
 Fonte: adaptado de Rodríguez-Sinobas; Juana e Losada (1999).

Podem ser diferenciadas duas zonas dentro do emissor autocompensante. Na primeira, sobre o elastômero, o caminho de fluxo tem uma seção constante, com fluxo completamente turbulento. Na segunda, o caminho do fluxo entre o elastômero e o orifício tem uma seção variável que depende da pressão operacional, mas o fluxo também será completamente turbulento. Por conseguinte, poderiam ser negligenciados efeitos no número de Reynolds e na viscosidade, quanto à variação da temperatura da água.

Podem ser distinguidas três etapas de funcionamento de emissores autocompensantes. Na primeira a pressão de serviço está abaixo da pressão mínima de funcionamento, não ocasionando nenhum resultado de distorção do elastômero, resultando num aumento de vazão com pressão crescente, sem compensação. Na segunda, ocorrem variações de pressão dentro da faixa operacional, ocasionando distorção do elastômero e conseqüentemente controle do fluxo. Finalmente, a terceira etapa, refere-se a pressões mais altas que gradualmente reduz a passagem do fluxo.

A vazão de emissores autocompensantes diminuiu durante o tempo operacional. Variações de mais de 6% foram medidas, mas os resultados dependeram da frequência dos testes. O elastômero pode sofrer fadiga em função do tempo operacional quando pressurizado, e suas características estruturais podem mudar (RODRÍGUEZ-SINOBAS; JUANA; LOSADA., 1999).

Para emissores tipo labirinto, a sensibilidade da variação de vazão com relação a variação de temperatura é insignificante. Desta forma, a variação de temperatura ao longo do tubo pode ser negligenciada no projeto.

1.10 Objetivos do trabalho

Este trabalho terá como objetivos:

1. Avaliar possíveis danos na membrana de compensação de gotejadores em contato com dosagens extremas de cloro (aplicação dinâmica ou estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, com pH na faixa de 5,5 a 6,0) e ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 (aplicação por ½ h ou 12 h), buscando estabelecer relação entre os possíveis danos causados à regulação das membranas elásticas dos emissores com a vazão dos emissores, a uniformidade de distribuição de água e o coeficiente de variação de vazão; e
2. Avaliar o efeito da temperatura da água (15 °C, 25 °C e 40 °C) na curva vazão *versus* pressão para os diferentes emissores estudados em função dos produtos químicos citados anteriormente.

Referências

ADIN, A. Problems associated with particulate matter in water reuse for agricultural irrigation and their prevention. **Water Science and Technology**, Oxford, v. 18, n. 9, p. 185-195, 1986.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, Chloridine demand. In. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 1992. p. 138 – 239.

ASAE Standards 1999 Standards engineering practices data: EP405.1. **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph, Mich: American Society of Agricultural Engineers. Dec., p. 879-883, 1999.

ASAE Standards, 2003 Collapsible emitting hose (drip tape) – Specifications and performance testing. St. Joseph, Mich.: American Society of Agricultural Engineers, 2003, p. 1011-1015 (ANSI/ASAE S553 MAR, 1).

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, R.S.; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

AZEVEDO, H.M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 139, p. 40-53, Jul. 1986

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BERNUTH, R. D. V.; SOLOMON, K. D. Design principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. cap. 2, p. 27-52.

BOMAN, B.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proceedings of the Florida State Horticultural Science**. Florida, n. 107, p. 39 – 47, 1994.

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

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.

CHANTEREAU, J. **Corrosion Bacteriene**. Techniques et documentation. 2ed. Paris: Lavousier 1980. 168p.

CLARK, G.A.; LAMM, F. R.; ROGERS, D. H. Sensitivity of thin-walled drip tape emitter discharge to water temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v.21, n. 5, p. 855-863, 2005.

CORDEIRO, E.A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica). – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002

COSTA, C. C. **Entupimento de gotejadores provocado pela presença de ferro na água de irrigação**. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 2000.

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

DUBOIS, J. H.; JOHN, F. W. **Plastics**, 5th ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1974. 68p.

FNP CONSULTORIA & COMERCIO. In: Atenção ao ferro na água de irrigação por gotejamento. **Agrianual 2005**: anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. p.62-66.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles / emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production** - design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-63.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22. n. 3. p. 133-148, 1979.

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F.; ADAMSON, K.C. Trickle irrigation: emitter clogging and flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, p. 159, 1981

JAMES, L.G. **Principles of farm irrigation system design**. Washington, USA: Washishton State University, 1988. 543p.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle Irrigation Design**. Glendora, Califórnia: Rainbird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1990. 652p.

KOEGELENBERG, F., REINDERS, F. Performance of drip irrigation systems under field conditions. ARC – Institute for Agricultural Engineering. 2002, 14 p. Disponível em <<http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?finename=Documents/8723.Performanceofdripirrigation.pdf>> Acesso em 14.jan.2006.

LEITE, J.A.O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) Universidade Federal de Lavras. Lavras 1995.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 191p.

MATSURA, E.E., TESTEZLAF, R., ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In :CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989. Recife. **Anais...** Recife: Editora, 1989. p.585-607.

MICHALAKOS, G.D.; NIEVA, J.M.; VAYENAS, D.V.; LYBERATOS, G. Removal of iron from potable water using a trickling filter. **Water Research**, New York, v. 31, n. 5, p. 991, 1997.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop**. Production design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.

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

OLIVEIRA, A. M. de S.; FILHO, F. de Q. P.; MEDEIROS, J. F.; COSTA, M. da C. Caracterização hidráulica do tubo gotejador Hidrodrip II. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 483-486, 2000.

PADMAKUMARI, O.; SIVANAPPAN, R.K. Study on clogging in drip systems. In. INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., Fresno, 1985. **Proceedings...** St. Joseph: ASAE, 1985. p. 80-83.

PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 4, p. 690-692, 1976.

PENG, G. F.; WU, I. P.; PHENE, C. J. Temperature effects on drip line hydraulics. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 29, n. 1, Jan-Feb, p. 211-215, 1986.

PHILLIPS, K.P. Filtration's Role in water Quality: Polishing Water For Low. **Irrigation Journal**, New York, v. 43, n. 4, p. 8 - 12, 1993.

PITTS, D.J.; HAMAN, D.Z.; SMAJSTRLA, A.G. Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems. Flórida :University of Florifa , Florida Cooperative Extension Service,1990. 12 p. (Bulletin, 258)

PITTS, D.J.; PETERSON, K.; GILBERT, G.; FASTENAU, R. Field assessment of irrigation system performance. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 12, n. 3, p. 307-313, 1996b.

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

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

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba. 1999.

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.

RODRÍGUEZ-SINOBAS, L.; JUANA, L.; LOSADA, A. Effects of temperature changes on emitters discharge. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 125, n. 2, Mar-April, p. 64-73, 1999.

SEKULOV, I. A. Modified Cross-Flow Filter Unit for the Advanced Wastewater Treatment. **Preprints of the Symposium on Water Filtration**, European Federation of Chemical Engineering Antwerp, Belgium, v. 1, p. 21-23, 31-36, April 1982.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

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

SOUZA, J. A. A. de; CORDEIRO, E. de A.; COSTA, E. L. da. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.

SOUZA, J. A. A. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento e eficiência da insetigação com imidacloprid no controle do bicho-mineiro (*Perileucoptera coffeella*) no cafeeiro**. 2002. 47p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) . Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2002

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Tradução de GHEYI, R.S; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V. R. S.. Campina Grande: UFPB, 1997. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

VIEIRA, D. B. **Engenharia de Irrigação**. Campinas: Faculdade de Engenharia de Limeira, 1983. 433p.

VIEIRA, G. H. S. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2002

VIDELA, H.A. **Biocorrosão, biofouling e biodeterioração de materiais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 148p.

VON BERNUTH, R. D.; SOLOMON, K. H. Design principles: Emitter construction. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.(Ed.). **Trickle irrigation for crop production**. The Netherlands: Elsevier, 1986. p. 27-52.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation based on uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 17, n. 3, p. 429-432, 1974.

ZUR, B.; TAL, S. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering Division**. New York, v. 107, n.1, p. 1-9, 1981.

2 AVALIAÇÃO DE DANOS QUÍMICOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO DE GOTEJADORES, CAUSADO PELA APLICAÇÃO DINÂMICA DE DOSE EXTREMA DE CLORO LIVRE

Resumo

Com o propósito de avaliar a susceptibilidade de membranas de compensação de pressão de quatorze modelos de gotejadores autocompensantes ao processo de dano químico, causado pela aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre, foi conduzido um experimento no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. Objetivou-se também, no presente trabalho, estabelecer relação entre os possíveis danos causados à regulação das membranas elásticas dos emissores e a uniformidade de distribuição de água e o coeficiente de variação de vazão. O sistema de irrigação foi composto de um reservatório de 500 litros, um conjunto motobomba de 1,0 cv., um filtro de disco de 100 mesh, uma bancada de testes de 11,0 m x 4,0 m, onde foram instalados os tubogotejadores. Diariamente foi avaliada a vazão das linhas gotejadoras com o uso de um medidor magnético de vazão e semanalmente foi feita a coleta de água utilizando o método gravimétrico por um período de 10 min para todos os emissores presentes na linha gotejadora de cada um dos modelos estudados. Posteriormente, foram calculados: vazão média (q_m), coeficiente de variação de vazão (CV), uniformidade de distribuição de água (UD), vazão relativa (Qr) e percentual do total de gotejadores, por faixa de redução de vazão. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em esquema fatorial, sendo utilizados os testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. Os modelos de gotejadores ensaiados apresentaram sensibilidade variável à aplicação de cloro livre. Ocorreu um decréscimo de 10 a 20% em média da vazão (L h^{-1}) para a maior parte dos emissores, com exceção do modelo E que apresentou aproximadamente 90% de redução de vazão (13% de aumento de volume da membrana) com 2688 h de funcionamento e redução drástica de vazão na ordem de 100% em virtude do bloqueio total do orifício para o emissor I, em decorrência do aumento de 112% do volume da membrana após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0. Foram realizadas também curvas vazão-pressão a diferentes temperaturas (15, 25 e 40 °C) e pressões (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 kPa) com o intuito de observar possíveis alterações quanto a compensação de pressão pela membrana de cada modelo de emissor ensaiado. Observou-se pela análise de regressão a 5% de significância que ocorreu relação linear entre a vazão e a temperatura dentro da faixa operacional de cada emissor novo. Para todos os modelos de emissores ensaiados, observou-se que a aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre, reduziu a vazão para todos os emissores após 2688 h em relação à vazão média destes emissores quando novos, sendo que em muitos casos não foi observado uma relação linear entre a vazão e a temperatura.

Palavras-chave: cloração, elastômero, entupimento de emissores.

EVALUATION OF CHEMICAL DAMAGES ON SELF COMPENSATING DRIPPER'S MEMBRANE, CAUSED BY DYNAMIC APPLICATION OF EXTREME DOSE OF FREE CHLORINE

Abstract

With the purpose of evaluating the chemical resistance of fourteen compensating emitters, caused by the dynamic application of 100 mg L^{-1} of free chlorine, an experiment was carried out under Laboratory conditions at the university of São Paulo Brazil. It was also the objective, in the present work, to establish relationship among the possible damages caused to the regulation of the elastic membranes of the emitters and the uniformity of distribution of water (UD) and flow rate variation coefficient (CV). Flow of the emitters was daily evaluated with the use of a magnetic flow meter and it was weekly evaluated using the gravimetric method. Later on, it was calculated: average flow rate (q_m), flow rate variation coefficient (CV), uniformity of distribution (UD), relative flow rate (Qr) and percentage of emitters according to flow rate reduction. The statistical analysis of the treatments was accomplished by Tukey test at 5% probability and regression analysis. Emitter models analysed presented variable sensibility to the application of free chlorine. It was observed a reduction from 10 to 20% on the average of the flow rate (L h^{-1}) for most of the emitters, except for the model "E" that presented 90% of flow rate reduction approximately (13% of increase of volume of the membrane) with 2688 h of operation and model "I" with drastic reduction of flow rate in the order of 100% (total clogging), due to the increase of 112% membrane volume after 2688 h of dynamic application of 100 mg L^{-1} of chlorine free with pH 5,5 to 6,0. It was measured discharge/pressure relationship to different temperatures (15, 25 and 40°C) and pressures (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 and 400 kPa) for observing possible alterations in the pressure compensation mechanism of each emitter. It was observed by the regression analysis at 5% of significance, linear relationship between flow rate and temperature. For all models, it was observed that dynamic application of 100 mg L^{-1} of free chlorine reduced the flow rate for all the emitters after 2688 h in relation to the average flow rate of these emitters when new, and in many cases a linear relationship was not observed between the flow rate and the temperature.

Keywords: chlorination, elastomer, emitter clogging.

2.1 Introdução

Um sistema bem projetado permite que se obtenham uniformidade de aplicação de água acima de 80%, que representa um bom índice para esse sistema; no entanto, o uso do equipamento provoca uma diminuição na uniformidade de emissão (UE) e um aumento no coeficiente de variação de fabricação (CV_f), que de acordo com Resende; Coelho e Piedade (2000), está relacionado ao processo de obstrução, cujo principal responsável é a qualidade da água usada na irrigação.

O entupimento de emissores continua sendo o principal problema em sistemas de irrigação por gotejamento. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perenes onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissor entupido podem ocasionar perdas econômicas. Embora estejam disponíveis informações quanto aos fatores que causam o entupimento, o controle por medidas preventivas nem sempre tem êxito. Os problemas podem ser minimizados por design apropriado, instalação, e práticas operacionais. Procedimento para recuperação de emissores entupidos, resulta em aumento do custo operacional. Problemas de entupimento desencorajam freqüentemente novos irrigantes, causando o abandono da tecnologia, pois a solução do problema nem sempre está disponível ou é economicamente viável. (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Não há um método quantitativo simples e único para calcular o potencial de entupimento de um determinado sistema de irrigação por gotejamento. Porém, analisando a água para alguns componentes específicos, pode-se antecipar possíveis problemas e formular medidas de controle. A avaliação da qualidade da água é especialmente aconselhável antes da instalação de um novo sistema de irrigação por gotejamento. A maioria dos testes pode ser feitos em laboratório. Porém, algumas análises devem ser feitas “*in loco*”, pois podem ocorrer mudanças de substâncias químicas e mudanças biológicas depois que a água da fonte é introduzida no sistema de irrigação. A qualidade da água também pode mudar ao longo do ano de forma que amostras de água deveriam ser analisadas em diferentes períodos da irrigação (PIZARRO, 1996).

A obstrução dos emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação. Portanto, os sólidos em suspensão, a composição química e a atividade microbiológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para prevenção das obstruções (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

2.1.1 Uso do cloro para tratamento químico da água

A aplicação de cloro é o método mais comum para controlar populações microbiológicas (PITTS; HAMAN; SMAJSTRLA, 1990). Ayers e Westcot (1991) salientam, entretanto, que cuidados na manipulação do produto devem ser tomados. A eficiência do tratamento está diretamente relacionada ao pH da água, devendo-se ressaltar que, para valores altos de pH, maiores quantidades de cloro são requeridas. Em alguns casos, esclarecem os autores, a injeção contínua de cloro na água dos sistemas de irrigação localizada, mesmo que eficiente, pode não ser economicamente justificável.

Tratamentos contínuos em concentrações de 0,1 a 2,0 mg L⁻¹ são freqüentes, assim como tratamentos periódicos em concentrações entre 0,5 a 1,0 mg L⁻¹. O cloro é um excelente algicida e bactericida, apesar de se ter sido publicado por De Beer; Srinivasan e Stewart (1994) que a concentração efetiva do cloro diminui consideravelmente quando este penetra em biofilmes bacterianos. Medidas com microeletrodos específicos permitiram determinar que a concentração de cloro dentro do biofilme é 20% daquela presente na solução em contato com este. Isso explica a resistência aos biocidas oxidantes desenvolvida por diversas espécies de bactérias ou consórcios microbianos mistos.

O cloro está disponível na forma de gás, líquido ou sólido. Cada uma destas três formas de cloro reage diferentemente com a água de irrigação, dependendo de outros elementos presentes na água. As reações podem mudar o pH da água, ou precipitar algum elemento, resultando em obstruções dos componentes do sistema (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

De acordo com Nakayama e Bucks (1986), quando o cloro é adicionado à água, são produzidas as seguintes reações:

Na hidrólise (eq. 2.1), íons de hidrogênio (H⁺) formados reduzem o pH. O grau desse efeito (baixar o pH) depende da quantidade de cloro adicionado e do poder tampão da água utilizada.

A extensão dessa dissociação dependerá do pH da água:

- com pH = 5: apresenta-se apenas HOCl (OCl⁻ ausente); e

- com pH = 9: apresenta-se cerca de 4% de HOCl e 96%, de OCl⁻.

Para pH acima de 4,0, o equilíbrio da equação (01) é deslocado para a direita e, portanto, muito pouco Cl₂ permanece na solução.

Na eq. (2.2), verifica-se que o ácido hipocloroso (HClO) e o íon hipoclorito (ClO⁻), que juntos são conhecidos como cloro disponível livre (cloro residual), estão em equilíbrio. O ácido hipocloroso é fraco e se dissocia pobremente para pH abaixo de 6,0. Logo, o cloro predomina na forma de HClO para pH abaixo de 6,0; enquanto que para pH de 8,5 ocorre uma mudança abrupta, havendo uma dissociação quase completa.

De acordo com Plastro (1993), para pH 7,5 e uma temperatura de 20 °C há o predomínio do íon hipoclorito, que é 40-80 vezes menos eficiente do que o ácido hipocloroso. Sendo assim, a taxa de transformação de HClO para ClO⁻ é muito importante, devendo ser a menor possível.

Como fonte de cloro para o tratamento químico, tem-se o hipoclorito de sódio (NaOCl), encontrado em forma líquida. Na forma sólida, tem-se o hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)₂), que é comumente usado no tratamento de água de piscinas. O cloro gasoso é outra forma de tratamento existente, mas exige cuidado especial devido à sua toxicidade, bem como equipamentos especiais para sua injeção no sistema, sendo sua utilização observada em sistemas de grande porte (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A aplicação de hipoclorito de sódio (NaOCl) na água de irrigação resulta em formação de ácido hipocloroso (HOCl) e íons hidroxila (OH⁻), uma reação que eleva o pH da água. O cloro sob a forma de ácido hipocloroso pode se combinar com a amônia presente na água e formar a monoclорamina (NH₂Cl), a dicloramina (NHCl₂) e o tricloreto de nitrogênio (NCl₃), de acordo com as seguintes reações:

Estas reações ocorrem mais rapidamente em valores de pH mais baixo, onde é mais elevada a concentração de ácido hipocloroso não dissociado. O cloro torna-se mais efetivo no controle de bactérias quando está na forma de ácido hipocloroso, sendo que a quantidade deste ácido na solução será maior em menores níveis de pH. Assim, em pH 8, somente 22% do cloro injetado estará na forma ativa (HOCl); em pH 7, aproximadamente 73%; e em pH 6,

aproximadamente 96% estará nesta forma (CLARK; SMAJSTRLA, 1999; NAKAYAMA; BUCKS, 1986;).

Segundo Pizarro (1996), o pH ótimo para a permanência da forma HClO está entre 5,5 e 6,0. Para valores de pH menores que 5, diminui a proporção de HClO e aumenta a de Cl₂, que é volátil e se perde.

A Figura 2.1 apresenta as quantidades relativas de ácido de hipocloroso (HOCl) presente em solução em função do pH.

Observe que para a faixa de pH entre 5,5 a 6,0, que segundo Pizarro (1996), é a mais recomendada, há uma predominância de cloro residual (HClO e ClO⁻), na solução, que permite uma ação mais intensa do tratamento, ou seja o tratamento se torna mais eficiente.

A eficiência da cloração é altamente influenciada por fatores como: a) Cloro disponível (concentração e tipo); b) pH; c) Tempo de contato; e d) Temperatura.

Figura 2.1 – Quantidades relativas de ácido de hipocloroso (HOCl) presente em solução em função do pH
Fonte: Nakayama e Bucks (1991)

O ácido hipocloroso reage com o ferro dissolvido, Fe²⁺, oxidando-o para sua forma de precipitado insolúvel (Fe³⁺), e o com ácido sulfídrico (H₂S), formando enxofre elementar (Tabela 2.1, eq. 2.10 e 2.11, respectivamente), os quais poderão precipitar nas linhas do sistema de irrigação, provocando entupimento dos emissores. Pode, também, reagir com amônia (NH₃) e

grupos amido (NH_2), que são partes integrantes da matéria orgânica (Tabela 2.1, eq. 2.12 e 2.13, respectivamente). O cloro em excesso é o que não foi consumido por estas reações e é denominado de cloro livre.

Tabela 2.1 - Formas básicas e reações do cloro e seus sais

$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HOCl}$	(2.6)
$\text{HOCl} = \text{H}^+ + \text{OCl}^-$	(2.7)
$\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}^+ + \text{OH}^- + \text{HOCl}$	(2.8)
$\text{Ca}(\text{OCl})_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- + 2\text{HOCl}$	(2.9)
$\text{HOCl} + 2\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ = 2\text{Fe}^{3+} + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$	(2.10)
$\text{HOCl} + \text{H}_2\text{S} = \text{S}^0\downarrow + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$	(2.11)
$\text{HOCl} + \text{NH}_3 = \text{NH}_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$	(2.12)
$\text{HOCl} + \text{NH}_2\text{Cl} = \text{NHCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$	(2.13)
$\text{HOCl} + \text{NHCl}_2 = \text{NCl}_3 + \text{H}_2\text{O}$	(2.14)
$\text{Cl}_2 + 2\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 2\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{CaCl}_2 + 6\text{CO}_2$	(2.15)
$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{S}^0\downarrow + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$	(2.16)

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

O gás cloro (Cl_2) é comumente utilizado em tratamento de águas para consumo humano. Ele reage com a água, formando ácido hipocloroso (HOCl), hidrogênio (H^+) e cloro (Cl^-), (Tabela 2.1, eq. 2.6), uma reação que abaixa o pH da água de irrigação. O gás cloro deve ser usado somente em ambientes aerados e por pessoas experientes. O hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) encontra-se na forma sólida, e sua reação com água é apresentada na equação 2.9, sendo que nessa reação, íons de Ca^+ e OH^- são formados, aumentando o pH da água, semelhante ao que ocorre com o hipoclorito de sódio. O hipoclorito de cálcio é usado em tratamentos de piscinas porque, além de ser de baixo custo é de fácil uso e estocagem, geralmente tem cerca de 65% de cloro disponível. No entanto, ele pode reagir com outros elementos contidos na água e formar precipitados, que podem obstruir os emissores em sistema de irrigação por gotejamento, de modo que a forma líquida é a mais comumente usada.

Dióxido de cloro (ClO_2) é a forma mais cara de cloro aplicado à água. No entanto, seu potencial de tratamento não é afetado pela faixa de pH normalmente encontrada nas águas, nem pela presença de amônio.

A Tabela 2.2 apresenta uma comparação das diferentes formas de cloro, que podem ser usadas no tratamento de águas. Observe que, os hipocloritos são os produtos mais indicados para os pequenos produtores, pois requerem técnica simples, são de fácil manuseio e de baixo custo.

Tabela 2.2 – Comparação de diferentes formas de cloro

Fator	Produtos		
	Gás de Cloro	Hipocloritos	Dióxido de Cloro
Segurança	Perigoso	Não perigoso	Não perigoso
Gosto e odor	Presente na água	Presente na água	Nenhum
Investimento Inicial	Alto	Baixo	Médio
Custo	Baixo	Baixo	Médio
Técnica requerida	Sofisticada	Simples	Sofisticada

Fonte: Plastro (1993).

A efetividade da cloração é testada medindo-se a concentração de HOCl, sendo que para a realização desta medida em campo, encontram-se disponíveis no mercado unidades portáteis, onde água é testada com uma solução indicadora e a cor resultante é comparada a um quadro de cor, disco ou solução padrão de referência.

Kits de teste estão disponíveis com o N, diamine de N-diethyl-p-phenylene (DPD) reativo de indicador que é específico para determinar o “cloro residual” ou cloro disponível que é o agente bactericida primário.

Ao cloro ativo, capaz de exercer ação desinfetante e ação oxidante e que resta na água após certo tempo da aplicação dos compostos citados anteriormente, denomina-se cloro residual. Além dessa designação outras também são adotadas:

- cloro disponível: é a medida de poder de oxidação de um composto de cloro expresso em termos de cloro elementar;
- cloro residual livre: é o cloro residual presente na água sob a forma de ácido hipocloroso (HOCl) ou ácido hipocloroso dissociado;
- cloro residual combinado: é o cloro residual presente na água, menos o cloro residual livre. (Apresenta-se sob a forma de composto orgânico nitrogenado); e
- demanda de cloro: é a diferença entre a quantidade de cloro aplicado e o cloro residual disponível, ao fim de um período de contato especificado.

É importante salientar que o cloro residual combinado inicialmente aumenta com o aumento do cloro dosado, passando por um máximo, e, a seguir, diminui até um mínimo a partir do qual passa novamente a aumentar. Nesse ponto, para cada aumento de cloro dosado corresponde igual aumento de cloro residual livre. O ponto de inflexão encontrado é comumente chamado de “Break Point”, Rossin (1986). Tal fenômeno está representado na Figura 2.2.

De acordo com American Public Health Association – APHA, (1992b), a eficiência da cloração para todos estes compostos é afetada pelos seguintes fatores; cloro disponível (concentração e tipo), pH, tempo de contato e temperatura.

Figura 2.2 – Curva representativa do ponto de inflexão (Break Point) $N = 1 \text{ mg L}^{-1}$
 Fonte: White (1972), citado por Ribeiro (2003)

2.1.2 Hidráulica dos gotejadores autocompensantes

Atualmente no Brasil há diversos tipos de gotejadores disponíveis no mercado, apresentando diferentes sensibilidades ao entupimento (RAVINA et al., 1992; RESENDE, 1999; PIZARRO, 1996). Segundo Ravina et al. (1992), os gotejadores geralmente apresentam vulnerabilidade aos problemas citados, em função de apresentarem estreitas passagens e pequenas aberturas (0,5 a 1,5 mm), entretanto, aqueles que possuem membranas de compensação ou que possibilitam maior turbilhonamento da água no seu interior apresentam-se menos suscetíveis ao entupimento.

As características dos emissores geralmente são fixas e a variação de vazão é determinada apenas pela variação de pressão. Segundo Keller e Karmeli (1975) a vazão de um emissor é uma função do tipo potência da pressão de operação, conforme a eq. (2.17).

$$q = K \cdot H^x \quad (2.17)$$

em que:

q – vazão do emissor, L h⁻¹;

K – coeficiente de proporcionalidade (adimensional);

H – pressão de entrada do emissor, kPa; e

x – expoente que caracteriza o regime de fluxo no emissor (adimensional).

Para Keller e Karmeli (1975) os valores do expoente “x” variam de 0,5 para emissores com fluxo turbulento, a 1 para fluxo de regime laminar.

Segundo Keller e Karmeli (1974), a equação que descreve a vazão em um gotejador depende do percurso da água ao longo do mesmo, diâmetro de emissão, pressão de serviço e viscosidade do fluido. Estes mesmos autores afirmam que, dentro de um limite de vazão, a característica de fluxo do gotejamento pode ser caracterizado pela eq. (2.17). Nesta equação, o valor de x caracteriza o regime de fluxo e a relação da vazão com a pressão de serviço do gotejador. Desta forma, quanto menor o valor de x , menor o efeito da variação da pressão sobre a vazão.

Para Keller e Karmeli (1975) os gotejadores de longo percurso de saída apresentam regime laminar, podendo apresentar o expoente x igual a 1,0. Isto significa que, nestes gotejadores a relação entre vazão e pressão é linear. Os gotejadores de orifício, em geral têm regime de fluxo turbulento, sendo a vazão proporcional à raiz quadrada da pressão, isto é, $x = 0,5$. Nos gotejadores que apresentam sistema autocompensante, o valor de x é menor que 0,5 chegando atingir um valor próximo de zero na faixa de pressão recomendada pelo fabricante. Desta forma, para qualquer valor de pressão de serviço, a vazão será sempre constante.

A Tabela 2.3 mostra os valores de coeficiente de variação de fabricação e expoente de descarga utilizados para diferentes tipos de emissores.

Tabela 2.3 – Coeficiente de variação de fabricação e expoente de descarga do emissor (x) para vários tipos de emissores (Adaptado de SOLOMON, 1979)

Tipo de dispositivo	CV	x
Vortex único	0,07	0,42
Tubo pequeno	0,05	0,80
Espiral com caminho longo - sem autolavagem	0,02	0,65
Espiral com caminho longo - lavagem manual	0,06	0,75
Caminho longo - autocompensante	0,05	0,40
Caminho longo - autocompensante	0,06	0,20
Caminho longo - tortuoso	0,02	0,65
Parede dupla lateral	0,17	0,61

Keller e Bliesner (1990) utilizam o valor do coeficiente de descarga (x) para classificar o regime de escoamento no emissor, conforme a Figura 8.

Figura 2.3 – Classificação dos emissores segundo seu expoente

2.1.3 Parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de água

Para determinação da uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por gotejamento, deve-se medir a vazão de um determinado número de emissores e diversas linhas laterais e eventualmente a pressão de serviço no início das linhas em função da metodologia a ser adotada. Existem diversos coeficientes para se determinar a uniformidade de distribuição de água em linhas de gotejamento. Merriam e Keller (1978) propuseram um método de obtenção da

uniformidade de emissão (UE), ou uniformidade de distribuição (UD) dada pela relação entre a vazão média dos 25% menores valores e a média de todas as vazões dos gotejadores ensaiados.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (2.18)$$

em que:

UD – uniformidade de distribuição;

$q_{25\%}$ - vazão média do menor quartil; e

q_m – média de todas as vazões.

Podem-se adotar como parâmetros para UD os seguintes valores:

UD	$\geq$	90%	uniformidade excelente;
80%	$\leq$	UD < 90%	uniformidade boa;
70%	$\leq$	UD < 80%	uniformidade regular; e
UD	<	70%	uniformidade ruim.

A interpretação dos valores de uniformidade de emissão pode ser realizada admitindo-se os valores de UD, relacionados com o tipo de aplicação, espaçamento entre emissores e declividade da área, conforme a Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Classificação dos valores de UD

Tipo de aplicação	Esp. (m)	Topografia da área	Declividade	UD (%)
Emissão pontual em culturas perenes	> 4	Uniforme	< 2	90 a 95
		Declivosa ou ondulada	> 2	85 a 90
Emissão pontual em culturas semi-permanentes ou perenes	< 4	Uniforme	< 2	85 a 90
		Declivosa ou ondulada	> 2	80 a 90
Emissão linear em culturas anuais ou perenes	Qualquer	Uniforme	< 2	80 a 90
		Declivosa ou ondulada	> 2	70 a 85

Fonte: ASAE EP 405.1 (1999).

Para Merriam e Keller (1978) a uniformidade de distribuição da água é um fator importante a ser determinado, a fim de relacionar a eficiência de aplicação com o melhor espaçamento entre linhas. Os mesmos autores concluem que a desuniformidade é causada pela variabilidade nas características devido o controle de qualidade nos processos de fabricação e do entupimento dos emissores entre outros fatores.

Vermeiren e Jobling (1997) e Botrel (1984) destacam que pequenas variações na geometria dos orifícios de saída da água provocam sensíveis diferenças na vazão assumindo, em alguns casos, maior importância que as variações de vazão decorrentes das diferenças de pressão ao longo da linha lateral.

Baixos valores de uniformidade podem ser decorrentes de fatores como: a) Diâmetro das tubulações impróprias; b) Pressão de serviço muito alta ou baixa; c) Emissores não apropriados para o sistema projetado; d) Emissores entupidos; e) Mudanças nos componentes do sistema ou desgaste dos mesmos; e f) Mudanças na pressão de saída da bomba.

2.1.4 Coeficiente de variação de fabricação

Dois gotejadores retirados do mesmo lote, testados à pressão e temperatura constantes, poderão possuir diferentes vazões. Essa diferença vai depender do modelo, do projeto do gotejador, dos materiais usados em sua construção e do controle de qualidade com o qual é fabricado (COSTA, 2000).

Moraes (1984) salienta que é praticamente impossível fabricar duas unidades exatamente iguais. Alguma variação sempre existirá entre objetos supostamente “idênticos”.

Admitindo-se que as variações de vazão ocasionadas pelo processo construtivo têm distribuição normal, é possível utilizar-se conceitos da estatística clássica para análises quantitativas. Solomon (1979) estudando as variações da fabricação de vários emissores tipo orifício, classificou e atribuiu uma interpretação física ao coeficiente de variação de fabricação (CV_f) relacionando o desvio-padrão da vazão dos emissores com a vazão média da amostra submetida a testes com pressão constante. Segundo o autor, o CV_f é um importante parâmetro que influencia a uniformidade de emissão de água e a eficiência de aplicação de água pelo sistema.

O coeficiente de variação de fabricação é um índice que informa a variação da vazão para uma determinada amostra de gotejadores novos. Considerando-se que as secções transversais de fluxo são normalmente de diâmetros reduzidos, a fabricação deverá ser precisa e bastante uniforme, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças na vazão.

Keller e Karmeli (1974) propuseram o uso do coeficiente de variação de fabricação (CV_f) em equipamentos de irrigação, como medida estatística do processo de fabricação dos emissores.

O CV_f é um valor adimensional estimado pela relação entre o desvio-padrão da vazão de uma amostra pela respectiva média, conforme a eq. (2.19):

$$CV_f = \frac{s}{q} 100 \quad (2.19)$$

em que:

CV_f – coeficiente de variação de fabricação (%);

s – desvio padrão da vazão média do emissor ($L\ h^{-1}$); e

q – vazão média a determinada pressão e temperatura padrão ($L\ h^{-1}$).

O significado físico do CV_f pode ser explicado por assumir a distribuição de vazão segundo uma “distribuição estatística do tipo normal”, para um dado dispositivo, trabalhando em sua pressão de serviço (SOLOMON, 1979).

Existem diferentes classificações de emissores quanto à uniformidade de vazão, das quais podem ser citadas as de Solomon (1979) que considera excelente o CV_f de até 3%, e a da ABNT (1986) que classifica, como bons, aqueles com CV_f até 10%.

Segundo Hillel (1982), o CV_f pode classificar os emissores, de acordo com os valores apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Classificação do coeficiente de variação de fabricação, conforme Hillel (1982)

a) Para gotejadores, miniaspersores e difusores:	
CV_f até 5%	Bons
CV_f entre 5 e 10%	Médios
CV_f entre 10 e 15%	Deficientes
CV_f acima de 15%	Inaceitáveis
b) Para tubo gotejadores:	
CV_f até 10%	Bons
CV_f entre 10 e 20%	Médios
CV_f acima de 20%	Deficientes e Inaceitáveis

A Tabela 2.6 mostra uma classificação mais atual desenvolvida por Abreu et al. (1987), em que os emissores são separados em dois grupos e classificados.

Tabela 2.6 – Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores segundo Abreu et al. (1987)

CV _f (%)	Uniformidade de fabricação
Grupo 1 – Gotejadores miniaspersores e difusores	
Até 5	Bons
5 a 10	Médios
10 a 15	Deficientes
Acima de 15	Inaceitável
Grupo 2 – Tubogotejadores ou mangueiras de gotejamento	
Até 10	Bons
10 a 20	Médios
Acima de 20	Deficientes Inaceitáveis

Para a determinação do coeficiente de variação de fabricação dos emissores, a ABNT (1986) sugere que se utilize uma amostra de no mínimo 50 emissores para gotejadores e 20 emissores para microaspersores, retiradas aleatoriamente da linha de produção.

Segundo ASAE (1999), o coeficiente de variação de fabricação do gotejador (CV_f) é um termo usado para descrever essa variação antecipada na vazão de uma amostra de gotejadores novos, quando operados numa pressão aproximadamente igual à pressão de serviço recomendada pelo fabricante.

A Tabela 2.7 mostra a recomendação para classificação de emissores, conforme a variação do coeficiente de variação de fabricação, segundo os padrões desenvolvidos pela Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas (ASAE).

Tabela 2.7 – Recomendação para classificação de emissores, conforme a variação do coeficiente de variação de fabricação (Adaptado de ASAE Standard EP405.1, 1999)

Tipo de emissor	CV _f (%)	Classificação
Emissão pontual	<0,05	Bom
	0,05 – 0,10	Média
	0,10 – 0,15	Ruim
	>0,15	Inaceitável
Emissão linear	<0,10	Bom
	0,10 – 0,20	Média
	>0,20	Ruim para inaceitável

2.1.5 Uso de emissores autocompensantes

Para se obter alta uniformidade de vazão dentro de uma faixa larga de pressão operacional, a escolha de emissores autocompensantes, torna-se uma ótima escolha. Emissores autocompensantes são ideais para aplicações exigentes como terreno desigual e linhas laterais longas (Figuras 2.4a, b), são capazes de operar com baixas pressões, reduzindo custos de bombeamento e energia.

a) Aplicação de água com emissor não autocompensante (desuniformidade de aplicação de água)

b) Aplicação de água com emissor autocompensante (uniformidade de aplicação de água)

Figura 2.4a, b – Demonstração do uso de emissores autocompensantes comparado ao uso de emissores não autocompensantes em terrenos declivosos e com linhas laterais longas

O uso de emissores autocompensantes simplifica a elaboração de um projeto de irrigação por gotejamento, podendo ser irrigadas áreas maiores com a utilização de um menor número de dispositivos de regulação de pressão. São fabricados de forma que a vazão de cada emissor seja uniforme dentro de uma faixa de variação da pressão. Uma cor típica na entrada do gotejador identifica a vazão do mesmo.

Estes emissores são moldados à parede interna da tubulação, sendo fabricados atualmente com material sintético elastomérico que apresentam elevada resistência a produtos químicos, fertilizantes e raios ultravioletas.

Um diafragma interno flexível ou um disco dentro do emissor muda a forma a pressões mais altas criando maior restrição para fluir com pressões mais elevadas. Como resultado, permite vazão constante dentro da faixa de pressão operacional.

A baixa pressão, como o sistema está no início de seu funcionamento, o diafragma interno não sofre mudança em sua forma, deixando o caminho livre para o fluxo dentro do emissor no tamanho máximo. A esta pressão, o emissor está operando no “modo de lavagem”. Quando o sistema alcança a pressão operacional para o qual foi projetado (normalmente 100 - 140 kPa), o diafragma torna-se efetivo na compensação da pressão, e a vazão permanece constante, mesmo para pressões mais altas, até o máximo da pressão operacional (350 - 500 kPa).

A entrada da água no gotejador é feita através de um filtro finamente engenhado, projetado para evitar a penetração de partículas de sujeira nas passagens de água. Qualquer partícula que possa causar o entupimento será expelida através das amplas passagens de água, ou incrementará a pressão diferencial, fazendo com que o diafragma momentaneamente aumente o volume de corte transversal da saída de água e expulse a sujeira para fora do sistema. Esta limpeza contínua durante todo o ciclo de funcionamento do emissor, contribui para evitar problemas com obstruções.

A Figura 2.5 compara a vazão para emissores autocompensantes e não autocompensantes. Observa-se que a vazão para emissores não autocompensantes aumenta diretamente com um aumento da pressão enquanto que para os emissores autocompensantes, a vazão permanece quase a mesma para a sua faixa de pressão operacional.

Figura 2.5 – Vazão uniforme na faixa de pressão operacional adequada para emissores autocompensantes (modo operacional)

Os benefícios e as desvantagens dos emissores autocompensantes podem ser enumeradas da seguinte forma: 1) Permite fluxo uniforme, embora a pressão possa variar (ideal para terrenos ondulados ou sistemas com uma elevada variação de pressão); 2) Caminho que permite o fluxo turbulento com geometria tridimensional, sendo que o corpo do emissor e a entrada são feitos de materiais que resistem a substâncias químicas e a degradação por raios ultravioleta e não ocorre esguicho de água, permitindo que a água seja gotejada no local desejado; 3) Diafragma de silicone: material adequado para exposição a longo prazo a substâncias químicas (cloro e ácido nítrico) em concentrações não elevadas e que nos modelos mais atuais apresenta sistema de autolavagem, de flutuação livre, que permite limpar o sistema a qualquer momento durante a operação; 4) Econômico: projeto compacto para baixar o custo e já vem inserido no tubo, permitindo economia de mão-de-obra, tanto na fábrica (montagem) quanto na propriedade rural (instalação).

Na Tabela 2.8 estão descritos os principais fabricantes de emissores autocompensantes.

Tabela 2.8 – Principais fabricantes de emissores autocompensantes

Fabricante	Nome comercial do emissor
AgrifimTM (www.agrifimusa.com)	Iso-Flo TM , Mono-Flo TM , Multi-Flo TM , PC Plus TM , Uni-Flo TM
BowsmithTM (www.bowsmith.com)	Tru-Flo TM
GeoflowTM (www.geoflow.com)	Geoflow PC, Rootguard [®]
NetafimTM (www.Netafim-USA.com)	Ram [®] , Woodpecker [®] , Ram Lite [®] , Techline [®] , Techflow [®] , PC JR [®]
OrbitTM (www.orbit-irrigation.com)	PC Dripper
Plastro (www.plastro.com)	Hydro PC, Supertif, Katif
Rain Bird[®] (www.rainbird.com)	PC Dripline, RainBug [®] PC, Rain Tape [®] -PC
RainDripTM (www.raindrip.com)	PC 2010, PC 2025, PC 2050
SalcoTM (www.salcodrip.com)	PCR
Toro[®] (www.dripin.com)	Drip In PC TM , Techline TM
Wade RainTM (www.waderain.com)	Acu-Flo TM , Micro-flapper TM , Pepco TM emitters

Fonte: Dennis Roll - Irrigation Branch Alberta Agriculture, Food and Rural Development – Agdex 568-3, dezembro, 2001.

2.1.6 Importância e uso dos polímeros

Dentre todos os tipos de materiais poliméricos, as borrachas, ou elastômeros, se distinguem por sua característica única de permitir grande alongamento, seguido instantaneamente de quase completa retração, especialmente quando se encontram na condição vulcanizada. Esse fenômeno foi primeiramente observado na borracha natural, e passou a ser conhecido como elasticidade. A borracha é material considerado de importância estratégica, devido ao papel que desempenha principalmente no transporte de pessoas, matérias-primas, produtos acabados, alimentos (MANO; MENDES, 2004).

Um elastômero é qualquer tipo de polímero que tem as propriedades de uma boa borracha. Uma combinação de elastômero consiste de um polímero básico e outros ingredientes e é um material que é projetado para satisfazer exigências funcionais específicas.

Diversas empresas ao redor do mundo fabricam elastômeros sob diferentes composições de polímeros, que atendem a inúmeras aplicações industriais em diferentes condições de temperatura, pressão e agressividade química. Algumas destas empresas fornecem elastômeros para indústrias de irrigação localizada, visando a fabricação de emissores autocompensantes.

Os principais ingredientes utilizados na confecção de elastômeros são: a) Polímeros: componente básico de uma combinação, que fornece propriedades químicas mecânicas no produto final; b) Suplementos: são agentes que aumentam as propriedades químicas mecânicas; c) Agentes de Vulcanização: utilizados como liga dos polímeros; d) Aceleradores: modificam a taxa de vulcanização; e) Ativadores: iniciam a vulcanização; f) Plasticizadores: suavizam ou melhoram o processamento; g) Processos auxiliares: facilitam a mistura dos reagentes, a extrusão, ou o molde; h) Resistores de idade: reduzem ou retardam o envelhecimento; e i) Outros ingredientes.

Agentes de difundir, pigmentos, retardadores, e odorantes têm propósitos específicos, mas não são necessariamente requeridos.

No processo de fabricação de emissores autocompensantes geralmente é utilizada uma linha de produtos de EPDM e silicone em tira contínua e formas timbradas. Estes produtos são moldados com precisão e oferecem a resistência química necessária para aplicações normais ou extremas. Podem ser modificadas a largura da tira e a espessura para atender o tamanho exato para ajustar ao corte das máquinas dos fabricantes, ou ser fornecidos pedaços individuais pelo fabricante de elastômeros para suprir as necessidades da indústria de irrigação localizada.

Esta tira moldada de elastômero pode ser usada em algumas das aplicações mais exigentes em indústrias multinacionais: a) *Irrigação*: Compensação da pressão em gotejadores e microaspersores; b) *Automóvel*: Bomba de combustível e sistemas de freio; c) *Médico*: Diafragmas, equipamentos farmacêuticos; d) *Eletrodomésticos*; e e) *Especialidade*: Baterias, controles de fluidos, válvulas de aerossol, válvulas de alívio, válvulas de segurança.

Os componentes químicos possíveis de serem utilizados para confecção da tira moldada de elastômero podem ser: a) Nitrila, NBR; b) Flúor-silicone, FVMQ; c) Etileno, Propileno,

EPDM; d) Silicone, VMQ, MQ, PVMQ; e) Viton FKM, FPM; e f) Combinações com água potável também estão disponíveis.

O sucesso do uso de elastômeros para a fabricação de emissores autocompensantes se deve aos avanços tecnológicos que os principais fabricantes de elastômeros fizeram nos últimos 50 anos de pesquisa.

A Figura 2.6 mostra curvas de tensão em módulo para EPDM e Silicone.

Figura 2.6 – Curvas de tensão em módulo para EPDM e Silicone
Fonte: Vernay (2006)

Para atender a indústria da irrigação localizada, os fabricantes de elastômeros analisam as especificações e inclui exigências de serviço mecânicas e físicas, ambiente operacional, ciclo de vida de produto, tamanho de partícula, produção, qualidade e custo total. Sendo que uma equipe especializada escolhe a combinação de ingredientes que produzirão o melhor material para as necessidades do cliente. O resultado da formulação feita sob encomenda, é um produto único para atender as necessidades do cliente. Exames específicos permitem obter qualidade e uniformidade, assegurando uma consistência da combinação de elastômeros desde o desenvolvimento até o produto final.

Com anos na fabricação e desenvolvimento de elastômeros, os Laboratórios Vernay desenvolveram um produto (VernaChlor®) a partir de uma combinação de elastômeros para reprimir a ação do cloro em sistemas de água potável, ou irrigação (Figura 2.7).

Figura 2.7 – Gráfico comparativo VernaChlor versus EPDM quanto ao aumento de volume com o tempo
Fonte: Vernay (2006)

2.2 Desenvolvimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, situada no município de Piracicaba-SP, situado nas coordenadas geográficas de 22° 42’ de latitude Sul e 47° 38’ de longitude Oeste, a uma altitude de 540m.

A bancada de ensaios foi construída em estrutura metálica, sendo composta por três andares, com 11,0 m de comprimento por 4,0 m de largura e 5,80 m de altura, sendo cada andar da bancada independente dos demais, permitindo a realização de ensaios de pesquisa simultâneos. Os andares foram divididos em duas partes, sendo cada uma composta por diferentes níveis para a inserção de linhas gotejadoras (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Foto da bancada de ensaios

O ensaio de tratamento de choque (100 mg L^{-1} de cloro livre) induzido sob condição forçada, foi montado no Setor 1 (térreo) da Bancada (Figura 2.8), com o intuito de otimizar o seu uso, permitindo que em cada andar da mesma, fosse realizado um determinado ensaio, facilitando, assim, o desenvolvimento de diversos estudos simultaneamente. As Figuras 2.9 e 2.10 mostram a distribuição das linhas gotejadoras em cada um dos cinco níveis.

Figura 2.9 – Detalhamento da bancada de ensaios com os cinco níveis

Figura 2.10 – Foto ilustrativa do térreo da bancada de ensaios, onde foi desenvolvido o experimento de tratamento de choque induzido sob condição forçada

Em cada nível foi realizado um tratamento específico como segue abaixo:

1. Nível 1: Tratamento condição dinâmica (aplicação contínua/24 h dia⁻¹ durante 2688 h) com 100 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (12%) com pH na faixa de 5,5 a 6,0 (14 modelos de gotejadores autocompensantes);
2. Nível 2: Tratamento condição estática (1/2 h de aplicação + 1 semana de descanso) com 100 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (12%) com pH na faixa de 5,5 a 6,0 (14 modelos de gotejadores autocompensantes);
3. Nível 3: Tratamento condição estática (1/2 h de aplicação + 1 semana de descanso) utilizando ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 (14 modelos de gotejadores autocompensantes);
4. Nível 4: Tratamento condição estática (12 h de aplicação + 1 semana de descanso) com ácido nítrico a pH 2,0 (14 modelos de gotejadores autocompensantes).

Foram feitas curvas vazão *versus* pressão para os 14 modelos de gotejadores autocompensantes instalados em cada nível, utilizando os seguintes valores de pressão e temperatura da água:

- a) Pressão: 1 kPa, 2 kPa, 3kPa, 4 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 15 kPa, 20 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa, 300 kPa, 350 kPa e 400 kPa; e
- b) Temperatura da água: 15°C ($\Delta T = 10$ a 15 °C), 25 °C (25 °C ± 3 °C) e 40°C (40 °C ± 1 °C);

Foram instalados 14 modelos de gotejadores autocompensantes em cada nível, com vazões e espaçamentos diferentes, ou seja, o número de gotejador presente na linha dependeu do espaçamento fornecido pelo fabricante, porém foi assegurado um número mínimo de 10 emissores para cada modelo analisado.

Em cada ensaio com um determinado modelo de gotejador, envolvendo uma determinada dosagem de cloro ou ácido nítrico, pH, temperatura e tempo de exposição, foi utilizada uma linha de gotejadores novos, para evitar a influência de um determinado tratamento sobre outro, permitindo, assim, verificar adequadamente como ocorreu o dano químico na membrana de compensação do modelo de gotejador avaliado.

2.2.1 Material e Métodos

A Figura 2.11 mostra o esquema geral do experimento.

Figura 2.11 – Esquema geral do experimento

As linhas de gotejadores em cada nível foram sustentadas por um dispositivo que possui uma angulação (10°) que permite o desalinhamento das linhas, impedindo assim o contato da água emitida pelo primeiro nível com os demais e assim sucessivamente, sendo que o espaçamento entre as linhas de tubogotejadores na vertical é de 0,15 m e de 0,095 m na horizontal. Estes dispositivos são fixados em barra de metalon que compõem a sustentação da bancada. Os tubogotejadores são sustentados nestes dispositivos por parafusos ($3/16 \times 1 \frac{1}{2}$ "), que possuem em suas extremidades porcas e arruelas ($3/16$ "), que fazem a função de evitar o desalinhamento dos tubogotejadores (Figuras 2.12a, b).

a

b

Figuras 2.12a, b – Detalhamento do dispositivo e parafuso utilizado para sustentação dos tubogotejadores

a

b

Figuras 2.13a, b – Fixação e identificação das linhas gotejadoras na bancada

A Figura 2.13a,b acima, mostra como são fixadas as linhas gotejadoras na bancada com o uso de braçadeiras em forma de “U” e a identificação utilizada para cada modelo de gotejador. A

Figura 2.13b mostra uma vista parcial do conjunto de peças (tê de $\frac{1}{2}$ ', niple de $\frac{1}{2}$ ' registro de $\frac{1}{2}$ ', adaptador de $\frac{1}{2}$ ' e braçadeira) utilizados para afixar as linhas gotejadoras tanto no início, quanto no final da bancada.

2.2.1.1 Modelos de gotejadores amostrados

Selecionaram-se 14 modelos de gotejadores autocompensantes existentes no mercado nacional, utilizando-se os mais comercializados segundo os fabricantes, embora ocorra uma variação em relação às regiões e às culturas em que o sistema é implantado. Entre os selecionados estão diferentes modelos de emissores autocompensantes, planos, cilíndricos, inseridos e moldados, abrangendo dessa forma uma amostra representativa dos emissores autocompensantes existentes no comércio com fabricantes oriundos de diferentes países (Espanha, Israel, Grécia, EUA e Brasil). Contudo, alguns modelos em uso não foram incluídos devido à dificuldade na aquisição.

Optou-se por ensaiar tubulações gotejadoras utilizando o espaçamento comercializado e não separar os gotejadores para o ensaio na bancada, evitando assim, diferenças relacionadas à influência de emendas e da proximidade dos emissores, adotando assim condições semelhantes a dos irrigantes. Resende (1999) sugere o mesmo, pois a manutenção original do espaçamento de fábrica contribui para reduzir erros e representar melhor a condição real para sistemas de irrigação.

Os espaçamentos dos emissores na linha gotejadora, bem como as vazões e diâmetros de tubulação foram adotados conforme a disponibilidade comercial.

A Tabela 2.9 apresenta a listagem dos emissores que foram utilizados na pesquisa, com suas características técnicas e a vazão mais comercializada no mercado nacional

Tabela 2.9 – Características técnicas dos modelos com fluxo autocompensante, vazões, diâmetro nominal ($\varnothing$ N), pressão de serviço, distância entre gotejadores (DEG), design do labirinto, forma do emissor, membrana de compensação, utilizados na pesquisa

Fabricante	Modelo	Vazão	$\varnothing$ N	Pressão de serviço	Design do labirinto		Forma do emissor			Membrana de compensação de pressão		
		L h ⁻¹	mm	kPa	Curto e tortuoso	Longo e tortuoso	Plano	Cilíndrico	Circular	Retangular	Circular	Outra
Irrimon	Irridrip	2,5	16	100 – 350		X		X				X
Carborundum	Carbodrip PC	2,3	16	100 – 400		X		X				X
Netafim	Uniram	1,6	17	50 – 400	X		X			X		
Naan	Naan PC	3,8	16	100 – 350		X		X		X		
Plastro	Hydro PCND	2,35	16	80 – 350		X		X			X	
Netafim	Ram	2,3	17	50 – 400	X		X			X		
Drip In	Drip In PC	2,4	16	100 – 350		X		X			X	
Naan	Naan PC	2,1	16	100 – 350		X		X		X		
Netafim	Ram	1,6	16	50 – 400	X		X			X		
Irrimon	Twin Plus	1,8	17,5	100 – 350	X				X		X	
Plastro	Hydro PC	2,2	16	80 – 350		X		X			X	
Netafim	Dripnet PC	1,6	17	50 – 400	X		X			X		
Plastro	Hydro PC	2,0	17	80 – 350		X		X			X	
Irrimon	Vip Line	3,6	16	100 – 350	X				X			X

Fonte: Catálogos dos fabricantes.

Como os emissores ensaiados são produtos comerciais, os dados e análises aqui apresentadas foram codificados para evitar qualquer tipo de especulação comercial dos resultados apresentados, uma vez que os ensaios conduzidos não são normatizados. As letras utilizadas na codificação dos modelos de emissores (A, B, C, ..., N), não têm nenhuma relação com os nomes comerciais dos produtos e nem com a sequência de emissores apresentada na Tabela 2.9.

2.2.1.2 Delineamento estatístico

Foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial, com utilização dos testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa SAS (1999), pelo procedimento GLM. A análise de regressão foi feita para as variáveis que apresentaram diferença significativa a 1 ou 5%.

Os fatores analisados foram os seguintes:

Fator 1 – Processo de cloração de choque com uma dosagem de cloro livre (hipoclorito de sódio a 12%).

$n_0 = 0,0 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro livre (testemunha);

$n_1 = 100,0 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro livre.

Fator 2 – pH (faixa de pH entre 5,5 e 6,0);

Fator 3 – Temperatura (i. 25 °C);

Fator 4 – Tempo de exposição ao cloro (i. 24 horas dia^{-1}); e

Fator 5 – Modelo de emissores (14 modelos).

A repetição foi dada pelo número mínimo de gotejadores presentes na linha gotejadora (10), e não pelo número de linhas.

A Tabela 2.10 apresenta a análise de variância para testar a significância da regressão.

Ao testar a significância da regressão, a medida do erro aleatório é chamada variância do erro, de modo que o teste F é a fração da variância decorrente da regressão dividida pela variância do erro: Assim a estatística F é igual ao quadrado médio devido à regressão (QM_{reg}) dividido pelo quadrado médio devido à variação residual (QM_{res}).

Tabela 2.10 – Análise de variância para testar a significância da regressão

Fontes de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade (GL)	Quadrado médio	F
Regressão	$SQ_R = \hat{\beta}_1 S_{xy}^*$	1	$QM_R = SQ_R / GL$	QM_R / QM_E
Erro	$SQ_E = SQ_T - \hat{\beta}_1 S_{xy}$	n-2	$QM_E = SQ_E / GL$	
Total	$SQ_T = SQ_R + SQ_E$	n-1		

* S_{xy} é o numerador do coeficiente angular $\hat{\beta}_1$. A equação que representa a regressão linear é igual a $Y = \beta_0 + \beta_1 X$.

A regra de decisão foi a seguinte: rejeita-se H_0 no nível de significância especificado α (1%), se $F > F_{\text{critico}}$, caso contrário não se rejeita H_0 .

Sendo que para determinar a existência de relação linear significativa entre a variável independente (T – tempo de exposição ao cloro, 24 h dia⁻¹) e a variável explicativa, ou dependente (Q – vazão do gotejador, L h⁻¹), foram formuladas as seguintes hipóteses:

$H_0: \beta_1 = 0$ (não existe relação linear entre T e Q)

$H_1: \beta_1 \neq 0$ (existe relação linear entre T e Q)

O coeficiente de determinação (R^2) mede a proporção da variação que é explicada pela variável independente no modelo de regressão. Alguns estatísticos sugerem que seja calculado um R^2 ajustado para refletir tanto o número de variáveis explicativas no modelo quanto o tamanho da amostra. O R^2 ajustado foi definido pela eq. (2.20):

$$R_{\text{ajust}}^2 = 1 - \left[\left(1 - \frac{SQ_R}{SQ_T} \right) \frac{n-1}{n-2} \right] \quad (2.20)$$

Embora o método dos mínimos quadrados resulte em uma linha que se ajusta aos dados com a quantidade mínima de variação, a equação de regressão não é um método perfeito de previsão, a menos que todos os pontos de dados estejam exatamente na linha de regressão. Esta linha serve somente para uma previsão aproximada de um valor Q para um dado valor de T. Para tanto se usou o erro padrão da estimativa, que representa uma medida de variabilidade em torno da linha de regressão, como uma estatística para mensurar a variabilidade dos reais valores de Q,

através dos valores previstos de T. Para o caso da análise de redução de vazão em função do tempo de exposição da membrana de compensação do gotejador ao cloro, o erro padrão da estimativa dada pelo símbolo S_{QT} foi definido pela eq. (2.21):

$$S_{QT} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n - 2}} \quad (2.21)$$

O erro padrão da estimativa foi medido em unidades da variável dependente ($L h^{-1}$). A interpretação do erro padrão do ajuste, foi então, análogo àquela do desvio padrão.

Para a estimativa do intervalo de confiança para os coeficientes da regressão utilizou-se a estatística t ao nível de 5% de probabilidade. Essa estatística foi obtida dividindo-se o valor do coeficiente da regressão pelo erro padrão. Daí calculou-se os intervalos de confiança para os parâmetros do modelo. Assim, diz-se que os verdadeiros valores de $\hat{\beta}_0$, $\hat{\beta}_1$ estarão no intervalo especificado com 95% de confiança.

2.2.1.3 Análise da água utilizada nos ensaios

Antes de iniciar os ensaios na Bancada foi realizada uma análise da água (Tabela 2.11) no dia 13/10/2005.

Tabela 2.11 – Análise da água utilizada no experimento (13/10/2005)

Análise da água do laboratório de Hidráulica - ESALQ/USP		
Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HC}_3^-$)	mg L ⁻¹	35,8
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	33,9
Nitrato (N-NO ₃)	mg L ⁻¹	20,5
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg L ⁻¹	149,3
Fósforo (P)	mg L ⁻¹	0,05
Nitrogênio Amoniacal (N-NH ₃)	mg L ⁻¹	0,11
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	44,0
Potássio (K ⁺)	mg L ⁻¹	7,1
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	33,2
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	9,2
Ferro (Fe ²⁺)	mg L ⁻¹	0
Cobre (Cu)	mg L ⁻¹	0,01
Manganês (Mn)	mg L ⁻¹	0,09
Zinco (Zn)	mg L ⁻¹	1,14
Boro (B)	mg L ⁻¹	0
Alumínio (Al)	mg L ⁻¹	0
Cor aparente	PtCo	4
Turbidez	FTU	4
Sedimentos em suspensão	mg L ⁻¹	6,0
Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,37
pH		7,5
Gás carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	1,9
Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	6,5
Dureza total (CaCO ₃)*	mg L ⁻¹	120,6

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO₃). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 21ª Edição, 1999

A água que foi utilizada tanto no reservatório 1a, 1b (ensaios de uniformidade de distribuição de água) quanto no reservatório 2 (ensaios com cloro e ácidos periodicamente) foi proveniente da estação de tratamento de água da ESALQ/USP– Piracicaba, SP.

Após 3 e 6 meses de coleta de dados foram realizadas novas análises da água (Tabelas 2.12 e 2.13) utilizada no experimento, para monitoramento da qualidade da mesma.

Tabela 2.12 – Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP (24/01/2006)

Parâmetros	Unidades	Resultados
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HC}_3^-$)	mg L ⁻¹	35,6
Cloreto (Cl ⁻)	mg L ⁻¹	30,7
Sódio (Na ⁺)	mg L ⁻¹	45,0
Cálcio (Ca ²⁺)	mg L ⁻¹	50,5
Magnésio (Mg ²⁺)	mg L ⁻¹	2,9
Condutividade elétrica (CE)	mS cm ⁻¹	0,42
pH		7,2
Gás carbônico (CO ₂)	mg L ⁻¹	3,2
Acidez (CaCO ₃)	mg L ⁻¹	1,9
Dureza total (CaCO ₃)*	mg L ⁻¹	137,9

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO₃). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 21ª Edição, 1999

Tabela 2.13 – Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP (24/04//2006)

Parâmetros	Unidades	Resultados
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HC}_3^-$)	mg L^{-1}	49,0
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	30,5
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	37,0
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	66,1
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	4,3
Ferro (Fe)	mg L^{-1}	0,08
Condutividade elétrica (CE)	mS cm^{-1}	0,40
pH		7,4
Gás carbônico (CO_2)	mg L^{-1}	3,1
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	8,2
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	182,7

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 21ª Edição, 1999

A água, após passar através dos gotejadores, era recolhida por uma telha e conduzida a uma calha que a reconduzia ao tanque de captação, constituindo, assim, um sistema de recirculação de água. As Figuras 2.14 a 2.21 mostram os reservatórios 1a, 1b e 2, a entrada d'água na bancada para abastecer as linhas gotejadoras, e o recolhimento da água nas telhas e calha.

Figura 2.14 – Reservatórios 1a e 1b

Figura 2.15 – Reservatório 2

Figura 2.16 – Entrada da água no nível e ponto de tomada de pressão

Figura 2.17 – Recolhimento da água aplicada no final

Figura 2.18 – Despejo da água aplicada na telha

Figura 2.19 – Despejo da água aplicada na calha

Figura 2.20 – Condução da água aplicada até o reservatório 1a

Figura 2.21 – Condução da água aplicada até o reservatório 2

As Figuras 2.22 a 2.25 mostram os sistemas motobomba dos reservatórios 1 e 2, medidor magnético de vazão, válvula reguladora de pressão e filtro.

A válvula reguladora de pressão foi utilizada para o controle da pressão de serviço em torno de 100 +/- 10 kPa, sendo a mesma colocada à entrada da linha principal de bombeamento para reduzir a oscilação de pressão para cada um dos 5 níveis do térreo da bancada (Figura 2.23).

O filtro de disco de 100 mesh foi utilizado para a retirada de partículas sólidas que porventura entravam no sistema.

Figura 2.22 – Conjunto motobomba

Figura 2.23 – Vista geral dos equipamentos

Figura 2.24 – Medidor magnético de vazão

Figura 2.25 – Filtro e demais acessórios

Utilizou-se um registro de 2' na linha principal e um registro de $\frac{3}{4}$ ' na entrada de cada nível. As linhas gotejadoras foram unidas no início e ao final por registros de $\frac{1}{2}$ ' e conexões de PVC (Figuras 2.26 e 2.27) e sustentadas pelos dispositivos já descritos anteriormente.

Figura 2.26 – Entrada da água na bancada

Figura 2.27 – Detalhe da conexão das linhas gotejadoras no final

O sistema motobomba utilizado nos ensaios foi composto por três bombas centrífugas marca KSB, modelo KSB Megabloc 32-160.1R (utilizada para aplicação de água em todo o sistema e lavagem das linhas laterais), KSB Hydrobloc C 1000 (aplicação dos tratamentos químicos) e KSB Hydrobloc C 500 (leitura de vazão, utilizando o medidor magnético de vazão). Em anexo (anexo D) são apresentadas as curvas, fornecidas pelo fabricante.

A operacionalização do funcionamento da bancada, quanto ao horário de início e de parada, foi efetuada manualmente, obedecendo rigorosamente os horários de aplicação e leitura.

À entrada de cada nível do térreo da bancada, foi instalada uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão a cada medição de vazão, e se necessário, ajustada àquela preestabelecida. Para a medição da pressão de serviço, à entrada da linha de emissores, foi utilizado um manômetro calibrado (Peso Morto) com faixa de leitura de 0 – 700 kPa.

2.2.1.4 Determinação da vazão, do coeficiente de variação e da uniformidade de distribuição

Primeiramente foi realizada uma irrigação de 36 horas com as 14 modelos de gotejadores autocompensantes descritos na Tabela 2.9, para adequar o funcionamento da membrana de compensação de pressão antes de se iniciar o ensaio e também uma leitura de vazão de cada

gotejador em cada uma das linhas a temperatura ambiente (25°C) e pressão de 200 kPa, para verificação do funcionamento dos gotejadores.

A aplicação foi realizada num intervalo de 24 h, sendo preparada uma calda num volume de água de 400 L (reservatório 2). Após o início da aplicação da calda, a pressão era aferida para 200 kPa, sendo medida também a temperatura da solução, e o pH da solução para o monitoramento adequado do ensaio. Para a manutenção do pH na faixa de 5,5 a 6,0 utilizou-se ácido fosfórico 85% P.A.

A leitura de vazão foi feita diariamente para cada uma das 14 linhas gotejadoras, utilizando-se o medidor magnético de vazão. Uma vez por semana foi realizada uma leitura individual dos gotejadores em cada uma das 14 linhas gotejadoras.

O procedimento para as leituras de vazão de cada gotejador consistiu da pressurização do sistema (200 kPa), posicionamento de garrafas plásticas (cortadas ao meio, com tamanho suficiente para receber um volume de até 1L) sob os respectivos gotejadores. Para apoiar as garrafas plásticas junto aos gotejadores, foram utilizadas placas de madeira (25 x 15 cm²) apoiadas sobre a calha para leitura dos gotejadores no nível 1.

O procedimento para leitura, consistiu do posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores com uma defasagem de 5 segundos, retirada sequencial dos coletores após 10 minutos com defasagem de 5 segundos, transporte dos mesmos à bancada de pesagem, pesagem e tabulação dos dados.

Para se obter maior exatidão foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor, expressando-se os valores de vazão em L h⁻¹. Foi utilizada uma balança de precisão certificada (OHAUS) com precisão de 0,01 g (Figura 2.28b). Cada coletor com água foi pesado; descontando-se sua tara e dividido pela densidade da água, para obtenção em volume. A densidade da água foi obtida pela determinação do peso da água em um balão volumétrico de 500 mL, visando considerar a incorporação de ar, que pode chegar a 21 L m⁻³ água.

Em anexo encontra-se disponível as características físicas da água doce, à pressão atmosférica ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$).

Antes da leitura de vazão das linhas gotejadoras, foi feita a lavagem das redes pela abertura dos registros instalados nos finais de cada linha e, logo a seguir, foi realizada a leitura das vazões individuais dos gotejadores ou da linha. Uma adaptação no tubo de 100 mm

conectado ao fundo da calha permitia descartar a água utilizada para lavagem das linhas em um canal dentro do Laboratório de Irrigação, que é utilizado para descarte de água proveniente de ensaios.

A Figura 2.28a mostra os acessórios (suporte de madeira, mangueira, garrafa plástica) utilizados para a coleta da vazão no tempo pré-determinado.

Figura 2.28a – Coleta da água pelo recipiente

Figura 2.28b – Leitura do volume de água coletado em peso

Diariamente foi feita a medida da temperatura e o pH da solução (Figura 2.29) no reservatório 2, para o monitoramento adequado do ensaio. A temperatura da água medida variou de $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante o período de ensaio.

Figura 2.29 – Monitoramento do pH e temperatura da água durante o ensaio

O sistema de aplicação de água foi intensivo, sendo realizada uma avaliação dos níveis de uniformidade de distribuição de água ao final de cada ensaio, permitindo verificar a influência

causada pelo tratamento de choque, sobre o coeficiente de variação de vazão, o desvio padrão, a vazão média e a taxa de diminuição da vazão dos emissores.

Para realizar-se a leitura de vazão das linhas gotejadoras, após 24 horas de aplicação, utilizava-se a água do reservatório 1. Utilizou-se para estas leituras um medidor magnético de vazão Conaut – Krohne modelo IFS 4000 W/6 com conversor de sinal modelo IFC 090 D e com faixa de leitura de $0-90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e precisão de 99%).

O procedimento para a leitura de vazão da linha gotejadora utilizando-se o medidor magnético, consistiu da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 200 kPa no início de cada linha, manutenção de todos os registros no início e final das linhas fechados, com exceção do registro no início da linha gotejadora a ser realizada a leitura. Após a leitura realizava-se a leitura com o registro fechado para observar a vazão residual e a tabulação dos dados. A leitura de vazão no medidor foi feita em $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ e dividida por 1000 para transformar em L h^{-1} , permitindo a comparação com a leitura manual, sendo que para cada leitura aguardava-se a estabilização do medidor magnético de vazão.

Depois de tabulados os pesos, efetuaram-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de fabricação, coeficiente de variação de vazão, uniformidade de distribuição e grau de entupimento pelas eq. (2.22 a 2.28).

$$q_{\text{novo}} = \frac{P}{1000 \, t \, d} 60 \quad (2.22)$$

em que:

q_{novo} – vazão do gotejador novo (primeira leitura), L h^{-1} ;

P – peso da água coletada, g;

t – tempo de coleta, min; e

d – densidade da água utilizada no ensaio, g L^{-1} (o valor médio utilizado para conversão da água para 25°C , foi de 0,997)

$$q_{\text{usado}} = \frac{P}{1000 \, t \, d} 60 \quad (2.23)$$

em que:

q_{usado} – vazão do gotejador usado, L h^{-1} ;

$$\bar{q}_{novo} = \frac{q_{linha}}{N} \quad (2.24)$$

em que:

$\bar{q}_{novo}$ – vazão média do gotejador novo (primeira leitura), L h⁻¹;
 q_{linha} – vazão da linha gotejadora, L h⁻¹; e
 N – número de emissores na linha.

$$CV_f = \frac{s_{novo}}{\bar{q}_{novo}} 100 \quad (2.25)$$

em que:

CV_f – coeficiente de variação da fabricação, %;
 s_{novo} – desvio padrão da vazão dos gotejadores novos (primeira leitura), L h⁻¹; e

$$CV_q = \frac{s_{usado}}{\bar{q}_{usado}} 100 \quad (2.26)$$

em que:

CV_q – coeficiente de variação da vazão, %;
 s_{usado} – desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h⁻¹; e
 $\bar{q}_{usado}$ – vazão média do gotejador usado, L h⁻¹.

$$UD = \frac{q_{25\%}}{q_{média}} 100 \quad (2.27)$$

em que:

UD – uniformidade de distribuição, %;
 $q_{25\%}$ - vazão média de 1/4 dos menores valores, L h⁻¹; e
 $q_{média}$ – vazão média, L h⁻¹.

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{novo}} \right) 100 \quad (2.28)$$

em que:

GE – grau de entupimento, %;

2.2.1.5 Distribuição empírica

Esta distribuição foi utilizada para calcular a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão.

Inicialmente, elaborou-se uma rotina para a divisão em classes de redução de vazão, de acordo com o total de gotejadores para cada modelo de emissor estudado. Neste contexto, foi importante definir a classificação de forma adequada a não causar distorções na distribuição dos dados devido ao uso de um número reduzido ou excessivo de classes. O número de classes que otimiza o estudo da distribuição foi obtido pela fórmula de Yule, definido em função do número de observações (SAMPAIO, 1998):

$$NIC_j = 2,5 \cdot \sqrt[4]{N_j} \quad (2.29)$$

em que:

NIC_j – número ideal de classes de faixas de redução de vazão na j-ésima avaliação; e

N_j – número de observações de total de gotejadores avaliados para cada modelo de emissor estudado na j-ésima avaliação.

O NIC_j foi aproximado para o número inteiro imediatamente superior, de modo a conter todas as observações dentro de todas as classes definidas (SAMPAIO, 1998). Em seguida, para a caracterização das classes de faixa de redução de vazão, foi necessário o cálculo do intervalo de classe (SAMPAIO, 1998).

$$IC_j = \frac{(Máx_j - Min_j)}{NIC_j} \quad (2.30)$$

em que:

IC_j – intervalo de classe de faixas de redução de vazão da j-ésima avaliação, %;

$Máx_j$ – valor máximo de redução de vazão observado na j-ésima avaliação, %; e

Min_j – valor mínimo de redução de vazão observado na j-ésima avaliação, %.

A definição dos limites superior e inferior de cada classe foi efetuada em função do intervalo de classe especificado anteriormente. No caso da classe número 1 (faixa de redução de vazão igual a 0%), o limite inferior correspondeu ao valor mínimo de redução de vazão observado com relação ao total de gotejadores avaliados para um determinado modelo de

gotejador. Para a última classe, o limite superior foi igual ao valor máximo de redução de vazão observado com relação ao total de gotejadores avaliados para o respectivo modelo de gotejador ensaiado. Para as classes intermediárias, a definição foi efetuada da seguinte forma:

$$LI_{kj} = LS_{(K-1)j} \quad (2.31)$$

$$LS_{kj} = LI_{kj} + IC_j \quad (2.32)$$

em que:

LS_{kj} – limite superior da k-ésima classe de redução de vazão na j-ésima avaliação, % ($k = 0, 10, \dots, 100$); e

LI_{kj} – limite inferior da k-ésima classe de redução de vazão na j-ésima avaliação, %.

Cálculos estequiométricos foram realizados para a determinação da dosagem de cloro livre a ser utilizada, sendo que para efeito de monitoramento, amostras de água ao final das laterais foram coletadas para determinar o teor de cloro livre, utilizando-se kits de medição usados no tratamento de piscinas, com a necessária diluição para atingir a faixa de leitura do kit, a qual é de 1 a 5 mg L⁻¹.

Para o cálculo da dosagem de ácido fosfórico 85% P.A. utilizada para manter o pH na faixa de 5,5 a 6,0, foi feita uma curva de titulação conforme os dados apresentados na Tabela 2.14.

Tabela 2.14 – Dados para confecção de curva de titulação para ácido fosfórico 85% P.A. para manutenção do pH na faixa de 5,5 a 6,0

Becker	Ácido Fosfórico 85% P.A. (mL)	pH**
1 – Vol. Solução 200 mL	0,0	8,176
1 – Vol. Solução 200 mL	0,5	2,126
2 – Vol. Solução 200 mL	1,0	1,981
3 – Vol. Solução 200 mL	2,0	1,777
1 – Vol. Solução 1000 mL	0,2	2,843
2 – Vol. Solução 1000 mL	0,5	2,686
3 – Vol. Solução 1000 mL	1,0	2,435
1 – Vol. Solução 8000 mL*	0,2	6,710
2 – Vol. Solução 8000 mL*	0,3	6,324
3 – Vol. Solução 8000 mL*	0,4	6,093
4 – Vol. Solução 8000 mL*	0,5	5,594
5 – Vol. Solução 8000 mL*	0,6	5,375
6 – Vol. Solução 8000 mL*	0,7	4,275
7 – Vol. Solução 8000 mL*	0,8	3,182

* Foi retirada uma alíquota de 200 mL para fazer a leitura no medidor de pH.

** A temperatura de estabilização para leitura no medidor de pH foi de 22,4 °C.

Durante o período de ensaio, a cada três dias a água do reservatório 2 (tratamento) era substituída e uma nova solução preparada para evitar perdas quanto ao teor de 100 mg L^{-1} de cloro livre presente na solução.

Para diminuir a perda de solução por respingo fora da bancada, foram colocadas cortinas laterais, com intuito também de proteger a bancada contra corrosão e os operadores da mesma utilizaram vestimentas especiais para manuseio de ácidos e cloro durante os ensaios (Figuras 2.30a,b).

Figura 2.30a, b – Proteção lateral da bancada e vestimenta utilizada para manuseio de reagentes

2.2.1.6 Avaliação das características hidráulicas dos emissores sob diferentes temperaturas da água

Para a confecção das curvas vazão *versus* pressão foram montadas no Nível 4 (Setor 1), linhas gotejadoras novas representantes dos 14 modelos de gotejadores autocompensantes utilizados nos ensaios. As pressões utilizadas para a confecção das curvas foram as seguintes: 1 kPa, 2 kPa, 3 kPa, 4 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 15 kPa, 20 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 75, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa, 300 kPa, 350 kPa e 400 kPa. Foram feitas também curvas vazão *versus* pressão para os tratamentos com aplicação dinâmica e estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre (Nível 1 e 2) e aplicação estática de ácido nítrico (pH 2,0) por $\frac{1}{2}$ hora. Sendo que para a confecção destas curvas utilizou-se as pressões de 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa.

Para cada uma das pressões descritas acima, foram realizados ensaios com as seguintes temperaturas da água: 15°C ($\Delta T = 10$ a 15°C), $25^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, e $40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.

Inicialmente, foram realizados testes de avaliação das linhas gotejadoras à temperatura de 15°C para identificar possíveis problemas que poderiam ocorrer durante as análises. Com isso,

foi identificada a dificuldade de se manter a temperatura neste valor, com a utilização de um freezer para resfriar a água até a temperatura desejada, pois o sistema motobomba contribuía ao longo do tempo para o aquecimento da água, inviabilizando a análise dos 14 modelos de gotejadores numa dada pressão. A melhor alternativa encontrada, foi trabalhar com uma faixa de temperatura de 10 a 15 °C e o uso de gelo para auxiliar o freezer na manutenção da água dentro desta faixa.

A diferença de temperatura entre o freezer e o final da linha lateral encontrada, foi no máximo de 1°C. Para tanto, o procedimento seguido diariamente para a avaliação das linhas gotejadoras foi o seguinte: media-se a temperatura da água dentro do freezer, caso estivesse bem abaixo da faixa utilizada nas análises, procedia-se à pressurização do sistema (200 kPa) com todos os registros do Nível 4 abertos para recircular a água até atingir a faixa desejada e também recirculava a água com a utilização de um retorno da bomba direto para o freezer (este retorno também tinha a função de auxiliar no controle da pressão durante os ensaios), sendo no entanto medida a temperatura da água tanto no freezer, quanto no primeiro gotejador da primeira linha a ser avaliada. Fechava-se o registro principal (1 ½”) e todos os registros tanto no início quanto no final, com exceção da primeira linha a ser avaliada que permanecia com ambos os registros abertos.

Cuidadosamente a pressão do sistema era ajustada para a pressão requerida e procedia-se a medição da temperatura no primeiro e último gotejador da linha em análise e coletavam-se as vazões de todos os gotejadores na linha utilizando-se o método gravimétrico. Este procedimento foi o mesmo utilizado para a avaliação de todas as demais linhas gotejadoras. Assim, que a temperatura ultrapassava os 15 °C, o sistema era desligado e aguardava-se o resfriamento da água dentro do freezer novamente até atingir 10 °C, utilizando-se no entanto gelo para acelerar o processo.

Para aquecer a água, foi utilizado um conjunto de resistências no reservatório 2 (tratamento). E para permitir o monitoramento do nível de aquecimento da água, devido o uso das resistências e a recirculação da água no sistema, foi utilizado um sistema de controle automático instalado junto ao reservatório para monitoramento, evitando assim, temperaturas acima do desejado. A diferença observada foi de no máximo $\Delta T = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante todo o período do ensaio.

As Figuras 2.31a, b mostram os equipamentos utilizados para promover o resfriamento e o aquecimento da água.

a

b

Figuras 2.31a, b – Equipamentos utilizados para o resfriamento e o aquecimento da água

As Figuras 2.32a, b mostram o manômetro digital utilizado para monitoramento da pressão (faixa de trabalho de 0 a 10 Kgf cm⁻²) e o sistema de controle automático da temperatura da água.

a

b

Figuras 2.32a, b – Equipamentos utilizados para o monitoramento da pressão de serviço (manômetro digital) e controle automático da temperatura da água durante o ensaio

Diariamente o pH da água no freezer (Figura 2.31a) foi medido para acompanhar possíveis alterações, sendo que o mesmo ficou próximo de 7,0 durante todos os ensaios.

O procedimento para as leituras de vazão de cada gotejador consistiu da pressurização do sistema, posicionamento de garrafas plásticas (cortadas ao meio, com tamanho suficiente para receber um volume de até 1L) sob os respectivos gotejadores. Para apoiar as garrafas plásticas junto aos gotejadores, foram utilizadas placas de madeira (25 x 15 cm²) apoiadas sobre as linhas gotejadoras do nível inferior, ou sobre a calha para leitura dos gotejadores no nível 1.

O posicionamento dos coletores sob os respectivos gotejadores foi feito com uma defasagem de 5 segundos, e retirada seqüencial dos coletores após 5 minutos com defasagem de 5 segundos, transporte dos mesmos à bancada de pesagem, pesagem e tabulação dos dados.

Para se obter maior exatidão foi utilizado o método gravimétrico para a determinação do volume coletado de cada emissor, expressando-se os valores de vazão em $L h^{-1}$. Foi utilizada uma balança de precisão certificada (OHAUS) com precisão de 0,01 g. Cada coletor com água foi pesado; descontando-se sua tara e dividido pela densidade da água, para obtenção em volume. A densidade da água foi obtida pela determinação do peso da água em um balão volumétrico de 500 mL, visando considerar a incorporação de ar, que pode chegar a $21 L m^{-3}$ água.

Uma adaptação no tubo de 100 mm conectado ao fundo da calha permitia a recondução da água utilizada para o ensaio ao reservatório 2 (tratamento).

A água utilizada para lavagem das linhas foi descartada em um canal dentro do Laboratório de Irrigação, que é utilizado para descarte de água proveniente de ensaios.

O sistema motobomba utilizado neste ensaio foi composto por uma bomba centrífuga marca KSB, modelo Hydrobloc P 1000, cuja curva fornecida pelo fabricante é apresentada em anexo (anexo D).

Depois de tabulados os pesos, efetuaram-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de fabricação, coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água, utilizando as eq. (2.22 a 2.28).

Após as leituras, as curvas “vazão versus pressão” foram confeccionadas em planilha eletrônica, utilizando, no entanto o software Table Curve 2D para obtenção das respectivas equações dos emissores.

2.2.1.7 Avaliação da variação de volume das membranas de compensação de pressão dos gotejadores pela ação do cloro

Com o intuito de verificar a ação direta do cloro na membrana de compensação retirou-se 6 exemplares das mesmas para cada um dos 14 modelos de gotejadores utilizados nos ensaios. A única exceção quanto ao número de exemplares utilizados para o ensaio, foi para o modelo I, o qual utilizou-se 10 exemplares, devido à membrana do mesmo ser muito pequena, podendo

mascarar a leitura no equipamento (picnômetro) utilizado para a medida do volume das membranas.

As membranas dos diferentes modelos de gotejadores foram mantidas imersas em uma solução de 100 mg L⁻¹ de cloro livre utilizando hipoclorito de sódio (10%), com pH mantido na faixa de 5,5 a 6,0 pelo uso de ácido fosfórico, no reservatório 2 (Tratamento).

O procedimento utilizado para a verificação de possíveis danos causados à membrana de compensação de gotejadores foi o seguinte:

- a) Procedeu-se a identificação das membranas semelhantes que eram utilizadas em modelos de gotejadores do mesmo fabricante, e que apresentavam apenas vazões e espaçamento entre gotejadores diferentes (Tabela 2.15).

Tabela 2.15 – Códigos utilizados para identificação das membranas de compensação, conforme as semelhanças apresentadas entre os modelos avaliados

Código	Modelos
MC1	F, J e K
MC2	G
MC3	L
MC4	I
MC5	B e C
MC6	H e M
MC7	D e E
MC8	A
MC9	N

- b) Mediu-se o volume de cada 6 exemplares de membranas novas em 3 picnômetros diferentes (3 repetições) e calibrados para volume padrão de 50 mL.

A medição do volume seguiu o seguinte procedimento:

- Pesagem do picnômetro + tampa vazio (Padrão 1);
- Pesagem do picnômetro + tampa + água (Padrão 2);
- Pesagem dos exemplares de cada modelo de membrana (Padrão 3);
- Pesagem do picnômetro + tampa + água + membrana (Padrão 4);
- Pesagem da água (PH₂O): Padrão 2 – Padrão 1 (Obs.: O peso da água é igual ao volume de água para densidade 1);
- Pesagem da água para completar o Picnômetro com a membrana (PHM): Padrão 4 – Padrão 3 – Padrão 2;
- Volume da Membrana (VM): (PH₂O) - (PHM); e
- Medição da temperatura da água utilizada no ensaio.

Antes do início do ensaio a água foi fervida a fogo brando e resfriada a temperatura ambiente até atingir valores próximos de 25°C (a faixa de temperatura utilizada foi de 25°C ± 1 °C). Posteriormente foi colocada na câmara de vácuo por 3 minutos para retirada de possíveis bolhas de ar, e somente depois foi despejada dentro do picnômetro.

Após cada procedimento de medição de volume, as membranas eram inseridas em uma rede e imersas na solução de 100 mg L⁻¹ de cloro livre no reservatório 2, sendo que as leituras de alteração de volume das membranas foram realizadas semanalmente.

As Figuras 2.33 a 2.36 mostram as membranas imersas na solução de 100 mg L⁻¹ de cloro livre no reservatório 2.

Figura 2.33 – Reservatório 2 com membranas imersas

Figura 2.34 – Detalhe da imersão das membranas

Figura 2.35 – Rede com as membranas

Figura 2.36 – Reservatório 2 coberto

Durante todos os ensaios o reservatório 2 foi mantido coberto por uma lona para evitar perda da solução por evaporação, ou contaminação.

Para o procedimento de pesagem das membranas, utilizou-se uma balança de precisão (modelo SCIENTECH AS 210) com 4 casas decimais com faixa de leitura de 0,0001g a 210 g.

2.2.2 Resultados e Discussão

2.2.2.1 Análise de água

A variação da temperatura da água e o pH medido no período do ensaio encontram-se na Figura 2.37.

Figura 2.37 – Variação da temperatura e pH da água do reservatório na bancada, durante o período do ensaio

A temperatura da água do ensaio, medida diariamente, apresentou valores acima da temperatura do ar, devido o aquecimento provocado pelo processo de recirculação da água na motobomba e com valores observados dentro da faixa de 20 a 30 °C.

A água utilizada no ensaio tem suas principais características físico-químicas apresentadas nas Tabelas 2.11, 2.12 e 2.13 descritas anteriormente.

Com respeito aos parâmetros mais diretamente relacionados ao risco potencial de causar entupimento relacionados na Tabela 2.11, observa-se que, na fonte utilizada, os teores de $0,00 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe^{2+} , $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ de Mn e 6 mg L^{-1} para sólidos em suspensão encontram-se bem abaixo dos valores indicados como limite de risco mínimo (GILBERT; FORD, 1986).

As Tabelas 2.12 e 2.13 permitem analisar os parâmetros diretamente correlacionados com o cálculo do *Índice de Saturação de Langelier* (SI), determinado com base nos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- e CO_3^{2-} , utilizados para calcular o pH da água, se ela estivesse em equilíbrio químico com CaCO_3 , a uma determinada concentração dos íons cálcio e bicarbonato, pHc, e no valor do pH medido, foi utilizado no sentido de prover uma aproximação sistemática para a determinação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio (EUA, 1965). O SI calculado para a água utilizada no ensaio resultou em valor negativo, indicando não haver tendência de precipitação de carbonato de cálcio e conseqüente potencial de entupimento por tal elemento químico.

2.2.2.2 Vazão média dos gotejadores

Do ponto de vista prático, a vazão média de emissores pode ser considerada um bom parâmetro para avaliar alterações quanto ao funcionamento adequado de emissores, seja devido a problemas de entupimento (CARARO et al., 2006; CLARK; SMAJSTRLA, 1999; CORDEIRO, 2002; RESENDE; COELHO; PIEDADE, 2000;) ou danos à estrutura interna do emissor por ação química (KOEGELENBERG; REINDERS, 2002; SCHISCHA et al, 1997; SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

A Figura 2.38 apresenta a vazão média, expresso em L h^{-1} para os diferentes modelos de gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta manual da vazão.

Figura 2.38 – Variação da vazão média dos gotejadores (L h⁻¹) no período do ensaio, utilizando a coleta manual

A Tabela 2.16 apresenta o número de gotejadores de cada modelo utilizados para o cálculo da média.

Tabela 2.16 – Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível I)

Modelo	NE	Modelo	NE
Modelo A	17	Modelo H	10
Modelo B	12	Modelo I	11
Modelo C	14	Modelo J	14
Modelo D	14	Modelo K	14
Modelo E	21	Modelo L	14
Modelo F	15	Modelo M	21
Modelo G	11	Modelo N	14

Os emissores avaliados apresentaram comportamento diferenciado quanto à redução de vazão, em função do entupimento causado pelo dano à membrana de compensação (aumento de volume com restrição de passagem da água pelo orifício).

Com exceção dos modelos E e I os demais modelos apresentaram desempenho satisfatório, pois praticamente não variaram a vazão com 2688 h de funcionamento. Os modelos A e N foram ensaiados num tempo menor (1512 h), devido ter sido adquiridos após o início do experimento.

Observa-se pela Figura 2.38 que o modelo E, apresentou um desempenho adequado até 1512 h, sendo que após este período ocorreu um declínio na vazão, chegando a um valor próximo de $0,2 \text{ L h}^{-1}$, o que corresponde numa redução de 65% na vazão neste período, sendo que no período anterior a redução foi de 23%.

O modelo I apresentou um bom desempenho somente até 1008 h de funcionamento. Com mais uma semana de funcionamento (168 h) ocorreu uma redução superior a 50% da vazão original. A partir de 1008 h ocorreu um declínio acentuado, atingindo valor próximo de zero já com 1512 h de funcionamento.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados na Figura 2.38, as Tabelas 2.17a e b apresentam os valores de vazão média expresso em L h^{-1} e também expressa em percentagem da vazão nominal (Vazão relativa – QR), apresentada entre parênteses, obtidos pela coleta individual de vazão dos emissores ao longo da linha.

Aplicando-se o teste de Tukey sobre as médias da variável q (vazão do emissor) em função do número de aplicações realizadas, observa-se pela Tabela 2.18 que a vazão média diminuiu gradativamente ao longo do tempo com a aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre. Os modelos E e I foram os que sofreram as maiores alterações de redução de vazão.

Observa-se pela Tabela 2.18 que a comparação das vazões médias entre os diferentes modelos pelo teste de Tukey a 5% de significância, mostrou que os modelos A e E, F e L, G e H, J e K apresentaram médias de vazão semelhantes, ou seja, não diferiram entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey. Isto pode ter ocorrido, devido estes gotejadores apresentarem vazões nominais semelhantes, apesar das características construtivas ser diferentes para muito deles.

Observa-se também que a vazão média para os diferentes modelos de gotejadores diferiu estatisticamente a 5% de significância pelo teste de Tukey ao longo do tempo, mostrando que a ação direta do cloro sobre a membrana de compensação, pode contribuir para a redução de vazão, concordando com Souza; Cordeiro e Costa (2006) que estudando o comportamento da vazão média em relação ao número de aplicações de hipoclorito de sódio à pressão de 235 kPa comparativamente à vazão nominal, mostram que a vazão decresceu gradativamente em todas as doses aplicadas com o aumento do número de aplicações

Tabela 2.17a – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos A, B, C, D, E, F e G

Aplicação	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0	1,55	100	3,80	100	2,01	100	1,57	100	2,20	100	2,19	100	2,98	100
168	1,56	101	3,88	102	1,98	99	1,52	97	2,04	93	2,14	98	2,73	92
336	1,50	97	3,70	97	2,04	101	1,41	90	1,85	84	2,08	95	2,69	90
504	1,41	91	3,73	98	1,94	97	1,40	89	1,81	82	2,02	92	2,66	89
672	1,41	91	3,73	98	1,95	97	1,34	85	1,77	80	1,97	90	2,65	89
840	1,48	96	3,61	95	1,92	96	1,33	85	1,76	79	1,93	88	2,57	86
1008	1,41	91	3,56	94	1,86	92	1,29	82	1,67	76	1,93	88	2,63	88
1176	1,44	93	3,73	98	1,86	99	1,41	89	1,74	79	1,94	89	2,67	90
1344	1,40	91	3,82	101	1,99	99	1,31	84	1,72	78	1,96	89	2,70	91
1512	1,45	94	3,76	99	2,00	99	1,34	86	1,71	77	1,91	87	2,69	90
1680			3,49	92	1,81	90	1,22	78	1,48	67	1,84	84	2,56	86
1848			3,49	92	1,81	90	1,22	78	1,48	67	1,84	84	2,56	86
2016			3,70	97	1,89	94	1,26	80	1,39	62	1,94	88	2,63	88
2184			3,59	95	1,94	97	1,19	76	1,31	58	1,91	87	2,65	89
2352			3,70	97	2,03	101	1,34	85	1,15	50	2,00	91	2,58	86
2520			3,58	94	1,91	95	1,19	76	0,69	28	1,96	90	2,39	80
2688			3,54	93	1,99	99	1,14	73	0,28	12	1,92	88	2,32	78

Tabela 2.17b – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos H, I, J, K, L, M e N

Aplicação	Modelo													
	H		I		J		K		L		M		N	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0	2,70	100	1,81	100	2,00	100	2,04	100	2,35	100	2,27	100	1,63	100
168	2,66	99	1,72	95	1,92	96	1,97	97	2,34	100	2,36	104	1,62	100
336	2,64	98	1,51	84	1,89	94	1,93	95	2,21	94	2,27	100	1,64	101
504	2,60	96	1,42	79	1,85	93	1,84	90	2,19	93	2,22	97	1,64	101
672	2,60	96	1,38	76	1,82	91	1,87	92	2,19	93	2,25	99	1,64	101
840	2,58	96	1,36	75	1,79	90	1,77	87	2,11	90	2,23	99	1,64	101
1008	2,53	94	1,29	71	1,76	88	1,75	86	2,04	87	2,11	93	1,62	100
1176	2,57	95	0,86	48	1,76	88	1,71	84	2,13	91	2,23	98	1,60	99
1344	2,53	94	0,33	19	1,76	88	1,76	86	2,02	86	2,23	98	1,60	98
1512	2,55	95	0,14	8	1,79	90	1,77	87	2,01	86	2,27	99	1,57	97
1680	2,42	90	0,05	3	1,73	87	1,70	83	1,99	85	2,23	98		
1848	2,42	90	0,05	3	1,73	87	1,70	83	1,99	85	2,23	98		
2016	2,50	93	0,00	0	1,77	89	1,73	85	1,94	83	2,21	97		
2184	2,48	92	0,00	0	1,73	87	1,64	80	1,90	81	2,24	99		
2352	2,58	96	0,00	0	1,72	86	1,64	81	1,92	82	2,24	99		
2520	2,53	94	0,00	0	1,69	85	1,64	80	1,89	80	2,40	105		
2688	2,56	95	0,00	0	1,72	86	1,68	82	1,90	81	2,29	101		

Tabela 2.18 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando a coleta individual da vazão dos gotejadores, para os modelos A a N e testes de média, respectivamente

							Modelos									
horas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Média	
0	1,55 ^{ab}	3,80 ^{ab}	2,01 ^{ab}	1,57 ^a	2,20 ^a	2,19 ^a	2,98 ^a	2,70 ^a	1,81 ^a	2,00 ^a	2,04 ^a	2,35 ^a	2,27 ^{abc}	1,63 ^a	2,22 ^a	
168	1,56 ^a	3,88 ^a	1,98 ^{abc}	1,52 ^{ab}	2,04 ^{ab}	2,14 ^{ab}	2,73 ^{ab}	2,66 ^{ab}	1,72 ^{ab}	1,92 ^{ab}	1,97 ^{ab}	2,34 ^a	2,36 ^{ab}	1,62 ^a	2,18 ^{ab}	
336	1,50 ^{abc}	3,70 ^{abc}	2,04 ^a	1,41 ^{abc}	1,85 ^{abc}	2,08 ^{abc}	2,69 ^{ab}	2,64 ^{abc}	1,51 ^{bc}	1,89 ^{abc}	1,93 ^{ab}	2,21 ^b	2,27 ^{abc}	1,64 ^a	2,10 ^{bc}	
504	1,41 ^c	3,73 ^{abc}	1,94 ^{abc}	1,40 ^{abc}	1,81 ^{bcd}	2,02 ^{bcd}	2,66 ^{ab}	2,60 ^{abc}	1,42 ^c	1,85 ^{bcd}	1,84 ^{bcd}	2,19 ^b	2,22 ^{bc}	1,64 ^a	2,05 ^{cd}	
672	1,41 ^c	3,73 ^{abc}	1,95 ^{abc}	1,34 ^{bcd}	1,77 ^{bcd}	1,97 ^{cde}	2,65 ^{ab}	2,60 ^{abc}	1,38 ^c	1,82 ^{bcd}	1,87 ^{bc}	2,19 ^b	2,25 ^{abc}	1,64 ^a	2,04 ^{cde}	
840	1,48a ^{bc}	3,61 ^{bc}	1,92 ^{abcd}	1,33 ^{bcd}	1,76 ^{bcd}	1,94 ^{cde}	2,57 ^{ab}	2,58 ^{abcd}	1,36 ^c	1,79 ^{bcd}	1,77 ^{cde}	2,11 ^{bcd}	2,23 ^{abc}	1,64 ^a	2,01 ^{def}	
1008	1,41 ^c	3,56 ^{bc}	1,86 ^{cd}	1,29 ^{cd}	1,67 ^{cde}	1,93 ^{de}	2,63 ^{ab}	2,53 ^{abcd}	1,29 ^c	1,76 ^{cde}	1,75 ^{cde}	2,04 ^{cde}	2,11 ^c	1,62 ^a	1,96 ^{defg}	
1176	1,44 ^c	3,73 ^{abc}	1,87 ^{abc}	1,41 ^{abc}	1,74 ^{bcd}	1,94 ^{cde}	2,67 ^{ab}	2,57 ^{abcd}	0,86 ^d	1,76 ^{cde}	1,71 ^{de}	2,13 ^{bc}	2,23 ^{bc}	1,60 ^a	1,98 ^{defg}	
1344	1,40 ^c	3,82 ^{ab}	1,99 ^{abc}	1,31 ^{bcd}	1,72 ^{bcd}	1,96 ^{cde}	2,70 ^{ab}	2,53 ^{abcd}	0,33 ^e	1,76 ^{cde}	1,76 ^{cde}	2,02 ^{def}	2,23 ^{bc}	1,60 ^a	1,93 ^{efg}	
1512	1,45 ^{bc}	3,76 ^{abc}	2,00 ^{abc}	1,34 ^{abc}	1,71 ^{cde}	1,91 ^{de}	2,69 ^{ab}	2,55 ^{abcd}	0,14 ^{ef}	1,79 ^{bcd}	1,77 ^{cde}	2,01 ^{def}	2,27 ^{abc}	1,57 ^a	1,92 ^{efgh}	
1680		3,49 ^c	1,81 ^d	1,22 ^{cd}	1,48 ^{def}	1,84 ^e	2,56 ^{ab}	2,42 ^d	0,05 ^{ef}	1,73 ^{de}	1,70 ^{de}	1,99 ^{ef}	2,23 ^{bc}		1,88 ^{ghi}	
1848		3,49 ^c	1,81 ^d	1,22 ^{cd}	1,48 ^{def}	1,84 ^e	2,56 ^{ab}	2,42 ^d	0,05 ^{ef}	1,73 ^{de}	1,70 ^{de}	1,99 ^{ef}	2,23 ^{bc}		1,88 ^{ghi}	
2016		3,70 ^{abc}	1,89 ^{bcd}	1,26 ^{cd}	1,39 ^{efg}	1,94 ^{cde}	2,63 ^{ab}	2,50 ^{bcd}	0,00 ^f	1,77 ^{cde}	1,73 ^{cde}	1,94 ^{ef}	2,21 ^{bc}		1,91 ^{fgh}	
2184		3,59 ^{bc}	1,94 ^{abcd}	1,19 ^{cd}	1,31 ^{fg}	1,91 ^{de}	2,65 ^{ab}	2,48 ^{cd}	0,00 ^f	1,73 ^{de}	1,64 ^e	1,90 ^f	2,24 ^{bc}		1,88 ^{ghi}	
2352		3,70 ^{abc}	2,03 ^{bc}	1,34 ^{abc}	1,15 ^g	1,99 ^{cd}	2,58 ^{ab}	2,58 ^{abcd}	0,00 ^f	1,72 ^{de}	1,64 ^e	1,92 ^f	2,24 ^{bc}		1,90 ^{gh}	
2520		3,58 ^{bc}	1,91 ^{bcd}	1,19 ^{cd}	0,69 ^h	2,00 ^{bcd}	2,39 ^b	2,53 ^{abcd}	0,00 ^f	1,69 ^e	1,64 ^e	1,89 ^f	2,40 ^a		1,82 ^{hi}	
2688		3,54 ^{bc}	1,99 ^{abc}	1,14 ^d	0,28 ⁱ	1,92 ^{cde}	2,32 ^b	2,56 ^{abcd}	0,00 ^f	1,72 ^{de}	1,68 ^{de}	1,90 ^f	2,29 ^{ab}		1,77 ⁱ	

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

As Tabelas 2.19 a 2.32 mostram os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades, para os valores de vazão média ($L\ h^{-1}$) mostrados na Tabela 2.18, utilizando o tratamento com $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre (aplicação dinâmica) para cada um dos modelos de gotejadores ensaiados ao longo do tempo.

Tabela 2.19 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,52280***	0,01894	80,41	-0,00017 $\leftrightarrow$ 3,045765
(β_1)	-0,01495***	0,00305	-4,90	$-5 \times 10^{-06} \leftrightarrow -0,0299$
R ²	0,1966			
F	23,98***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.20 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	3,77804***	0,03054	123,70	0,000242 $\leftrightarrow$ 7,555838
(β_1)	-0,01298***	0,00298	-4,35	$-1,7 \times 10^{-05} \leftrightarrow -0,02594$
R ²	0,1014			
F	18,96***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.21 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,98404***	0,01777	111,63	0,000375 $\leftrightarrow$ 3,967705
(β_1)	-0,00529***	0,00173	-3,05	$-1,4 \times 10^{-05} \leftrightarrow -0,01057$
R ²	0,0525			
F	9,31***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.22 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,51524***	0,02324	65,21	-0,00024 $\leftrightarrow$ 3,03072
(β_1)	-0,01858***	0,00227	-8,19	$1,13 \times 10^{-05} \leftrightarrow -0,03717$
R ²	0,2854			
F	67,10***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.23 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,34201***	0,05067	46,22	$4,26 \times 10^{-05} \leftrightarrow 4,683977$
(β_1)	-0,09449***	0,00494	-19,11	$-8,7 \times 10^{-05} \leftrightarrow -0,18889$
R ²	0,6849			
F	365,15***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.24 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,07207***	0,01678	123,47	0,000243 ↔ 4,143897
(β_1)	-0,01027***	0,00164	-6,27	$1,28 \times 10^{-05}$ ↔ -0,02055
R ²	0,1897			
F	39,32***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.25 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,80627***	0,04886	57,44	-0,00025 ↔ 5,612788
(β_1)	-0,02176***	0,00477	-4,56	$-8,8 \times 10^{-06}$ ↔ -0,04351
R ²	0,1103			
F	20,83***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.26 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,64250***	0,01866	141,58	0,000617 ↔ 5,284383
(β_1)	-0,00958***	0,00182	-5,26	$-6,8 \times 10^{-06}$ ↔ -0,01915
R ²	0,1413			
F	27,65***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.27 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,94557***	0,04784	40,67	$-8,3 \times 10^{-05}$ ↔ 3,891223
(β_1)	-0,13764***	0,00467	-29,48	$3,16 \times 10^{-05}$ ↔ -0,27531
R ²	0,8380			
F	869,30***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.28 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,91898***	0,01461	131,32	0,000395 ↔ 3,837565
(β_1)	-0,01349***	0,00143	-9,46	$3,78 \times 10^{-05}$ ↔ -0,02702
R ²	0,3475			
F	89,46***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.29 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,96929***	0,01529	128,77	0,000397 $\leftrightarrow$ 3,938183
(β_1)	-0,01840***	0,00149	-12,33	-2,8 x 10 ⁻⁰⁵ $\leftrightarrow$ -0,03677
R ²	0,4751			
F	152,07***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.30 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,29361***	0,01251	183,30	0,000527 $\leftrightarrow$ 4,586693
(β_1)	-0,02632***	0,00122	-21,55	-2,9 x 10 ⁻⁰⁵ $\leftrightarrow$ -0,05261
R ²	0,7343			
F	464,41***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.31 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	2,22883***	0,02035	109,53	-0,00011 $\leftrightarrow$ 4,457766
(β_1)	0,00217 ^{ns}	0,00199	1,09	9 x 10 ⁻⁰⁷ $\leftrightarrow$ 0,004339
R ²	0,0071			
F	1,19 ^{ns}			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 2.32 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%
Intercepto (β_0)	1,65793***	0,01315	126,03	0,000635 $\leftrightarrow$ 3,315225
(β_1)	-0,00581***	0,00212	-2,74	-1,2 x 10 ⁻⁰⁶ $\leftrightarrow$ -0,01162
R ²	0,0711			
F	7,50***			

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

A análise das Tabelas 2.19 a 2.32 mostram que a análise de regressão para cada modelo de gotejador foi significativa a 1 e a 5%, ou seja ocorreu ao longo do tempo redução da vazão, devido à ação do cloro sobre a membrana, concordando com o Schischa et al. (1997) que mostra em seus estudos que o uso de uma alta dosagem de cloro, pode afetar a regulação da membrana, comprometendo todo o funcionamento do sistema de irrigação por gotejamento, exceto para o emissor M que não foi significativo a 5% pela análise de regressão.

A Figura 2.39 apresenta a variação da Vazão relativa (QR) para cada um dos modelos de gotejadores avaliados, no período do ensaio.

Figura 2.39 – Variação da vazão relativa (QR) no período do ensaio

A análise dos dados pelas Tabelas 2.17a, b, e pela Figura 2.39 mostram a ocorrência de um declínio acentuado na vazão relativa (%) dos modelos E e I em relação aos demais modelos, os quais as reduções de vazão deram-se uniformemente, ao longo do período do ensaio. Ou seja, para a maior parte dos modelos, ocorreram reduções de vazão significativas entre épocas de amostragem, sendo que nesse aspecto, o modelo M consistiu exceção, uma vez que a vazão relativa apresentou aumento ao longo do ensaio, superior a 100% para duas épocas de leitura (168 h e 2520 h de funcionamento), durante o período de ensaio.

As pequenas oscilações na vazão relativa mostradas na Figura 2.39 e Tabelas 2.17a, b se devem, provavelmente, às obstruções aleatórias que ocorriam pelo efeito de alguma eventual sobrepressão no sistema e de uma influência mais acentuada da variação de temperatura na vazão (alteração da viscosidade da água) durante o período de ensaio, concordando com Leite (1995).

Os percentuais de redução de vazão, determinados no ensaio, encontram-se próximos daqueles encontrados por Sagi; Paz e Ravina (1995) os quais encontraram reduções de até 38%, em relação à vazão inicial, causadas por mucilagem do protozoário *Epistylis balanarum*, com reduções de até 57% na área de passagem de água do emissor. Nakayama; Bucks e French (1977) observaram reduções de vazão de 25% a 50% causadas principalmente por mucilagem de bactéria, não identificada pelos autores, em gotejadores com 2 anos de funcionamento.

Conforme trabalhos desenvolvidos por Pizarro (1996) e Boman e Ontermmaa (1994) quanto menor o diâmetro do orifício de passagem de água, maior será a suscetibilidade de ocorrência de entupimento por causas diversas. Nesse aspecto, a observação dos dados de redução de vazão, em relação ao diâmetro de orifício de passagem de água para os modelos E e I, não apresenta boa correlação. O modelo D (vazão nominal = $1,57 \text{ L h}^{-1}$) diferencia do modelo E (vazão nominal = $2,20 \text{ L h}^{-1}$) apenas por apresentar menor vazão, devido um menor diâmetro de orifício, sendo que o modelo D não apresentou as mesmas características de entupimento ocorridas com o modelo E, que apresentou para o mesmo período de ensaio uma redução de 88% na vazão relativa em comparação ao modelo D que apresentou redução de 27% na vazão relativa. Provavelmente isto ocorreu pelo modelo D apresentar menor diâmetro do orifício de passagem de água e conseqüentemente a membrana de compensação ficou exposta a um menor volume de solução durante o período de ensaio.

Desta forma, torna-se importante observar outros aspectos (assentamento da membrana sobre o orifício e o labirinto, resistência do material elastomérico, volume de solução ao qual foi exposto o emissor) que possam contribuir juntamente com o diâmetro do orifício de passagem de água para causar o entupimento.

2.2.2.3 Uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação de vazão (CV)

A Figura 2.40 apresenta a variação da uniformidade de distribuição de água (UD), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores avaliados.

Figura 2.40 – Variação da uniformidade de distribuição de água (UD), no período do ensaio

Verificou-se que todos os modelos de tubos gotejadores foram afetados em suas uniformidades de distribuição, numa intensidade diferenciada, conforme a Figura 2.40 e a Tabela 2.33. Os modelos A, B, F, H, L, M e N, apresentaram uniformidade de distribuição de água superior a 90%, podendo ser classificada como excelente, segundo Solomon (1979). Os modelos C, D e J, apresentaram valores na faixa de 80 – 90%, podendo ser classificados como bons e os modelos G e K apresentaram valores > 75%. Já os modelos E e I, chegaram a níveis inadequados para utilização na irrigação por gotejamento a partir de 2184 h e 1008 h de funcionamento, apresentando a partir de 2520 h (modelo E) e 1512 h (modelo I) valores nulos de UD. A Tabela 2.33 mostra a partir das horas de funcionamento em que UD é nulo, valores de UD igual a 100%, devido todos os gotejadores na linha estarem entupidos, indicando uma elevada uniformidade de vazão, porém com valor de vazão igual à zero.

O modelo que demonstrou redução menos brusca na sua UD foi o modelo B, sendo que o menor valor por ele apresentado foi de 2,04% com 2016 h de funcionamento.

O coeficiente estatístico de variação de vazão (CV), determinado pelo desvio-padrão dos valores de vazão da amostra, em relação à vazão média, representa uma medida de dispersão relativa dos dados, e quando aplicado em uma amostra de emissores novos, é definido como o coeficiente de variação de fabricação, o qual representa pequenas diferenças construtivas de cada emissor (SOLOMON, 1979). Os modelos A, B, C, E, F, H, J, K, L, M e N, apresentaram

coeficiente de variação de vazão no início (0 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre) menor que 5%, enquanto que os demais modelos apresentaram valores de CV maior que 10% no início.

As diferenças encontradas, nas demais épocas de amostragem estão relacionadas ao processo de entupimento dos emissores devido o desgaste da membrana de compensação (aumento de volume).

Os modelos A, B, C, F, H, J, L, M e N, apresentaram coeficiente de variação no final do experimento $<10\%$, enquanto que os modelos D, F, G e K apresentaram valores $< 20\%$ com 2688 h de funcionamento. Já os modelos E e I apresentaram uma tendência de acréscimo nos valores de CV ao longo do experimento, sendo que com 2688 h de funcionamento, o modelo E apresentou um acréscimo de 185% no valor de CV em relação ao valor medido no início do experimento e o modelo I apresentou um acréscimo superior a 220% no valor de CV em relação ao CV inicial.

O modelo que apresentou o melhor desempenho com respeito ao CV foi o modelo B, até o tempo de operação de 2688 h, indicando que a redução de vazão de 7% no período, se deu uniformemente para todos os emissores na linha lateral.

Testezlaf e Campioni (1993) encontraram CV_f médio de 2,8% para o tubo gotejador Queen Gil, com emissores tipo labirinto, espaçados 0,30 m indicando uma boa qualidade de fabricação e, para o mesmo tubo gotejador, Schmidt (1995) encontrou CV_f médio de 3,11%. Frizzzone et al.(1998) encontraram CV_f médio de 1,74% a 2,4%, com valor médio de 1,97% para o tubo gotejador Rain-Tape TPC, fabricado pela Rain Bird, valores estes, que são inferiores aos valores informados pelo fabricante.

A Figura 2.41 apresenta o coeficiente de variação (CV), no período do ensaio, para os modelos de gotejadores avaliados.

Figura 2.41 – Coeficiente de variação (CV), no período do ensaio

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras 2.40 e 2.41, as Tabelas 2.33 e 2.34 apresentam os valores de uniformidade de distribuição de água (UD, %) e coeficiente de variação (CV, %) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio.

Tabela 2.33 – Uniformidade de distribuição de água (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio

Aplicação	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0	96,24	95,68	96,42	96,02	94,44	96,41	86,80	96,81	91,34	96,68	96,02	95,31	94,28	97,13
168	96,18	95,69	94,98	95,50	97,06	96,72	87,96	96,76	93,04	97,15	96,17	97,64	95,77	96,47
336	95,96	96,14	97,41	96,62	96,35	96,53	86,24	96,19	91,21	96,72	94,01	97,66	94,55	96,70
504	95,48	95,96	96,45	95,94	92,76	96,81	86,94	96,99	90,66	97,05	93,46	97,91	93,15	96,73
672	95,48	95,91	96,57	95,88	93,71	97,46	87,19	96,69	91,36	96,98	92,68	96,82	92,47	96,73
840	89,26	96,18	96,73	94,65	93,85	95,57	84,66	96,48	87,40	96,44	93,65	96,17	93,43	96,69
1008	90,32	95,82	96,60	94,33	93,88	94,65	87,24	96,74	91,40	97,11	93,32	97,82	92,99	96,96
1176	90,27	94,05	96,60	90,44	90,54	94,19	87,97	96,33	42,60	96,87	91,51	97,08	93,36	96,00
1344	91,75	95,05	98,41	94,98	91,45	94,85	87,46	96,19	4,45	96,42	92,64	94,97	95,77	96,01
1512	90,01	94,50	96,52	93,18	89,74	92,38	86,69	92,98	100,00	96,23	93,19	96,33	93,85	93,33
1680		96,36	96,43	89,75	86,26	93,56	82,99	95,16	100,00	97,24	91,37	96,68	94,43	
1848		96,36	96,43	89,75	86,26	93,56	82,99	95,16	100,00	97,24	91,37	96,68	94,43	
2016		93,64	92,57	89,47	84,57	94,51	87,60	94,26	100,00	93,42	89,74	96,77	93,09	
2184		94,60	92,64	89,04	84,06	96,02	83,73	93,14	100,00	91,40	86,34	95,84	92,70	
2352		95,87	88,90	83,76	37,56	95,06	83,74	95,89	100,00	92,48	87,11	94,28	93,83	
2520		95,89	88,60	87,34	100,00	89,97	76,70	95,62	100,00	88,97	79,53	94,44	91,33	
2688		95,96	95,70	80,06	100,00	93,21	80,25	93,89	100,00	91,50	85,24	92,06	91,91	

Tabela 2.34 – Coeficiente de variação (%) médio das vazões individuais dos gotejadores no período do ensaio

Aplicação	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0	2,85	3,53	2,87	6,89	4,07	2,74	9,38	2,85	7,69	3,28	3,54	4,09	3,04	2,99
168	3,06	3,79	3,82	5,79	2,59	2,46	8,98	2,85	6,16	3,08	3,16	2,17	3,33	3,02
336	3,41	3,76	2,39	3,17	3,36	3,32	10,76	3,21	7,51	2,90	5,74	2,42	4,21	3,26
504	4,04	4,17	3,07	3,68	4,08	2,85	9,84	2,84	7,77	3,32	6,08	2,35	5,23	2,99
672	4,04	3,23	3,15	3,42	3,99	2,82	10,45	2,92	7,38	2,94	6,41	2,82	5,33	2,99
840	7,72	3,40	2,84	4,70	4,65	3,57	11,97	3,17	9,51	3,26	5,75	3,21	5,12	3,08
1008	7,85	4,25	3,04	5,03	4,79	3,90	10,00	3,04	7,41	3,02	6,32	2,26	5,52	2,59
1176	8,03	5,16	3,04	14,19	7,25	4,08	9,60	3,68	47,34	2,83	7,04	2,49	4,15	3,51
1344	6,52	4,61	1,34	3,87	5,66	4,13	9,37	3,57	122,29	3,34	6,63	3,98	4,38	3,31
1512	7,44	4,36	3,02	7,13	5,72	5,81	9,92	6,23	181,32	3,50	6,23	3,05	5,42	6,34
1680		3,67	3,16	9,00	10,91	5,70	12,57	4,20	232,50	2,79	7,60	3,14	5,37	
1848		3,67	3,16	9,00	10,91	5,70	12,57	4,20	232,50	2,79	7,60	3,14	5,37	
2016		8,58	6,10	8,32	10,67	4,49	9,24	5,34	0,00	5,46	8,77	2,85	5,33	
2184		6,26	5,58	10,29	10,19	4,05	11,81	6,86	0,00	6,72	11,12	3,70	5,87	
2352		4,36	8,57	18,32	36,88	4,20	11,73	3,63	0,00	6,01	10,95	4,57	5,36	
2520		3,81	9,19	19,01	75,24	7,86	17,77	4,19	0,00	9,20	16,02	4,83	6,80	
2688		3,96	3,81	17,42	189,44	6,51	15,67	5,67	0,00	6,98	15,91	6,47	6,60	

Adicionalmente à determinação do coeficiente de variação das vazões, como medida da desuniformidade causada pelo entupimento dos emissores, e à determinação da uniformidade de distribuição de água (UD), proposto por Karmeli e Keller (1975), o qual leva em conta 25% das menores vazões encontradas no conjunto de dados em relação à vazão média. Foi realizada uma correlação entre uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV), para cada um dos modelos de gotejadores estudados.

Observa-se que tal metodologia apresenta boa correlação com os valores de CV, para os modelos A, C, F, G, H, J, K, L e N, conforme se pode visualizar nas Figuras 2.42a, b. O modelo I apresentou uma correlação insatisfatória entre UD e CV, e os demais modelos apresentaram correlação com $R^2 > 50\%$. A baixa correlação apresentada pelo modelo I, pode ter ocorrido devida uma elevada alteração do CV. Isto porque este emissor mostrou-se altamente sensível a ação do cloro ao longo do experimento.

Para o modelo E observou-se que o entupimento dos emissores ao longo da linha lateral ocorreu de forma aleatória durante todo o ensaio. Já o emissor I apresentou entupimento ao longo da linha gotejadora de forma aleatória até a sétima semana de ensaios, quando então o entupimento passou a ser mais expressivo no início da linha gotejadora, fato este que contribuiu para o aumento do coeficiente de variação de vazão durante o período de ensaio para ambos os modelos de gotejadores (anexo ZA).

Apesar de regularmente, antes da leitura de vazão de cada linha gotejadora ter-se procedido à lavagem das linhas laterais com água sob pressão com os finais de linhas abertos e conseqüente descarte desta água, pode ter ocorrido uma deposição dos resíduos do hipoclorito de sódio na linha, contribuindo para um aumento do efeito degradativo do cloro, aumentando assim, o coeficiente de variação de vazão (CV) para estes emissores.

Figura 2.42a – Correlação entre coeficiente de uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV), no período do ensaio (modelos A a H)

Figura 2.42b – Correlação entre coeficiente de uniformidade de distribuição de água (UD) e coeficiente de variação (CV), no período do ensaio (modelos I a N)

Durante o ensaio com aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre a temperatura ambiente (25°C), foram realizadas curvas vazão *versus* pressão para 0h, 1152 h e 2688 h e 1512 h* (modelos A e N) de funcionamento do sistema (Figuras 2.43a, b e c), com cinco diferentes pressões de funcionamento, todas dentro da faixa recomendada pelos diferentes fabricantes, a fim de se estimar possíveis danos provocados pela utilização de produtos químicos à membrana do gotejador, responsável pelo sistema de compensação de vazão.

Figuras 2.43a e b – Curvas vazão versus pressão para 0 h e 1152 h (modelos A a N) com aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25 °C)

Figura 2.43c – Curvas vazão versus pressão para 2688 h e 1512 h* (modelos A a N) com aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25 °C)

Observa-se pelas Figuras 2.43a, b e c, que para os tempos aos quais foram realizadas as curvas (0 h, 1152 h, e 2688 h), os modelos E e I foram os que sofreram maior redução de vazão para as diferentes pressões utilizadas para a confecção das curvas.

Para todos os modelos ensaiados, com exceção do modelo I, observou-se pouca influência da pressão quanto à variação de vazão, ou seja, a pressão não afetou a regulação da membrana, apesar de ter causado danos à mesma em alguns casos. Isto pode ser melhor observado para o caso do modelo E que apresentou redução de vazão ao longo do tempo, mas sem a ocorrência de distúrbios quanto a compensação de pressão por parte da membrana na faixa de 50 a 400 kPa em todas as curvas realizadas, com exceção da curva realizada para 2688 h de funcionamento, onde as pressões de 50 e 400 kPa, afetaram a regulação da membrana, por se tratar de pontos extremos dentro da faixa operacional do gotejador, sujeitas a maior interferência da ação química do cloro sobre a membrana, no caso deste emissor.

A Tabela 2.35 apresenta os valores dos coeficientes da equação do emissor (K e x), e vazão média (q_m) para as curvas vazão *versus* pressão mostradas anteriormente, para temperatura da água igual a 25 °C.

O valor do coeficiente x da equação do emissor ($q = K H^x$) indica que o regime de escoamento pode ser considerado turbulento independente do tempo operacional aos quais os

diferentes modelos de gotejadores mantiveram-se expostos à ação do cloro com conseqüente redução de vazão, mas sem alterar seu regime de fluxo.

Para os modelos A e N, não foram realizadas curvas com 1152 h de funcionamento, devido os mesmo não terem sido adquiridos até esta data, sendo possível ser feita somente às curvas para os gotejadores novos (0 h) e após o término do ensaio (1512 h para o caso destes emissores). Já para o modelo I não foi realizada a curva vazão-pressão para 2688 h, porque todos os gotejadores já se encontravam entupidos.

Conforme demonstra a Tabela 2.35, as equações que melhor explicam o comportamento da vazão em função da variação da pressão, são as equações do tipo linear e potencial.

A linearização da equação potencial mostrada anteriormente pode ser feita da seguinte forma:

$$q = K H^x \quad (2.33)$$

$$\log q = \log K + x \log H \quad (2.34)$$

sendo:

$$a = \log K \quad (10^a = K) \text{ e } x = b$$

K = intercepto e x = coeficiente angular

Tabela 2.35 – Coeficientes da equação do emissor para as curvas apresentadas nas Figuras 2.43a, b, c, e vazão média (q_m)

Emissor	Tempo	Coeficientes da equação ^[a] ^[b]		q_m (200 kPa)*
	h	K	x	(L h ⁻¹)
A	0	1,5473	0,0022	1,55 ^a
	1152	—	—	—
	1512	1,3854	0,0087	1,45 ^b
B	0	3,8689	0,0022	3,79 ^a
	1152	2,4638	0,0844	3,76 ^{ab}
	2688	3,5345	0,0057	3,54 ^b
C	0	2,0519	0,0043	2,05 ^a
	1152	1,3067	0,0857	1,98 ^{ab}
	2688	1,2789	0,0768	1,99 ^b
D	0	1,5799	0,0017	1,54 ^a
	1152	0,8669	0,0952	1,34 ^b
	2688	0,5437	0,1334	1,14 ^c
E	0	2,3185	0,0024	2,31 ^a
	1152	1,2021	0,0784	1,78 ^b
	2688	0,1129	0,1892	0,28 ^c
F	0	2,472	-0,0141	2,19 ^a
	1152	1,3149	0,0802	1,97 ^{ab}
	2688	1,7583	0,0169	1,92 ^b
G	0	3,295	-0,0146	3,02 ^a
	1152	1,7033	0,0892	2,54 ^{ab}
	2688	2,5601	-0,004	2,32 ^b
H	0	1,9326	0,0652	2,72 ^a
	1152	1,2681	0,1386	2,58 ^a
	2688	1,3298	0,1223	2,56 ^a
I	0	1,0156	0,1192	1,89 ^a
	1152	0,2146	0,3006	1,03 ^b
	2688	—	—	0,00 ^c
J	0	1,9579	0,008	2,05 ^a
	1152	1,1527	0,0879	1,80 ^a
	2688	0,8691	0,1298	1,72 ^a
K	0 ^[b]	2,2248	-0,0001	2,14 ^a
	1152	1,1969	0,0807	1,81 ^a
	2688	1,5043	0,0304	1,68 ^a
L	0	2,5135	0,0024	2,49 ^a
	1152	1,3581	0,0887	2,08 ^b
	2688	1,7451	0,0173	1,90 ^b
M	0	2,118	0,0236	2,40 ^a
	1152	1,2526	0,1083	2,23 ^a
	2688	0,857	0,182	2,24 ^a
N	0 ^[b]	1,6629	0,00001	1,63 ^a
	1152	—	—	—
	1512	1,532	0,0068	1,57 ^b

* 200 kPa – valor de pressão utilizado, no período do ensaio (temperatura da água = 25 °C).

^[a] Equação tipo potencial: $q = K (H, \text{kPa})^x$. Todos os emissores com exceção dos modelos K e N para 0h.

^[b] Equação tipo linear: $q = x(H, \text{kPa}) + K$.

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados nas Figuras 2.43a, b e c, encontra-se em anexo (anexo F a J) os valores de vazão média utilizados para a confecção dos gráficos, coeficiente de variação de vazão correspondente e demais resultados referentes à Tabela 2.35.

2.2.2.4 Distribuição do entupimento

A Figura 2.44 apresenta o grau de entupimento (GE), expresso em porcentagem, para os modelos de gotejadores avaliados, no período do ensaio.

Figura 2.44 – Grau de entupimento (GE), no período do ensaio

Para auxiliar na interpretação dos resultados mostrados na Figura 2.44, encontra-se em anexo (anexo K), os valores utilizados para a confecção do gráfico.

A ocorrência do entupimento em emissores pode se dar em três situações: no orifício de entrada, no caminho percorrido pela água no emissor e no orifício de saída. No caso de gotejadores autocompensantes, a ocorrência de entupimento, pode ser devida também a danos químicos (ação do cloro) à estrutura da membrana de compensação, que reduz a passagem da água no orifício de saída, devido o aumento de volume da mesma.

O percentual de emissores entupidos refere-se ao total de gotejadores presente na linha lateral para cada modelo ensaiado, como descrito anteriormente na Tabela 2.16.

As Figuras 2.45 a 2.58 mostram, para os diferentes tipos de emissores e o tempo de operação do sistema avaliado, a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão. Uma vez que manteve a vazão média praticamente constante durante todo o ensaio e atingindo no máximo 10% de redução de vazão relativa. O modelo C (Figura 2.47) mostrou o melhor desempenho no decorrer do experimento, tendo 85% do total dos emissores não apresentando redução de vazão e os 15% restantes, redução de 10%. O modelo E (Figura 2.49) apresentou com 2688 h 80% do total de gotejadores com 100% de redução de vazão, sendo o restante (20%) dividido em 5% do total de gotejadores para as faixas de 40, 50, 60 e 90% de redução de vazão.

O modelo I (Figura 2.53) apresentou com 1512 h 75% do total de gotejadores com 100% de redução de vazão, em torno de 18% do total de gotejadores com 90% de redução e 7% do total de gotejadores com 70% de redução de vazão. A partir daí 100% do total de gotejadores apresentaram 100% de redução.

O padrão de distribuição do nível de entupimento para os demais modelos não superou 50% do total de gotejadores com redução de vazão na faixa de 30%, permitindo observar que o entupimento não foi muito acentuado, no decorrer do ensaio.

Alguns modelos ensaiados possuem mecanismo de autolimpeza, que conforme dados de catálogo dos fabricantes, baseia-se no equilíbrio de pressões, nas áreas superior e inferior do diafragma. Esse equilíbrio faz com que o diafragma flutue, expulsando as partículas que se acumularam, evitando, assim, entupimentos por causa biológica ou por precipitação química de Fe (RESENDE, 1999; COSTA, 2000). Deve-se observar que este mecanismo de autolimpeza permite um maior contato do diafragma com a solução de cloro utilizada para tratamento químico da água (100 mg L^{-1} de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0), podendo, assim, favorecer danos à superfície do diafragma que afetaram o seu funcionamento (regulagem de pressão), ocasionando redução de vazão.

A despeito do controle ao entupimento mediante uso da cloração, alertam Schischa et al. (1997) que o uso de doses elevadas de cloro prejudicou a regulação das membranas elásticas dos emissores, embora tivesse controlado o entupimento. Sendo, assim, o uso de superclorações, para a recuperação de emissores entupidos, deve ser mais bem avaliado, uma vez que não existem em

literatura e tampouco em manuais técnicos informações sobre dosagens limites para os emissores autocompensantes.

Figura 2.45 – Percentual do número total de gotejadores (n = 17) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio

Figura 2.46 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 12$) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio

Figura 2.47 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio

Figura 2.48 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio

Figura 2.49 – Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio

Figura 2.50 – Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio

Figura 2.51 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio

Figura 2.52 – Percentual do número total de gotejadores (n = 10 por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio

Figura 2.53 – Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio

Figura 2.54 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio

Figura 2.55 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio

Figura 2.56 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio

Figura 2.57 – Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio

Figura 2.58 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio

2.2.2.5 Alteração de volume em membranas de compensação

A Figura 2.59 mostra a alteração do volume das membranas de compensação (expresso em percentagem), causado pela ação do cloro, para os diferentes modelos de gotejadores avaliados.

Figura 2.59 – Alteração do volume das membranas de compensação, % (25°C), causado pela ação do cloro, no período do ensaio

A Tabela 2.36 mostra os valores de volume médio de membrana de compensação (VM) em percentagem, utilizados para a confecção do gráfico mostrado na Figura 2.59.

Observa-se pela Figura 2.59 e a Tabela 2.36 que o tempo de contato da membrana de compensação com a solução de cloro contribuiu para um aumento significativo do volume da membrana MC4 referente ao modelo I (aumento de 112% em relação ao volume inicial), seguido do modelo D e E representado pela membrana MC7 (aumento de 13% em relação ao volume inicial), sendo que o restante das membranas apresentaram aumento de volume inferior a 8%.

Já a comparação das médias, mostrou que o modelo I (membrana MC4) diferiu estatisticamente a 5% de significância pelo teste de LSM (Least Squares Means) dos demais

modelos de membrana de compensação. O teste de Tukey foi muito rigoroso e não conseguiu diferenciar as médias entre os modelos de membranas de compensação estudados, isto porque foram obtidos muitos valores de volume igual a zero ao longo do experimento. Desta forma, optou-se pelo uso do teste de LSM.

A Figura 2.60 esquematiza a alteração de volume da membrana de compensação, pela ação do cloro sob a mesma ao longo do tempo.

Tabela 2.36 – Volume médio (VM), expresso em % dos modelos de membranas de compensação avaliados, no período do ensaio, e testes de média, respectivamente

horas	Modelos de membranas de compensação de pressão									Média
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	
	Alteração de volume (%)									
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ^f
168	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 ^f
336	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55 ^f
504	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33 ^{ef}
672	0,00	0,00	0,00	32,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	3,67 ^{def}
840	0,00	0,00	0,00	40,00	0,00	2,00	1,00	0,00	0,00	4,78 ^{cdef}
1008	0,00	0,00	0,00	41,00	0,00	2,00	1,00	0,00	0,00	4,89 ^{cdef}
1176	0,00	0,00	0,00	43,00	0,00	2,00	2,00	0,00	0,00	5,22 ^{cdef}
1344	0,00	0,00	0,00	50,00	0,00	2,00	3,00	0,00	1,00	6,22 ^{bcdef}
1512	0,00	0,00	0,00	54,00	0,00	2,00	3,00	0,00	2,00	6,78 ^{bcdef}
1680	0,00	0,00	0,00	56,00	0,00	2,00	4,00			7,92 ^{abcdef}
1848	0,00	0,00	0,00	64,00	0,00	2,00	7,00			9,49 ^{abcdef}
2016	0,00	0,00	0,00	64,00	0,00	3,00	7,00			9,63 ^{abcdef}
2184	0,00	1,00	0,00	72,00	0,00	3,00	7,00			10,91 ^{abcdef}
2352	0,00	1,00	0,00	76,00	0,00	3,00	7,00			11,49 ^{abcdef}
2520	0,00	1,00	0,00	82,00	0,00	3,00	9,00			12,63 ^{abcde}
2688	0,00	1,00	0,00	95,00	0,00	3,00	10,00			14,63 ^{abcd}
2856	0,00	2,00	0,00	95,00	0,00	5,00	10,00			15,06 ^{abcd}
3024	0,00	4,00	0,00	95,00	0,00	5,00	10,00			15,34 ^{abc}
3192	0,00	4,00	0,00	103,00	0,00	6,00	12,00			16,91 ^{ab}
3360	0,00	7,00	1,00	112,00	0,00	6,00	13,00			18,91 ^a
Média	0,00 ^B	1,00^B	0,05 ^B	57,14 ^A	0,00 ^B	2,48 ^B	5,05 ^B	0,00 ^B	0,30 ^B	

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste LSM (Least Squares Means), a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste LSM (Least Squares Means), a 5% de probabilidade.

Figura 2.60 – Esquema ilustrativo da alteração de volume da membrana de compensação, pela ação do cloro ao longo do tempo (proposta do autor)

Admitindo-se a hipótese de que a ação do cloro danificando o polímero apresenta comportamento linear em função da dosagem e do tempo de contato, propõem-se neste trabalho as Tabelas 2.37a, b, c e d que apresentam uma simulação do tempo necessário para ocorrência de danos na membrana de compensação, para diferentes doses de cloro livre e tempo de aplicação.

Observa-se pelas Tabelas 2.37a, b, c e d que ao utilizar a dose de 100 mg L^{-1} de cloro livre com um tempo de aplicação menor (1 h de aplicação) ocorre linearmente uma redução de até 24 vezes para que os diferentes modelos de gotejadores ensaiados possam entupir completamente, ou seja, para os modelos E e I que apresentam redução de vazão igual a 100% com apenas 0,58 e 0,23 anos, a aplicação num tempo menor (1 h) pode contribuir para que o completo entupimento destes emissores apareça somente após 13,81 e 5,52 anos de uso com aplicação diária de 100 mg L^{-1} de cloro livre. A utilização de dosagens menores (50 , 25 , 10 e 1 mg L^{-1}) com tempo de aplicação de 24 h dia^{-1} também contribui para reduzir o aparecimento de danos na membrana de compensação num tempo menor, ou seja, com uma dosagem de 50 mg L^{-1}

de cloro livre (24 h dia^{-1}) o entupimento total (dano severo na membrana de compensação) será duas vezes menor que com a aplicação de 100 mg L^{-1} , isto para uma avaliação linear do dano causado à membrana de compensação dos diferentes modelos de gotejadores ensaiados. Para as dosagens de 25, 10 e 1 mg L^{-1} de cloro livre, a ocorrência do entupimento total é reduzido em quatro, dez e cem vezes em relação à aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre durante 24 h dia^{-1} .

A associação de uma dosagem menor (10 ou 1 mg L^{-1}) com um tempo de aplicação menor (5 ou 1 hora) é superior ao tempo médio 15 anos de uso do sistema de irrigação por gotejamento, para o caso de se estar avaliando apenas danos na membrana de compensação, desconsiderando outros fatores em campo que possam contribuir para o mau funcionamento do sistema num tempo menor, como a falta de manutenção do sistema de filtragem, limpeza dos finais de linhas laterais, uso de herbicidas, má qualidade da água e outros fatores que são medidas importantes para elevar o tempo de vida útil de um sistema de irrigação.

A única exceção é para o modelo I no caso de se utilizar uma dosagem de 10 mg L^{-1} de cloro livre por 5 h dia^{-1} durante 365 dias do ano, que pode contribuir para o completo entupimento do emissor com um tempo de uso igual há 11,05 anos. Já para o caso de se utilizar esta mesma dosagem por apenas 1 h dia^{-1} , o dano total ao emissor ocorrerá após 55,23 anos de uso.

Desta forma, o uso de dosagens preventivas como as recomendadas por English (1985) com cloração em base contínua a uma taxa, de 1 a 2 mg L^{-1} , ou semanalmente a uma concentração de 10 a 20 mg L^{-1} por 30 a 60 minutos. Ou conforme Sagi (1995) que observou que para o controle do entupimento de gotejadores por bactérias oxidantes de enxofre, o uso de hipoclorito de sódio a 10% , por uma hora, à concentração de 10 mg L^{-1} de cloro livre, foi efetiva somente para curtos intervalos entre as aplicações, e que a vazão média de gotejadores tratados com cloro diariamente ou a cada três dias foi 97% da vazão inicial, enquanto nos gotejadores-testemunha e nos que receberam cloro a cada 10 dias, a vazão declinou para 75 e 79% , respectivamente. São dosagens que quando confrontadas com os dados apresentados nas Tabelas 2.37a, b, c e d, não apresentam risco de danos à membrana de compensação num tempo inferior a 15 anos de uso do sistema de irrigação.

Para o caso de se utilizar tratamento químico com cloro visando à recuperação de emissores entupidos, como os trabalhos desenvolvidos por Padmakumari e Sivanappan (1985) que observaram que o uso de hipoclorito de sódio a 500 ppm , sulfato de cobre a 1% ou ácido

clorídrico a 2%, mostrou que o tratamento com hipoclorito de sódio foi o mais efetivo para aumentar a vazão dos emissores. Também o trabalho desenvolvido por Nakayama; Bucks e French (1977) que estudando emissores com 25% a 50% de redução de vazão em campo, observaram que a utilização de cloro, na concentração de 100 mg L^{-1} de cloro livre por 24 h e adição de ácido sulfúrico para baixar o pH para 2, permitiu a recuperação da vazão destes emissores a um nível de aproximadamente 95% da vazão inicial. São também dosagens que quando confrontadas com os dados apresentados nas Tabelas 2.37a, b, c e d, não apresentam risco de danos à membrana de compensação num tempo inferior a 15 anos de uso do sistema de irrigação, caso seja utilizado um tempo de aplicação menor (1 h dia^{-1}) e poucas aplicações durante o ano, concordando com Souza; Cordeiro e Costa (2006) que verificaram que em função do tratamento químico (50, 100, e 150 mg L^{-1} de cloro livre) e número de aplicações (1 a 4), 66, 55 e 89% dos gotejadores, se encontravam na faixa de 90 a 110% da vazão nominal após quatro aplicações do produto.

Gilbert e Ford (1986) citaram em seus trabalhos que o uso de superclorações de até 1000 mg L^{-1} para a recuperação de emissores parcialmente entupidos, podem causar risco de injúria às raízes das plantas e danos à membrana de borracha natural de emissores autocompensantes.

É importante observar que ocorreram nos últimos anos, avanços importantes quanto ao desenvolvimento de diferentes materiais poliméricos utilizados por diferentes segmentos industriais, inclusive para a área de irrigação. Permitindo, por exemplo, que os novos emissores tenham suas membranas de compensação constituídas por silicone ou EPDM, ou com constituintes em sua formação que contribuem para aumentar a resistência à ação do cloro (MANO; MENDES, 2004).

Tabela 2.37a – Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos A a C

Modelo	Dose	Aplicação	Redução de vazão (%)							
	mg L ⁻¹	h dia ⁻¹	5	10	15	20	40	60	80	100
			Tempo (anos) – para aplicação diária ao longo do ano							
A	100	24	0,10	0,17	0,26	0,35	0,69	1,04	1,38	1,73
	100	1	2,30	4,14	6,21	8,28	16,57	24,85	33,14	41,42
	50	24	0,19	0,35	0,52	0,69	1,38	2,07	2,76	3,45
	25	24	0,38	0,69	1,04	1,38	2,76	4,14	5,52	6,90
	10	24	0,96	1,73	2,59	3,45	6,90	10,36	13,81	17,26
	10	5	4,60	8,28	12,43	16,57	33,14	49,71	66,28	82,85
	10	1	23,01	41,42	62,14	82,85	165,70	248,55	331,40	414,25
	1	24	9,59	17,26	25,89	34,52	69,04	103,56	138,08	172,60
	1	5	46,03	82,85	124,27	165,70	331,40	497,10	662,79	828,49
	1	1	230,14	414,25	621,37	828,49	1656,99	2485,48	3313,97	4142,47
B	100	24	0,10	0,21	0,32	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11
	100	1	2,30	5,06	7,59	10,13	20,25	30,38	40,50	50,63
	50	24	0,19	0,42	0,63	0,84	1,69	2,53	3,38	4,22
	25	24	0,38	0,84	1,27	1,69	3,38	5,06	6,75	8,44
	10	24	0,96	2,11	3,16	4,22	8,44	12,66	16,88	21,10
	10	5	4,60	10,13	15,19	20,25	40,50	60,76	81,01	101,26
	10	1	23,01	50,63	75,95	101,26	202,52	303,78	405,04	506,30
	1	24	9,59	21,10	31,64	42,19	84,38	126,58	168,77	210,96
	1	5	46,03	101,26	151,89	202,52	405,04	607,56	810,08	1012,60
	1	1	230,14	506,30	759,45	1012,60	2025,21	3037,81	4050,41	5063,01
C	100	24	0,10	0,21	0,32	0,42	0,84	1,27	1,69	2,11
	100	1	2,30	5,06	7,59	10,13	20,25	30,38	40,50	50,63
	50	24	0,19	0,42	0,63	0,84	1,69	2,53	3,38	4,22
	25	24	0,38	0,84	1,27	1,69	3,38	5,06	6,75	8,44
	10	24	0,96	2,11	3,16	4,22	8,44	12,66	16,88	21,10
	10	5	4,60	10,13	15,19	20,25	40,50	60,76	81,01	101,26
	10	1	23,01	50,63	75,95	101,26	202,52	303,78	405,04	506,30
	1	24	9,59	21,10	31,64	42,19	84,38	126,58	168,77	210,96
	1	5	46,03	101,26	151,89	202,52	405,04	607,56	810,08	1012,60
	1	1	230,14	506,30	759,45	1012,60	2025,21	3037,81	4050,41	5063,01

Tabela 2.37b – Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos D a G

Modelo	Dose	Aplicação	Redução de vazão (%)							
	mg L ⁻¹	h dia ⁻¹	5	10	15	20	40	60	80	100
			Tempo (anos) – para aplicação diária ao longo do ano							
D	100	24	0,02	0,04	0,17	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,46	0,92	4,14	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,04	0,08	0,35	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,08	0,15	0,69	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,19	0,38	1,73	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	0,92	1,84	8,28	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	4,60	9,21	41,42	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
	1	24	1,92	3,84	17,26	28,77	57,53	86,30	115,07	143,84
	1	5	9,21	18,41	82,85	138,08	276,16	414,25	552,33	690,41
	1	1	46,03	92,05	414,25	690,41	1380,82	2071,23	2761,64	3452,05
E	100	24	0,02	0,04	0,06	0,08	0,23	0,35	0,46	0,58
	100	1	0,46	0,92	1,38	1,84	5,52	8,28	11,05	13,81
	50	24	0,04	0,08	0,12	0,15	0,46	0,69	0,92	1,15
	25	24	0,08	0,15	0,23	0,31	0,92	1,38	1,84	2,30
	10	24	0,19	0,38	0,58	0,77	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	5	0,92	1,84	2,76	3,68	11,05	16,57	22,09	27,62
	10	1	4,60	9,21	13,81	18,41	55,23	82,85	110,47	138,08
	1	24	1,92	3,84	5,75	7,67	23,01	34,52	46,03	57,53
	1	5	9,21	18,41	27,62	36,82	110,47	165,70	220,93	276,16
	1	1	46,03	92,05	138,08	184,11	552,33	828,49	1104,66	1380,82
F	100	24	0,04	0,08	0,21	0,28	0,56	0,84	1,13	1,41
	100	1	0,92	1,84	5,06	6,75	13,50	20,25	27,00	33,75
	50	24	0,08	0,15	0,42	0,56	1,13	1,69	2,25	2,81
	25	24	0,15	0,31	0,84	1,13	2,25	3,38	4,50	5,63
	10	24	0,38	0,77	2,11	2,81	5,63	8,44	11,25	14,06
	10	5	1,84	3,68	10,13	13,50	27,00	40,50	54,01	67,51
	10	1	9,21	18,41	50,63	67,51	135,01	202,52	270,03	337,53
	1	24	3,84	7,67	21,10	28,13	56,26	84,38	112,51	140,64
	1	5	18,41	36,82	101,26	135,01	270,03	405,04	540,05	675,07
	1	1	92,05	184,11	506,30	675,07	1350,14	2025,21	2700,27	3375,34
G	100	24	0,02	0,04	0,27	0,36	0,72	1,07	1,43	1,79
	100	1	0,46	0,92	6,44	8,59	17,18	25,78	34,37	42,96
	50	24	0,04	0,08	0,54	0,72	1,43	2,15	2,86	3,58
	25	24	0,08	0,15	1,07	1,43	2,86	4,30	5,73	7,16
	10	24	0,19	0,38	2,68	3,58	7,16	10,74	14,32	17,90
	10	5	0,92	1,84	12,89	17,18	34,37	51,55	68,73	85,92
	10	1	4,60	9,21	64,44	85,92	171,84	257,75	343,67	429,59
	1	24	1,92	3,84	26,85	35,80	71,60	107,40	143,20	179,00
	1	5	9,21	18,41	128,88	171,84	343,67	515,51	687,34	859,18
	1	1	46,03	92,05	644,38	859,18	1718,36	2577,53	3436,71	4295,89

Tabela 2.37c – Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos H a K

Modelo	Dose	Aplicação	Redução de vazão (%)							
	mg L ⁻¹	h dia ⁻¹	5	10	15	20	40	60	80	100
			Tempo (anos) – para aplicação diária ao longo do ano							
H	100	24	0,17	0,25	0,37	0,50	1,00	1,50	1,99	2,49
	100	1	4,14	5,98	8,98	11,97	23,93	35,90	47,87	59,84
	50	24	0,35	0,50	0,75	1,00	1,99	2,99	3,99	4,99
	25	24	0,69	1,00	1,50	1,99	3,99	5,98	7,98	9,97
	10	24	1,73	2,49	3,74	4,99	9,97	14,96	19,95	24,93
	10	5	8,28	11,97	17,95	23,93	47,87	71,80	95,74	119,67
	10	1	41,42	59,84	89,75	119,67	239,34	359,01	478,68	598,36
	1	24	17,26	24,93	37,40	49,86	99,73	149,59	199,45	249,32
	1	5	82,85	119,67	179,51	239,34	478,68	718,03	957,37	1196,71
	1	1	414,25	598,36	897,53	1196,71	2393,42	3590,14	4786,85	5983,56
I	100	24	0,02	0,04	0,06	0,08	0,12	0,13	0,15	0,23
	100	1	0,46	0,92	1,38	1,84	2,76	3,22	3,68	5,52
	50	24	0,04	0,08	0,12	0,15	0,23	0,27	0,31	0,46
	25	24	0,08	0,15	0,23	0,31	0,46	0,54	0,61	0,92
	10	24	0,19	0,38	0,58	0,77	1,15	1,34	1,53	2,30
	10	5	0,92	1,84	2,76	3,68	5,52	6,44	7,36	11,05
	10	1	4,60	9,21	13,81	18,41	27,62	32,22	36,82	55,23
	1	24	1,92	3,84	5,75	7,67	11,51	13,42	15,34	23,01
	1	5	9,21	18,41	27,62	36,82	55,23	64,44	73,64	110,47
	1	1	46,03	92,05	138,08	184,11	276,16	322,19	368,22	552,33
J	100	24	0,04	0,17	0,29	0,38	0,77	1,15	1,53	1,92
	100	1	0,92	4,14	6,90	9,21	18,41	27,62	36,82	46,03
	50	24	0,08	0,35	0,58	0,77	1,53	2,30	3,07	3,84
	25	24	0,15	0,69	1,15	1,53	3,07	4,60	6,14	7,67
	10	24	0,38	1,73	2,88	3,84	7,67	11,51	15,34	19,18
	10	5	1,84	8,28	13,81	18,41	36,82	55,23	73,64	92,05
	10	1	9,21	41,42	69,04	92,05	184,11	276,16	368,22	460,27
	1	24	3,84	17,26	28,77	38,36	76,71	115,07	153,42	191,78
	1	5	18,41	82,85	138,08	184,11	368,22	552,33	736,44	920,55
	1	1	92,05	414,25	690,41	920,55	1841,10	2761,64	3682,19	4602,74
K	100	24	0,04	0,06	0,23	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,92	1,38	5,52	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,08	0,12	0,46	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,15	0,23	0,92	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,38	0,58	2,30	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	1,84	2,76	11,05	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	9,21	13,81	55,23	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
	1	24	3,84	5,75	23,01	28,77	57,53	86,30	115,07	143,84
	1	5	18,41	27,62	110,47	138,08	276,16	414,25	552,33	690,41
	1	1	92,05	138,08	552,33	690,41	1380,82	2071,23	2761,64	3452,05

Tabela 2.37d – Tempo necessário para a ocorrência de danos na membrana de compensação, conforme alteração da dose e tempo de aplicação para os modelos L a N

Modelo	Dose	Aplicação	Redução de vazão (%)							
	mg L ⁻¹	h dia ⁻¹	5	10	15	20	40	60	80	100
			Tempo (anos) – para aplicação diária ao longo do ano							
L	100	24	0,04	0,10	0,21	0,29	0,58	0,86	1,15	1,44
	100	1	0,92	2,30	5,06	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	50	24	0,08	0,19	0,42	0,58	1,15	1,73	2,30	2,88
	25	24	0,15	0,38	0,84	1,15	2,30	3,45	4,60	5,75
	10	24	0,38	0,96	2,11	2,88	5,75	8,63	11,51	14,38
	10	5	1,84	4,60	10,13	13,81	27,62	41,42	55,23	69,04
	10	1	9,21	23,01	50,63	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
	1	24	3,84	9,59	21,10	28,77	57,53	86,30	115,07	143,84
	1	5	18,41	46,03	101,26	138,08	276,16	414,25	552,33	690,41
	1	1	92,05	230,14	506,30	690,41	1380,82	2071,23	2761,64	3452,05
M	100	24	0,23	0,46	0,69	0,92	1,84	2,76	3,68	4,60
	100	1	5,52	11,05	16,57	22,09	44,19	66,28	88,37	110,47
	50	24	0,46	0,92	1,38	1,84	3,68	5,52	7,36	9,21
	25	24	0,92	1,84	2,76	3,68	7,36	11,05	14,73	18,41
	10	24	2,30	4,60	6,90	9,21	18,41	27,62	36,82	46,03
	10	5	11,05	22,09	33,14	44,19	88,37	132,56	176,75	220,93
	10	1	55,23	110,47	165,70	220,93	441,86	662,79	883,73	1104,66
	1	24	23,01	46,03	69,04	92,05	184,11	276,16	368,22	460,27
	1	5	110,47	220,93	331,40	441,86	883,73	1325,59	1767,45	2209,32
	1	1	552,33	1104,66	1656,99	2209,32	4418,63	6627,95	8837,26	11046,58
N	100	24	0,17	0,35	0,52	0,69	1,38	2,07	2,76	3,45
	100	1	4,14	8,28	12,43	16,57	33,14	49,71	66,28	82,85
	50	24	0,35	0,69	1,04	1,38	2,76	4,14	5,52	6,90
	25	24	0,69	1,38	2,07	2,76	5,52	8,28	11,05	13,81
	10	24	1,73	3,45	5,18	6,90	13,81	20,71	27,62	34,52
	10	5	8,28	16,57	24,85	33,14	66,28	99,42	132,56	165,70
	10	1	41,42	82,85	124,27	165,70	331,40	497,10	662,79	828,49
	1	24	17,26	34,52	51,78	69,04	138,08	207,12	276,16	345,21
	1	5	82,85	165,70	248,55	331,40	662,79	994,19	1325,59	1656,99
	1	1	414,25	828,49	1242,74	1656,99	3313,97	4970,96	6627,95	8284,93

A Figura 2.61 mostra para os diferentes modelos de gotejadores ensaiados, o volume de solução total aplicado (100 mg L⁻¹ de cloro livre) no período do ensaio.

Figura 2.61 – Volume de solução total aplicado (100 mg L^{-1} de cloro livre) nos diferentes modelos de gotejadores ensaiados

Para auxiliar na interpretação dos dados apresentados na Figura 2.61, a Tabela 2.38 mostra o volume de solução aplicado no período do ensaio.

Tabela 2.38 – Volume de solução aplicado (100 mg L^{-1} de cloro livre) no período do ensaio pelos diferentes modelos de gotejadores

horas	Volume de solução total aplicada (m^3)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
168	0,26	0,64	0,34	0,26	0,37	0,37	0,50	0,45	0,30	0,34	0,34	0,39	0,38	0,27
336	0,52	1,29	0,67	0,52	0,71	0,73	0,96	0,90	0,59	0,66	0,67	0,79	0,78	0,55
504	0,77	1,91	1,01	0,76	1,02	1,08	1,41	1,34	0,85	0,97	1,00	1,16	1,16	0,82
672	1,01	2,54	1,34	0,99	1,33	1,42	1,86	1,78	1,08	1,29	1,31	1,53	1,53	1,10
840	1,25	3,16	1,67	1,22	1,63	1,75	2,30	2,22	1,32	1,59	1,62	1,90	1,91	1,37
1008	1,50	3,77	1,99	1,44	1,92	2,07	2,74	2,65	1,54	1,89	1,92	2,25	2,28	1,65
1176	1,73	4,37	2,30	1,66	2,20	2,40	3,18	3,07	1,76	2,19	2,21	2,59	2,64	1,92
1344	1,98	5,00	2,62	1,89	2,49	2,72	3,63	3,51	1,91	2,49	2,50	2,95	3,01	2,19
1512	2,21	5,64	2,95	2,11	2,78	3,05	4,08	3,93	1,96	2,78	2,80	3,29	3,39	2,46
1680		6,27	3,29	2,34	3,07	3,37	4,53	4,36	1,98	3,08	3,09	3,63	3,77	
1848		6,86	3,59	2,54	3,32	3,68	4,96	4,77	1,99	3,37	3,38	3,96	4,14	
2016		7,44	3,89	2,75	3,57	3,99	5,39	5,17	2,00	3,66	3,66	4,30	4,52	
2184		8,07	4,21	2,96	3,80	4,32	5,83	5,59	2,00	3,96	3,95	4,62	4,89	
2352		8,67	4,54	3,16	4,02	4,64	6,28	6,01	2,00	4,25	4,23	4,94	5,27	
2520		9,29	4,88	3,39	4,22	4,97	6,71	6,44	2,00	4,54	4,51	5,26	5,64	
2688		9,89	5,20	3,59	4,33	5,30	7,11	6,87	2,00	4,82	4,78	5,58	6,05	

Observa-se que para o caso dos modelos E e I que sofreram as maiores reduções de vazão, decréscimo da vazão média, vazão relativa e UD%, observou-se para os mesmos, os maiores

valores de CV, permitindo observar que o maior volume de solução ao qual estes emissores foram expostos dentro do volume de solução total aplicado foi na fase inicial até 1680 h para o modelo E e 1008 h para o modelo I, pois a partir daí o problema de entupimento já estava inserido e o acúmulo de horas de exposição dos gotejadores à solução de 100 mg L^{-1} de cloro livre, apenas contribuiu para agravar o entupimento.

O modelo E reduziu em 33% a vazão relativa com 1680 h de funcionamento, sendo exposto a um volume de solução total igual a 3070,86 L e volume médio semanal até este período igual a 287,00 L, sendo que após este período o volume de solução aplicado semanalmente reduziu gradativamente de 250,00 L até 115,00 L com 2688 h de funcionamento.

O modelo I reduziu em 29% a vazão relativa com 1008 h de funcionamento, com volume de solução total igual a 1544,74 L e volume médio semanal até este período igual a 229 L. A partir daí o decréscimo na vazão relativa e consequentemente do volume semanal aplicado foi muito acentuado, atingindo vazão relativa igual a zero com 1848 h de funcionamento.

A Tabela 2.39 mostra as características dos gotejadores e suas membranas de compensação que podem contribuir para a ocorrência de entupimento.

Observa-se pela Tabela 2.39 que a análise isolada da vazão nominal (VN) e do volume de solução de cloro (VS_{cloro}) aplicado durante o ensaio, não são fatores que explicam adequadamente a redução de vazão mostrada pelos dados de vazão média obtidos no final do experimento (VM). O emissor B foi o que permitiu a passagem do maior volume de cloro (VS_{cloro}) durante o ensaio por sua câmara de compensação de pressão (local onde fica inserida a membrana) e orifício do mesmo, isto porque este emissor apresenta a maior vazão nominal (VN) quando comparado aos demais modelos de gotejadores ensaiados. No entanto, este emissor apresentou apenas 7% de redução de vazão com 2688 h de funcionamento sem apresentar aumento de volume de membrana (AVM), mostrando que este emissor tem baixa susceptibilidade da membrana a danos químicos.

Os emissores D e E apresentaram o mesmo aumento de volume de membrana (AVM) e susceptibilidade do material a danos químicos semelhantes. No entanto, o emissor E apresentou no final do experimento uma redução de vazão média maior que o emissor D, isto porque o volume de solução ao qual a membrana de compensação deste emissor foi exposta foi maior que o volume de solução do emissor D, mostrando que modelos de emissores com vazão nominal elevada podem estar mais sujeitos a danos químicos que modelos de gotejadores semelhantes,

mas com vazão nominal menor, desde que a membrana de compensação seja igual para ambos e susceptível a danos químicos por ação do cloro.

Tabela 2.39 – Vazão nominal (VN), vazão média (VM) obtida no final do experimento, volume de solução de cloro aplicado durante o ensaio (VS_{cloro}), aumento do volume da membrana (AVM) e susceptibilidade do material da membrana (SMM) a danos químicos por cloro (hipoclorito de sódio, 12%)

Modelos	VN	VM	VS_{cloro}	AVM	Características		
					SMM		
					alta	média	baixa
A*	1,55	1,45	2,21	0			X
B	3,80	3,54	9,89	0			X
C	2,01	1,99	5,20	0			X
D	1,57	1,14	3,59	13	X		
E	2,20	0,28	4,33	13	X		
F	2,19	1,92	5,30	0			X
G	2,98	2,32	7,11	7		X	
H	2,70	2,56	6,87	6		X	
I	1,81	0,00	2,00	112	X		
J	2,00	1,72	4,82	0			X
K	2,04	1,68	4,78	0			X
L	2,35	1,90	5,58	1			X
M	2,27	2,24	6,05	6		X	
N*	1,63	1,57	2,46	2			X

* Funcionamento do sistema durante 1512 h para os modelos A e N e 2688 h para os demais modelos.

** Dados coletados com pressão de serviço de 200 kPa na linha gotejadora e temperatura da água a 25 °C.

Cararo et al. (2006) estudando a ocorrência de entupimento em diferentes modelos de emissores utilizando água residuária, observaram que o entupimento parcial por formação de biofilme e acumulação de partículas nas paredes tortuosas do labirinto, foi o principal mecanismo responsável pelo entupimento de emissores utilizando água residuária. Os mesmos autores recomendam que as características desejáveis em um emissor sejam que o mesmo tenha um caminho curto de labirinto e membrana com função auto-limpante, permitindo, assim, que o mesmo não seja tão susceptível aos problemas de entupimento com o uso de água residuária.

Puig-Bargués et al. (2005) observaram a partir de imagens feitas com microscópio eletrônico de varredura, depósitos de material biológico proveniente de tratamento secundário de água residuária que estavam ocasionando entupimento em diferentes modelos de emissores. Adin e Sacks (1987) citado por Puig-Bargués et al. (2005) observaram que as partículas que causam entupimento de emissores possuem diferentes formas e dimensões, mas o tamanho delas oscila

entre 0,5 e 30 μm . Já as imagens feitas por Puig-Bargués et al. (2005), mostram massas densas de origem microbiana com até 500 μm .

As Figuras 2.62 a 2.67 mostram fotografias dos modelos E e I, retiradas em microscópio eletrônico de varredura (modelo DSM 940 A ZEISS Germany) instalado no Laboratório de microscopia eletrônica NAP/MEPA da ESALQ/USP.

Para a realização deste ensaio, foram retiradas amostras com tamanho em torno de $2 \times 1 \text{ mm}^2$ (comprimento x largura) na parte central do diafragma de cada modelo e posteriormente, preparadas para visualização no microscópio eletrônico de varredura.

O microscópio eletrônico apresenta recursos para medição da superfície analisada, sendo que foi possível medir a espessura das amostras representativas de cada modelo, com um aumento de 50x.

Observa-se pela Figura 2.65 que o lado esquerdo da membrana do modelo I, foi o que apresentou maior dano em relação ao lado direito, mostrando que o lado da membrana que fica em contato direto com o orifício pode sofrer maior desgaste, devido à compensação de pressão e conseqüente contato direto com o orifício podendo levar ao aparecimento de danos na superfície da membrana com o tempo de uso e principalmente porque a solução de 100 mg L^{-1} de cloro livre contribuiu para a despolimerização das macromoléculas do polímero, gerando aumento de volume em toda a área da membrana, aumentando este contato (membrana-orifício) e contribuindo para possíveis problemas de fadiga com o tempo, devido a pressurização do sistema (200 kPa) durante todo o período do ensaio.

O modelo E apresentou $E = 938 \text{ }\mu\text{m}$ para a membrana de compensação nova (0 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre) e $E = 1023 \text{ }\mu\text{m}$ para a membrana de compensação usada (2688 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre). Já o modelo I apresentou $E = 931 \text{ }\mu\text{m}$ para a membrana de compensação nova e $E = 1072 \text{ }\mu\text{m}$ para a membrana de compensação usada, sendo todas estas medições realizadas com aumento de 50x.

Figura 2.62 – Comparação da variação de espessura entre as amostras com 0 h de aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre e após 2688 h de aplicação dinâmica para o modelo E (aumento 13x)

Figura 2.63 – Comparação da variação de espessura entre as amostras com 0 h de aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre e após 2688 h de aplicação dinâmica para o modelo I (aumento 12x)

Figura 2.64 – Variação de espessura das amostras do modelo E (aumento 50x) com 0 h e 2688 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre. Detalhe em vermelho e azul, mostrando a diferença de espessura

Figura 2.65 – Variação de espessura das amostras do modelo I (aumento 50x) com 0 h e 2688 h de aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre. Detalhe em vermelho e azul, mostrando a diferença de espessura

A Figura 2.66 mostra a superfície do modelo E aumentada 1000x, para permitir a observação da rugosidade da superfície do diafragma tanto na membrana nova quanto na usada e verificar o dano causado à superfície da mesma pela ação do cloro.

A Figura 2.67 mostra a superfície do modelo I aumentada 1000x, para permitir a observação da rugosidade da superfície do diafragma tanto na membrana nova quanto na usada e verificar o dano causado à superfície da mesma pela ação do cloro.

Figura 2.66 – Aumento de 1000x das amostras do modelo E, submetidas a 0 h e 2688 h de contato com 100 mg L⁻¹ de cloro livre em solução

Figura 2.67 – Aumento de 1000x das amostras do modelo I, submetidas a 0 h e 2688 h de contato com 100 mg L⁻¹ de cloro livre em solução

2.2.2.6 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão

Vários tipos de tubo gotejadores estão disponíveis no mercado com uma variabilidade de densidades de parede (0,10 a 0,38 mm), polímeros diferentes, e designs diferentes com caminho de fluxo tortuoso (labirinto), sendo que muitos destes produtos são usados na superfície ou próximo da superfície do solo em climas quentes com exposição parcial e/ou total ao sol, sendo necessário levar em conta os efeitos da temperatura da água na vazão dos emissores. Desta forma, as Figuras 2.68 a 2.81 mostram as curvas vazão *versus* pressão para os 14 modelos de gotejadores novos, ensaiados no Nível 4, com temperatura da água igual a 15 °C, 25°C e 40 °C, utilizando as

seguintes pressões: 1 kPa, 2 kPa, 3 kPa, 4 kPa, 5 kPa, 10 kPa, 15 kPa, 20 kPa, 25 kPa, 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 150 kPa, 200 kPa, 250 kPa, 300 kPa, 350 kPa e 400 kPa, com o intuito de observar possíveis alterações da vazão dos emissores em diferentes pressões dentro da faixa operacional fornecida pelos fabricantes.

No caso dos gotejadores auto-compensantes, ajustou-se os dados por meio de uma regressão linear. Regressões lineares são mais indicadas para gotejadores auto-compensantes devido à propriedade dos mesmos de manterem a vazão aproximadamente constante para diferentes pressões de funcionamento, na faixa de operação recomendada pelo fabricante.

São apresentados os resultados da análise da regressão para todos os emissores na faixa de pressão de 50 a 400 kPa. No entanto para os emissores F, G, H, K e L observou-se que a exclusão dos pontos a 50 kPa das respectivas equações, permitiu que o comportamento da mesma pudesse ser linear. Já para os emissores J e I observou-se a necessidade de exclusão dos pontos de pressão a 50 e 75 kPa para que o comportamento da curva pudesse ser linear. Isto ocorreu porque nestas pressões estes emissores não atingem a pressurização da membrana elástica presente nos mesmos, ocasionando valores acima e abaixo da faixa de funcionamento do sistema auto-compensante, respectivamente. Exclusão semelhante também foi realizada para o emissor F quanto a pressão de 400 kPa. A faixa de pressão recomendada pelos fabricantes geralmente vai até a pressão de 350 kPa, no entanto, neste estudo observou-se que com exceção do modelo F, todos os demais emissores apresentaram comportamento linear para suas curvas vazão-pressão até a pressão de 400 kPa.

Para os modelos de emissores A, I e K a variação de pressão de 1 a 25 kPa não permitiu que estes emissores funcionassem, iniciando-se seu adequado funcionamento de compensação de pressão somente com 75 kPa. Isto se deve ao fato destes emissores serem anti-drenante.

Para a pressão de 50 kPa, os emissores A e I apresentaram variação elevada da vazão média em função da temperatura, isto porque nesta faixa o emissor ainda apresenta fluxo laminar, concordando com Parchomchuk (1976) que afirma que mudanças na viscosidade provocadas pela variação da temperatura da água, podem causar variações na vazão dos emissores, maiores que o limite máximo de $\pm 10\%$, caso o regime de escoamento no emissor seja laminar. Quando o regime de escoamento no emissor for turbulento, a vazão não será afetada significativamente pela mudança de viscosidade.

A vazão do emissor A diminuiu com o aumento da temperatura dentro da faixa operacional até 300 kPa. A partir daí a vazão média foi maior para a temperatura da água igual a 40 °C.

Os modelos de emissores B, C, D e E permitiram a coleta de vazão com apenas 1 kPa, sendo que seu adequado funcionamento se deu a partir de 50 kPa. No entanto, ocorreu uma ligeira queda na vazão para todas as temperaturas na faixa de 150 a 250 kPa aproximando-se, no entanto, mais da vazão nominal fornecida pelo fabricante nesta faixa, com exceção para o modelo D que para a temperatura de 15 °C na pressão de 150 kPa apresentou em média vazão 6% superior às demais temperaturas, isto pode ter ocorrido simplesmente porque a vazão do emissor não respondeu adequadamente à pressão operacional de 150 kPa nesta temperatura.

O modelo F iniciou seu adequado funcionamento somente com 75 kPa, concordando com o fabricante que indica seu adequado funcionamento a partir desta pressão e que segundo o fabricante para a pressão de 50 kPa a vazão é 13% menor que a vazão medida para 75 kPa. Zur e Tal (1981) estudando a vazão de emissores tipo labirinto com vazões de 2 L h⁻¹ e 4 L h⁻¹, observaram que estes emissores praticamente não mostraram nenhuma sensibilidade para aumento da temperatura da água. Em contraste, a vazão de um emissor tipo vortex diminuiu com o aumento da temperatura da água.

O comportamento de compensação para o emissor G, iniciou-se somente com 75 kPa, sendo que a variação de temperatura influenciou na vazão média coletada para as diferentes pressões estudadas. O comportamento da vazão em relação à temperatura, a partir da pressão de 200 kPa até 400 kPa, permitiu observar que com o aumento da temperatura a vazão aumentou, sendo no entanto mantido a compensação de pressão. Isto pode ter ocorrido devido o aumento da passagem de fluxo gradualmente com a variação da temperatura embora a pressão permanecesse constante em cada análise.

Os modelos H e I iniciaram o funcionamento do sistema de compensação de pressão a partir de 75 kPa, sendo que ocorreu aumento da vazão com o aumento de pressão em todas as temperaturas avaliadas. Para o modelo H, esta alteração de vazão não foi muito acentuada, permitindo concluir que a vazão não diferiu significativamente a 5% de significância pela análise de regressão com o aumento da temperatura. Já para o modelo I, observou-se que com o aumento da temperatura, reduziu-se a vazão e que a alteração da vazão para a temperatura de 15 °C em diferentes pressões foi mais acentuada que em relação ao modelo H.

Os modelos J, e M apresentaram comportamento semelhante, iniciando seu adequado funcionamento com pressão de 100 kPa, segundo os fabricantes, estes emissores já iniciam a compensação de pressão a partir de 75 kPa, mas uma análise mais criteriosa das curvas fornecidas por estes mesmos fabricantes, permite observar que o ideal é utilizá-los com uma pressão mínima de 100 kPa.

O modelo K apresentou redução de vazão com o aumento de pressão, isto pode ter sido causado por distorção do material elastomérico devido a temperatura e mudança gradual da pressão. Estes resultados nos conduzem a considerar as mudanças de temperatura como um fator secundário que causa o desempenho mostrado por este emissor. Este comportamento especial sugere que pesquisas adicionais sejam realizadas, relativas a uma possível variação das propriedades mecânicas do elastômero em função do tempo operacional.

Os emissores L e N foram os que apresentaram o melhor desempenho quanto à variação de temperatura e pressão, pois a partir de 50 kPa até 400 kPa, estes emissores mantiveram o fluxo constante com alterações mínimas na vazão, concordando com Parchomchuk (1976) que afirma que para emissores tipo labirinto, a sensibilidade da variação de vazão com relação a variação de temperatura é insignificante. Zur e Tal (1981), estudando emissores tipo labirinto, observaram que a dependência da vazão relativa (Q_{rt}) na temperatura da água para os emissores foi pequena ou insignificante. Sendo que isto já era esperado, devido o regime de fluxo nestes emissores ser turbulento como sugerido pelo valor de 0,5 medido para o coeficiente b nestes emissores.

O regime turbulento nesses emissores reduz o risco das sedimentações e é uma das razões pelas quais os mesmos são utilizados atualmente, pois para o regime turbulento supõe-se certa ação auto-limpante, Isto não é perfeitamente verdadeiro quando se trata de crescimento bacteriano e formação de biofilme, que tem propriedade aderente aos materiais plásticos constituintes da tubulação e dos gotejadores (Cararo, 2004). Para se evitar a aderência de biofilme, existem atualmente no mercado tubulações com revestimento interno plástico misturado a sulfato de cobre, porém com custo relativamente superior e indicada para uso enterrado, como é o caso do modelo Geoflow produzido nos Estados Unidos. Existem também outros emissores para uso enterrado, além do Geoflow (que apresentam trifluralina nos emissores para evitar a intrusão radicular) e do Bioline (que possui um agente antibacteriano impregnado em seus emissores). Para maiores detalhes quanto a entupimentos causado por raízes, aconselha-se o trabalho escrito por Resende (2003). Além disso, nota-se que os fabricantes têm-se esforçado

para fabricar emissores com menores comprimentos de passagem nos últimos anos, pois estes apresentavam valores de 520 e 960 mm (não-autocompensante), como utilizado em trabalho desenvolvido por Adin e Sacks (1991), com exceção do modelo auto-compensante que possuía 25 mm, ou seja, próximo ao encontrado atualmente para emissores com essa forma de funcionamento.

Figura 2.68 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo A (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.69 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo B (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.70 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo C (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.71 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo D (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.72 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo E (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.73 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo F (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.74 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo G (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.75 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo H (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.76 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo I (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.77 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo J (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.78 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo K (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.79 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo L (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.80 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo M (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Figura 2.81 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo N (gotejadores novos) em três diferentes temperaturas da água (15 °C, 25 °C e 40 °C)

Em anexo (anexo L a T) encontram-se os dados utilizados para a confecção dos gráficos apresentados nas Figuras 2.68 a 2.81. São apresentados também os valores de coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água. No anexo ZB e ZC são apresentados os coeficiente das equações dos emissores para cada valor de temperatura e as regressões.

Para Bernuth e Solomon (1986) a melhor equação que representa o efeito da temperatura da água na vazão dos gotejadores de fluxo turbulento, é a do tipo linear. Oliveira et al. (2000), realizando ensaios com o tubogotejador Hidrodrip II, não verificou relação linear entre a vazão e a temperatura da água, sendo que para uma variação na temperatura de 30 a 60 °C, notaram que a vazão foi reduzida em apenas 1,75% para este modelo de emissor.

A Tabela 2.40 mostra os valores de vazão média ($L h^{-1}$) e teste de média, utilizando o programa computacional SAS (1999), pelo procedimento GLM, para as curvas vazão *versus* pressão referente aos 14 modelos de gotejadores novos, com temperatura da água igual a 15 °C, 25°C e 40 °C, mostradas nas Figuras 2.68 a 2.81

Tabela 2.40 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores novos, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continua)

Pressão (kPa)	Modelo A			Modelo B		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	0,46 ^l	0,34 ^k	0,39 ^e
2	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	0,67 ^k	1,15 ^j	0,97 ^d
3	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	0,57 ^{kl}	1,72 ⁱ	1,15 ^{cd}
4	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	1,05 ^j	1,29 ^j	1,05 ^d
5	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	1,17 ^j	1,83 ⁱ	1,01 ^d
10	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	1,82 ⁱ	2,28 ^h	1,20 ^{cd}
15	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	2,35 ^h	2,60 ^g	1,59 ^c
20	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^d	2,84 ^g	3,16 ^f	2,82 ^b
25	0,00 ^c	1,10 ^b	0,00 ^d	3,35 ^f	3,13 ^f	3,04 ^b
50	1,62 ^a	1,54 ^a	0,98 ^c	4,04 ^a	4,26 ^a	4,19 ^a
75	1,62 ^a	1,56 ^a	1,51 ^a	3,98 ^{ab}	4,16 ^{ab}	4,05 ^a
100	1,61 ^a	1,57 ^a	1,49 ^b	3,93 ^{abc}	4,05 ^{bc}	4,05 ^a
150	1,61 ^a	1,54 ^a	1,48 ^b	3,70 ^{de}	3,94 ^{cd}	3,90 ^a
200	1,61 ^a	1,55 ^a	1,54 ^b	3,61 ^e	3,79 ^{de}	3,85 ^a
250	1,61 ^a	1,56 ^a	1,57 ^b	3,65 ^e	3,75 ^e	3,88 ^a
300	1,63 ^a	1,59 ^a	1,57 ^b	3,75 ^{de}	4,01 ^{bc}	3,92 ^a
350	1,57 ^{ab}	1,53 ^a	1,58 ^b	3,77 ^{cde}	4,14 ^{ab}	3,97 ^a
400	1,50 ^{ab}	1,58 ^a	1,56 ^b	3,86 ^{bcd}	4,14 ^{ab}	3,91 ^a
Média	0,80 ^A	0,84 ^B	0,74 ^{AB}	2,70 ^B	2,99 ^A	2,72 ^A

Pressão (kPa)	Modelo C			Modelo D		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,33 ^l	0,18 ^l	0,24 ^e	0,29 ^h	0,16 ⁱ	0,19 ^{fg}
2	0,58 ^j	0,64 ^k	0,44 ^{de}	0,45 ^g	0,46 ^h	0,46 ^e
3	0,19 ^m	0,88 ^j	0,48 ^{de}	0,23 ^h	0,65 ^g	0,36 ^{ef}
4	0,45 ^k	0,70 ^k	0,35 ^e	0,45 ^g	0,51 ^h	0,38 ^{ef}
5	0,57 ^j	1,03 ⁱ	0,65 ^d	0,54 ^g	0,78 ^f	0,12 ^g
10	0,99 ⁱ	1,24 ^h	0,95 ^c	0,88 ^f	1,02 ^e	0,58 ^{de}
15	1,29 ^h	1,40 ^g	0,95 ^c	1,10 ^e	1,14 ^d	0,68 ^d
20	1,60 ^g	1,67 ^f	1,60 ^b	1,34 ^d	1,31 ^c	1,16 ^c
25	1,81 ^f	1,81 ^e	1,47 ^b	1,47 ^e	1,34 ^c	1,32 ^{bc}
50	2,13 ^a	2,17 ^{abc}	2,20 ^a	1,61 ^{ab}	1,62 ^a	1,58 ^a
75	1,97 ^{de}	2,10 ^{cd}	2,12 ^a	1,56 ^{abc}	1,59 ^{ab}	1,56 ^a
100	1,94 ^e	2,12 ^{bcd}	2,07 ^a	1,61 ^{ab}	1,57 ^{ab}	1,53 ^{ab}
150	1,97 ^{cde}	2,08 ^{cd}	2,08 ^a	1,65 ^a	1,57 ^{ab}	1,53 ^{ab}
200	2,03 ^{abcde}	2,05 ^d	2,03 ^a	1,57 ^{abc}	1,54 ^b	1,54 ^{ab}
250	2,01 ^{bcd}	2,08 ^{cd}	2,11 ^a	1,57 ^{abc}	1,58 ^{ab}	1,57 ^a
300	2,06 ^{abcd}	2,17 ^{abcd}	2,16 ^a	1,62 ^{ab}	1,62 ^a	1,56 ^a
350	2,08 ^{ab}	2,23 ^{ab}	2,16 ^a	1,60 ^{ab}	1,64 ^a	1,61 ^a
400	2,07 ^{abc}	2,28 ^a	2,16 ^a	1,50 ^{bc}	1,65 ^a	1,60 ^a
Média	1,45 ^B	1,60 ^A	1,46 ^A	1,17 ^A	1,21 ^A	1,07 ^B

Tabela 2.40 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores novos, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continuação)

Pressão (kPa)	Modelo E			Modelo F		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,36 ^l	0,20 ^l	0,27 ^c	0,28 ^k	0,12 ^k	0,48 ^c
2	0,59 ⁱ	0,64 ^k	0,67 ^d	0,41 ^j	0,34 ^j	0,27 ^g
3	0,54 ⁱ	0,99 ^j	0,63 ^d	0,32 ^k	0,51 ⁱ	0,26 ^g
4	0,59 ⁱ	0,71 ^k	0,70 ^d	0,31 ^k	0,37 ^j	0,28 ^{fg}
5	0,72 ^h	1,17 ⁱ	0,30 ^e	0,43 ^j	0,62 ^h	0,27 ^{fg}
10	1,39 ^g	1,58 ^h	0,96 ^c	0,74 ⁱ	0,88 ^g	0,43 ^{ef}
15	1,82 ^f	1,76 ^g	1,16 ^c	0,95 ^h	1,04 ^f	0,54 ^e
20	2,11 ^e	2,16 ^f	1,69 ^b	1,12 ^g	1,21 ^e	0,96 ^d
25	2,40 ^b	2,18 ^f	1,86 ^b	1,31 ^f	1,28 ^e	1,10 ^d
50	2,55 ^a	2,46 ^{ab}	2,42 ^a	1,95 ^e	1,99 ^d	1,93 ^c
75	2,49 ^a	2,40 ^{bcd}	2,42 ^a	2,35 ^a	2,33 ^a	2,31 ^{ab}
100	2,41 ^b	2,34 ^{de}	2,32 ^a	2,34 ^a	2,33 ^a	2,37 ^a
150	2,31 ^{cd}	2,28 ^c	2,32 ^a	2,34 ^a	2,31 ^a	2,27 ^{ab}
200	2,26 ^d	2,31 ^{de}	2,29 ^a	2,28 ^{ab}	2,19 ^b	2,21 ^b
250	2,40 ^b	2,37 ^{bcd}	2,38 ^a	2,24 ^{bc}	2,14 ^b	2,26 ^{ab}
300	2,40 ^b	2,37 ^{cde}	2,40 ^a	2,23 ^{bc}	2,17 ^b	2,31 ^{ab}
350	2,40 ^{bc}	2,55 ^a	2,38 ^a	2,17 ^{cd}	2,13 ^{bc}	2,23 ^{ab}
400	2,38 ^{bc}	2,46 ^{abc}	2,36 ^a	2,13 ^d	2,05 ^{cd}	2,20 ^b
Média	1,78 ^A	1,83 ^B	1,64 ^{AB}	1,44 ^A	1,45 ^A	1,37 ^A

Pressão (kPa)	Modelo G			Modelo H		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,24 ^e	0,14 ^g	0,27 ^f	0,61 ^h	0,24 ^j	0,30 ^j
2	0,33 ^{cde}	0,52 ^f	0,46 ^{def}	0,57 ^{hi}	0,75 ⁱ	0,45 ⁱ
3	0,35 ^{de}	0,59 ^{ef}	0,35 ^{ef}	0,42 ⁱ	0,82 ^h	0,62 ^h
4	0,40 ^{de}	0,56 ^f	0,41 ^{ef}	0,46 ⁱ	0,82 ^h	0,73 ^g
5	0,58 ^{cde}	0,94 ^e	0,90 ^d	0,66 ^h	1,28 ^g	0,80 ^{fg}
10	0,74 ^c	1,30 ^d	0,58 ^{def}	1,09 ^g	1,46 ^f	0,86 ^f
15	0,87 ^{cd}	1,49 ^d	0,81 ^{de}	1,41 ^f	1,62 ^e	1,34 ^{de}
20	0,98 ^{cde}	1,82 ^c	1,39 ^c	1,69 ^e	1,84 ^d	1,69 ^{cd}
25	1,64 ^b	1,82 ^c	1,62 ^c	2,00 ^d	1,87 ^d	1,74 ^c
50	2,56 ^a	2,81 ^b	2,71 ^b	2,53 ^c	2,69 ^b	2,35 ^{ab}
75	2,97 ^a	3,17 ^a	3,20 ^a	2,50 ^c	2,59 ^{bc}	2,56 ^b
100	3,00 ^a	3,26 ^a	3,20 ^a	2,50 ^c	2,54 ^c	2,53 ^b
150	2,93 ^a	3,25 ^a	3,10 ^{ab}	2,64 ^{bc}	2,65 ^{bc}	2,65 ^{ab}
200	2,62 ^a	3,02 ^{ab}	3,02 ^{ab}	2,74 ^{ab}	2,72 ^b	2,77 ^{ab}
250	2,55 ^a	3,02 ^{ab}	3,02 ^{ab}	2,81 ^a	2,89 ^a	2,92 ^a
300	2,77 ^a	2,99 ^{ab}	3,12 ^{ab}	2,81 ^a	2,94 ^a	2,97 ^a
350	2,63 ^a	2,75 ^b	3,04 ^{ab}	2,88 ^a	2,94 ^a	2,94 ^a
400	2,62 ^a	2,75 ^b	3,13 ^{ab}	2,85 ^a	2,93 ^a	2,93 ^a
Média	1,71 ^B	2,01 ^A	1,89 ^A	1,83 ^A	1,97 ^A	1,84 ^A

Tabela 2.40 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores novos, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continuação)

Pressão (kPa)	Modelo I			Modelo J		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,16 ^h	0,15 ^f	0,53 ^{de}
2	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,26 ^g	0,55 ^e	0,54 ^{de}
3	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,37 ^g	0,55 ^e	0,53 ^{de}
4	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,47 ^g	0,59 ^{de}	0,53 ^{de}
5	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,53 ^g	0,62 ^{de}	0,53 ^{de}
10	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,70 ^f	0,70 ^{de}	0,60 ^d
15	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,75 ^e	0,80 ^{cd}	0,67 ^{cd}
20	0,00 ^g	0,00 ^h	0,00 ^f	0,88 ^d	0,93 ^c	0,81 ^{cd}
25	0,00 ^g	0,05 ^h	0,00 ^f	1,02 ^d	0,95 ^c	0,97 ^c
50	1,33 ^f	1,33 ^g	1,08 ^e	1,51 ^c	1,53 ^b	1,46 ^b
75	1,64 ^e	1,63 ^f	1,57 ^d	1,87 ^b	1,90 ^a	1,90 ^a
100	1,80 ^d	1,79 ^e	1,69 ^{cd}	2,06 ^a	2,05 ^a	2,00 ^a
150	1,88 ^c	1,79 ^e	1,69 ^{cd}	2,10 ^a	2,08 ^a	2,03 ^a
200	1,87 ^c	1,89 ^d	1,81 ^{bc}	2,11 ^a	2,05 ^a	2,04 ^a
250	2,03 ^b	1,96 ^{cd}	1,88 ^{ab}	2,06 ^a	1,98 ^a	2,11 ^a
300	2,06 ^b	2,02 ^{bc}	1,88 ^{ab}	2,13 ^a	2,02 ^a	2,07 ^a
350	2,09 ^b	2,15 ^a	1,95 ^a	2,13 ^a	2,08 ^a	2,04 ^a
400	2,19 ^a	2,10 ^{ab}	1,94 ^a	2,12 ^a	2,07 ^a	2,15 ^a
Média	0,94 ^A	0,93 ^A	0,86 ^B	1,29 ^A	1,31 ^A	1,31 ^A

Pressão (kPa)	Modelo K			Modelo L		
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C
1	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,17 ^k	0,12 ^m	0,20 ^k
2	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,32 ^{ij}	0,27 ^l	0,27 ^k
3	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,30 ^j	0,58 ^k	0,33 ^{jk}
4	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,35 ^{ij}	0,60 ^k	0,42 ^j
5	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,38 ⁱ	0,69 ^j	0,49 ^j
10	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	0,80 ^h	0,95 ⁱ	0,60 ⁱ
15	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	1,02 ^g	1,11 ^h	0,96 ^h
20	0,00 ^e	0,00 ^f	0,00 ^e	1,23 ^f	1,32 ^g	1,16 ^g
25	0,00 ^e	1,33 ^e	1,32 ^d	1,44 ^e	1,31 ^g	1,32 ^f
50	1,84 ^d	1,92 ^d	1,84 ^c	2,11 ^d	2,15 ^f	2,13 ^e
75	2,24 ^{ab}	2,23 ^a	2,18 ^{ab}	2,66 ^{ab}	2,63 ^{abc}	2,62 ^{ab}
100	2,29 ^a	2,21 ^a	2,24 ^a	2,73 ^a	2,70 ^a	2,70 ^a
150	2,27 ^{ab}	2,19 ^a	2,14 ^{ab}	2,64 ^b	2,58 ^{bcd}	2,57 ^{bcd}
200	2,16 ^{bc}	2,14 ^{ab}	2,17 ^{ab}	2,52 ^c	2,49 ^e	2,57 ^{bcd}
250	2,14 ^{bc}	2,13 ^{ab}	2,11 ^b	2,50 ^c	2,53 ^{de}	2,47 ^d
300	2,06 ^c	2,04 ^{bc}	2,16 ^{ab}	2,55 ^c	2,56 ^{cde}	2,59 ^{bc}
350	2,15 ^{bc}	2,00 ^{cd}	2,12 ^b	2,55 ^c	2,60 ^{bcd}	2,56 ^{bcd}
400	2,05 ^c	2,00 ^{cd}	2,09 ^b	2,49 ^c	2,65 ^{ab}	2,47 ^{cd}
Média	1,07 ^A	1,12 ^A	1,13 ^A	1,60 ^A	1,66 ^A	1,58 ^A

Tabela 2.40 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores novos, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

Pressão (kPa)	Modelo M			Modelo N			Média
	15 °C	25 °C	40 °C	15 °C	25 °C	40 °C	
1	0,45 ^j	0,32 ^j	0,95 ^f	0,22 ^j	0,17 ^l	0,20 ^h	0,30 ⁱ
2	0,71 ^{ij}	0,87 ⁱ	0,96 ^f	0,35 ⁱ	0,39 ^k	0,22 ^h	0,45 ^h
3	0,72 ⁱ	1,11 ^h	0,97 ^f	0,40 ^j	0,66 ^j	0,31 ^g	0,47 ^h
4	0,86 ⁱ	1,39 ^g	0,99 ^f	0,45 ⁱ	0,70 ^j	0,39 ^f	0,48 ^h
5	0,96 ^h	1,49 ^{fg}	1,02 ^f	0,53 ^h	0,79 ⁱ	0,41 ^f	0,57 ^g
10	0,97 ^h	1,45 ^g	1,37 ^e	0,92 ^g	0,99 ^h	0,43 ^f	0,84 ^f
15	1,34 ^g	1,52 ^{efg}	1,74 ^d	1,04 ^f	1,15 ^g	1,05 ^e	1,02 ^e
20	1,51 ^f	1,65 ^{ef}	1,74 ^d	1,33 ^e	1,30 ^f	1,16 ^d	1,22 ^d
25	1,78 ^e	1,67 ^e	1,81 ^d	1,56 ^d	1,38 ^e	1,35 ^c	1,42 ^c
50	2,08 ^{cd}	2,09 ^d	2,16 ^c	1,72 ^a	1,68 ^{abc}	1,63 ^b	2,12 ^b
75	2,04 ^d	2,04 ^d	2,12 ^c	1,73 ^a	1,64 ^{bcd}	1,63 ^b	2,27 ^a
100	2,20 ^{bc}	2,18 ^{cd}	2,16 ^c	1,71 ^{ab}	1,64 ^{bcd}	1,60 ^b	2,30 ^a
150	2,34 ^{ab}	2,34 ^{bc}	2,43 ^{ab}	1,66 ^c	1,62 ^d	1,62 ^b	2,29 ^a
200	2,38 ^a	2,40 ^b	2,54 ^{ab}	1,64 ^c	1,63 ^{cd}	1,63 ^b	2,28 ^a
250	2,44 ^a	2,49 ^{ab}	2,57 ^a	1,67 ^{bc}	1,68 ^{abc}	1,63 ^b	2,29 ^a
300	2,45 ^a	2,46 ^{ab}	2,61 ^a	1,67 ^{bc}	1,69 ^{ab}	1,68 ^a	2,33 ^a
350	2,48 ^a	2,43 ^b	2,54 ^{ab}	1,66 ^c	1,68 ^{abc}	1,69 ^a	2,33 ^a
400	2,35 ^{ab}	2,61 ^a	2,36 ^b	1,65 ^c	1,70 ^a	1,66 ^a	2,32 ^a
Média	1,67 ^{AB}	1,81 ^B	1,84 ^A	1,22 ^A	1,25 ^A	1,13 ^A	

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Como a Interação Temperatura *versus* Pressão foi significativa, o correto seria estudar Pressões dentro de cada Temperatura. Porém, dado o elevado n^o de graus de liberdade no Resíduo, optou-se por realizar testes F de Temperatura e de Pressão com essa interação. Com isso, observou-se que os mesmos foram significativos indicando que os efeitos de Pressão e Temperatura são superiores ao da Interação e, com isso, fica válida a aplicação de Tukey nas comparações das médias de Temperatura e de Pressão, independentemente, como demonstra a Tabela 2.40 descrita anteriormente.

As Figuras 2.82 a 2.95 mostram as curvas vazão *versus* pressão para os 14 modelos de gotejadores após 2688 h de aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água igual a 15 °C, 25°C e 40 °C, utilizando as seguintes pressões: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa.

Para todos os modelos de emissores ensaiados, observou-se que a aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, reduziu a vazão para todos os emissores após 2688 h em relação à vazão média destes emissores quando novos. Ocorreu também influência da temperatura de

forma diferenciada para cada modelo de emissor, ou seja, em muitos casos não foi observado uma relação linear entre a vazão e a temperatura da água conforme Bernuth e Solomon (1986).

O modelo A apresentou pouca influência do tratamento químico para influenciar em mudanças de vazão em função da pressão, mostrando a boa resistência da membrana de compensação de pressão a danos químicos. Com relação ao efeito da temperatura na vazão, observa-se que para a temperatura de 25 °C a vazão foi mais elevada que para os demais valores de temperatura, quando se utilizou a pressão de 400 kPa, isto pode ter ocorrido porque os ensaios iniciaram-se com a temperatura de 25 °C e provavelmente a membrana de compensação ainda não estaria bem acomodada a função de compensação de pressão, apesar de ter funcionado 36 horas direto antes de se iniciar o ensaio.

O modelo de emissor B apresentou comportamento diferenciado da vazão conforme a variação da temperatura, ou seja, para a temperatura da água igual a 40 °C foram observados os maiores de vazão, mas nenhuma influência da pressão para alterar a vazão. Já para as temperaturas de 25 °C e 15 °C ocorreram mudanças na vazão em função da pressão e também da temperatura, e com um comportamento já esperado, pois a temperatura de 25 °C apresentou valores de vazão maiores que a temperatura de 15 °C.

Com o modelo de emissor C, ocorreu um comportamento inverso quanto a variação de temperatura de 15 para 25 °C, pois a temperatura de 15 °C para este emissor apresentou valores de vazão maiores que a 25 °C.

O modelo D apresentou comportamento semelhante ao emissor C a partir de 200 kPa, sendo que para a temperatura de 40 °C os valores de vazão foram superiores em todos os pontos de pressão.

O modelo E apresentou comportamento semelhante da curva vazão-pressão para as temperaturas de 15 °C e 40 °C, sendo que para a temperatura de 25 °C a vazão foi diminuindo conforme o aumento de pressão.

A vazão não sofreu alteração em função da temperatura de 25 °C conforme o aumento da pressão para o modelo F. Já para a temperatura de 40 °C foram observados os maiores valores de vazão e com influência do aumento de pressão no aumento de vazão. A temperatura de 15 °C apresentou valores de vazão superiores à temperatura de 25 °C para este emissor, isto provavelmente porque à temperatura de 25 °C a membrana não compensava adequadamente a

pressão e como os ensaios com as temperaturas de 15 °C e 40 °C foram realizados posteriormente a membrana já estava operando adequadamente.

Para o modelo G ocorreu aumento da vazão conforme o aumento da temperatura, independente do aumento de pressão. Observa-se que para este emissor, o tratamento químico com cloro reduziu a vazão, devido o aumento de 7% do volume da membrana de compensação (Tabela 2.39), mas sem afetar a regulação da membrana de compensação. No entanto a temperatura afeta a vazão provavelmente porque à temperatura de 15 °C a membrana de compensação encontra-se mais rígida e o maior volume após 2688 h de uso, impede a passagem de um maior volume de água, quando comparada aos valores de vazão obtidos com as temperaturas de 25 °C e 40 °C.

Os modelos H, J e M, apresentaram comportamento semelhante quanto a variação de vazão em função da temperatura e pressão, ou seja, o aumento de pressão resultou em aumento de vazão e o mesmo ocorrendo com o aumento de temperatura.

Não foi possível realizar as curvas vazão-pressão para o emissor I, devido o seu completo entupimento após 2688 h de funcionamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0.

Para o modelo K não foi observada variação de vazão em função da pressão para a temperatura de 25 °C, mas os valores de vazão foram menores em relação às demais temperaturas. Já para as demais temperaturas a vazão aumentou conforme o aumento de pressão e temperatura de 15 °C para 40 °C. O modelo L apresentou comportamento semelhante ao modelo K, sendo que para a temperatura de 25 °C observou-se aumento da vazão conforme o aumento da pressão.

O modelo N sofreu influência da temperatura apenas para as pressões de 50 a 100 kPa, acima deste valor não foram observadas mudanças na vazão em função da pressão ou temperatura.

Figura 2.82 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo A (após 1512 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.83 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo B (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.84 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo C (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.85 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo D (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.86 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo E (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.87 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo F (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.88 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo G (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.89 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo H (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.90 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo I (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.91 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo J (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.92 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo K (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.93 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo L (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.94 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo M (após 2688 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 2.95 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo N (após 1512 h de aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

A Tabela 2.41 mostra os valores de vazão média (L h⁻¹) utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão mostradas acima (Figuras 2.82 a 2.95) e teste de média, respectivamente.

Tabela 2.41 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continua)

PRESSÃO	Modelo A			Modelo B			Modelo C		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,42 ^a	1,44 ^b	1,42 ^c	3,65 ^{ab}	3,70 ^{ab}	3,88 ^a	1,91 ^{bc}	1,74 ^b	2,04 ^b
100	1,48 ^a	1,43 ^b	1,47 ^{ab}	3,54 ^b	3,53 ^b	3,80 ^a	1,86 ^c	1,79 ^b	2,17 ^{ab}
200	1,51 ^a	1,45 ^b	1,46 ^{bc}	3,51 ^b	3,54 ^b	3,82 ^a	2,02 ^{ab}	1,99 ^a	2,19 ^a
300	1,47 ^a	1,49 ^b	1,50 ^{ab}	3,66 ^{ab}	3,83 ^a	3,82 ^a	2,12 ^a	2,08 ^a	2,18 ^a
400	1,47 ^a	1,67 ^a	1,52 ^a	3,82 ^a	3,81 ^a	3,84 ^a	2,13 ^a	2,07 ^a	2,19 ^a
Média	1,47 ^A	1,50 ^A	1,48 ^A	3,64 ^B	3,68 ^B	3,83 ^A	2,01 ^B	1,93 ^B	2,15 ^A

PRESSÃO	Modelo D			Modelo E			Modelo F		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	0,75 ^a	0,93 ^a	0,99 ^b	0,20 ^a	0,17 ^a	0,27 ^a	1,74 ^b	1,82 ^{bc}	1,87 ^c
100	0,92 ^a	0,97 ^a	1,16 ^{ab}	0,39 ^a	0,41 ^a	0,35 ^a	1,98 ^a	1,91 ^{ab}	2,05 ^b
200	1,17 ^a	1,14 ^a	1,27 ^a	0,36 ^a	0,28 ^a	0,43 ^a	2,04 ^a	1,92 ^{ab}	2,16 ^{ab}
300	1,19 ^a	1,15 ^a	1,25 ^a	0,38 ^a	0,35 ^a	0,41 ^a	2,12 ^a	2,01 ^a	2,19 ^a
400	0,96 ^a	0,87 ^a	1,25 ^a	0,36 ^a	0,14 ^a	0,34 ^a	1,96 ^a	1,70 ^c	2,13 ^{ab}
Média	0,93 ^B	1,01 ^{AB}	1,19 ^A	0,34 ^A	0,27 ^A	0,36 ^A	1,97 ^B	1,87 ^B	2,08 ^A

PRESSÃO	Modelo G			Modelo H			Modelo I		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	2,51 ^a	2,65 ^a	2,73 ^a	2,24 ^b	2,19 ^b	2,35 ^b	0,00	0,00	0,00
100	2,49 ^a	2,43 ^a	2,94 ^a	2,22 ^b	2,26 ^b	2,37 ^b	0,00	0,00	0,00
200	2,19 ^a	2,32 ^a	2,74 ^a	2,57 ^{ab}	2,56 ^a	2,71 ^a	0,00	0,00	0,00
300	2,40 ^a	2,65 ^a	2,78 ^a	2,76 ^a	2,75 ^a	2,85 ^a	0,00	0,00	0,00
400	2,42 ^a	2,47 ^a	2,75 ^a	2,71 ^{ab}	2,58 ^a	2,85 ^a	0,00	0,00	0,00
Média	2,40 ^B	2,50 ^B	2,79 ^A	2,50 ^A	2,47 ^A	2,62 ^A	0,00	0,00	0,00

PRESSÃO	Modelo J			Modelo K			Modelo L		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,34 ^c	1,41 ^c	1,39 ^c	1,68 ^b	0,00 ^c	1,80 ^b	2,00 ^{ab}	1,86 ^a	2,05 ^b
100	1,72 ^b	1,65 ^b	1,77 ^b	1,91 ^a	1,76 ^{ab}	1,91 ^{ab}	1,96 ^b	1,90 ^a	2,16 ^{ab}
200	1,87 ^{ab}	1,72 ^{ab}	1,91 ^{ab}	1,96 ^a	1,68 ^b	1,99 ^a	2,07 ^{ab}	1,90 ^a	2,10 ^b
300	1,92 ^{ab}	1,84 ^a	1,98 ^a	1,87 ^a	1,89 ^a	1,98 ^a	2,08 ^a	2,05 ^a	2,23 ^a
400	1,97 ^a	1,77 ^{ab}	2,05 ^a	1,87 ^a	1,57 ^b	1,98 ^a	2,11 ^a	1,98 ^a	2,22 ^a
Média	1,76 ^A	1,68 ^A	1,82 ^A	1,86 ^A	1,38 ^B	1,93 ^A	2,04 ^B	1,94 ^C	2,15 ^A

Tabela 2.41 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação dinâmica de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(conclusão)

PRESSÃO	Modelo M			Modelo N		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40
50	1,77 ^c	1,78 ^c	1,97 ^c	1,67 ^a	1,58 ^a	1,63 ^a
100	2,00 ^b	1,95 ^{bc}	2,16 ^b	1,62 ^a	1,57 ^a	1,61 ^a
200	2,32 ^a	2,29 ^{ab}	2,54 ^a	1,62 ^a	1,57 ^a	1,57 ^b
300	2,35 ^a	2,49 ^a	2,59 ^a	1,62 ^a	1,63 ^a	1,61 ^a
400	2,41 ^a	2,19 ^{bc}	2,55 ^a	1,63 ^a	1,60 ^a	1,65 ^a
Média	2,17 ^B	2,14 ^B	2,36 ^A	1,63 ^A	1,59 ^A	1,61 ^A

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Em anexo (anexo U a V) encontram-se os valores de coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água.

2.3 Conclusões

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram chegar às seguintes conclusões:

- Existem diferenças significativas entre os modelos de gotejadores avaliados, com relação à suscetibilidade da membrana de compensação ao dano químico por cloro, para a dose extrema de $100\ mg\ L^{-1}$, podendo classificar os emissores quanto à sensibilidade a ação do cloro como: modelos muito sensíveis (E e I), medianamente sensíveis (D e G), sensíveis (F, J, K e L) e pouco sensíveis (A, B, C, H, M e N);
- A diminuição da vazão relativa nem sempre reduz a uniformidade de emissão dos gotejadores;
- Para emissores novos verificou-se que com o aumento da temperatura da água ocorreu aumento da vazão do emissor (relação linear);

- d. A ação do cloro em dosagem extrema afetou a regulação da membrana de compensação, alterando o comportamento linear dos emissores em função da temperatura da água na faixa operacional recomendada pelo fabricante;
- e. A hipótese adotada de efeito linear da dosagem de cloro sobre as membranas dos emissores, evidencia uma elevada segurança na aplicação de dosagens de cloro livre entre 1 e 10 mg L⁻¹ para todos os modelos de gotejadores avaliados, uma vez que o dano do produto químico nas membranas, altera a vazão dos emissores dentro de limites bastante reduzidos, aceitáveis do ponto de vista prático no campo. Caso a hipótese de linearidade venha a ser rejeitada (existência de concentração limiar de dano) o efeito ocasionado será menor ainda, pois em geral a taxa de ataque aumenta com a concentração, mas em muitos casos há níveis limiares no qual nenhum efeito químico significativo é observado;
- f. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as recomendações das empresas de irrigação para uso de cloro no campo precisam ser revistas, pois estão bem abaixo do nível de dano aos emissores, o que dificulta a limpeza dos mesmos sob condição de tratamento de choque para dosagens máximas recomendadas de 10 mg L⁻¹ de cloro livre.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Emissores para sistemas de irrigação localizada – avaliação das características operacionais. São Paulo:ABNT, 1986. 7p. PNBR 12: 02-08-021

ABREU, J.M.H.; LÓPEZ, J.R.; REGALADO, A.P.; HERNÁNDEZ, J.F.G. El riego localizado. In: CURSO INTERNACIONAL DE RIEGO LOCALIZADO. 1987, Tenerife. **Papéis...** Tenerife: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 317 p.

ADIN, A.; SACKS, M. Water quality and emitter clogging relationship in wastewater irrigation. In: WATER REUSE SYMPOSIUM. 1987, Denver. **Proceedings...** Denver: AWWA Research Foundation, 1987. p. 517-530

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.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, Chloridine demand. In. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Washington, D. C. p. 138- 239, 1992.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA, American Water Works Association, and Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th Ed. Washington, D. C. 1999. p. 120-250.

ASAE Standards. Standards engineering practices data: EP405.1. **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph, Mich. Dec., 1999. p. 879-883.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, R.S.; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV. 2006, 625p.

BOMAN, B.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proceedins of the Florida State Horticultural Society**, Florida, n. 107, p. 39 – 47, 1994.

BOTREL, T. A. **Hidráulica de microaspersores e linhas laterais para irrigação localizada**, 1984. 78 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) Escola superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo Piracicaba. 1984

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. Piracicaba, 2004. 130p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2004

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.

CLARK, G.A.; SMAJSTRLA, A.G.; Treating irrigation systems with chlorine. Cooperative Extension Service, circular 1039. IFAS.University of Florida, 1999. 6p (Circular, 103)

CORDEIRO, E.A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002

COSTA, C.C. **Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro**. Lavras, MG: UFLA, 2000. 85p. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000

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

ENGLISH, S. D. Filtration and water treatment for micro-irrigation. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985. Fresno. **Proceedings**.... St. Joseph: ASAE, 1985. p. 50-57.

EUA – ESTADOS UNIDOS DA AMERICA. Departament of Agriculture. An index of the tendency of CaCO_3 to precipitate from irrigation waters. U.S. Salinity Laboratories. **Soil Science Society of America Proceedings**, St. Joseph, v. 29, p. 91-92, 1965.

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

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982. v. 1. 302p.

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

KELLER, J.; KARMELLI, D. **Trickle Irrigation Design**. Glendora, Califórnia: Rainbird Sprinkler Manufacturing, 1975. 30p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold. 1990. 652p.

KOEGELENBERG, F., REINDERS, F. Performance of drip irrigation systems under field conditions. ARC – Institute for Agricultural Engineering. 2002, 14 p. Disponível em: <http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?finename=Documents/8723.Performanceofdripirrigation.pdf>. Acesso em 14.jan.2006.

LEITE, J.A.O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

MANO, E.B.; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 191p.

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

MORAES, O. **Determinação do coeficiente de variação de gotejadores e sua influência na uniformidade de emissão em linhas laterais de irrigação por gotejamento**. 1984. 192p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1984.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop**. Production design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.

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

PLASTRO GVAT. **Manual de filtração e tratamento de águas**. Kibbutz Gvat, Israel: Kibbutz Gvat, 1993. 40p.

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

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

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R. de. Hydraulics performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. *Agricultural Water Management*. 2005. Disponível em : <http://www.elsevier.com/locate/agwat>. Acesso em 14.jan.2006.

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

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. de S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, set-dez, 2000(a).

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. de S. Eficiência na cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, set-dez, 2000(b).

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

RESENDE, R. S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejamento enterrado na irrigação de cana-de-açúcar**. 2003. 124p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

RIBEIRO, T. A. P. **Efeito da cloração, uso de filtro de disco e de filtro de manta sintética não tecida na obstrução de gotejadores**. 2003. 196p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Unicamp, Campinas – SP. Campinas. 2003.

SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfur bacteria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995. Orlando. **Proceedings**.... St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

SAMPAIO, I. B. M. **Estatística aplicada à experimentação animal**. Belo Horizonte: Fundação de Ensino e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 1998. cap. 3, p. 14-23: Estatísticas descritivas básicas.

STATISTICAL ANALYSES SYSTEM – SAS. **The SAS system for Windows Version 8**. 5th ed. Cary: 1999.

SCHMIDT, M. V. V. **Características hidráulicas do tubo gotejador “Queen Gil”**. 1995. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995

SCHISCHA, A.; RAVINA, I.; SAGI, G.; PAZ, E.; YECHIELY, Z.; ALKON, A.; SCHRAMM, G.; SOFER, Z.; MARCU, A.; LEV, Y. Drip irrigation with reclaimed effluent - the clogging problems. 'The platform trials' test filters and emitter sensitivity. **International Water and Irrigation Review**, Israel, v. 17, n. 3, p. 8-12, 1997.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5, p. 1034-1038, 1043, 1979.

SOUZA, J. A. A. de; CORDEIRO, E. de A.; COSTA, E. L. da. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.1, p. 5-9, 2006.

TESTEZLAF, R.; CAMPIONI, E. C. Comportamento hidráulico do tubogotejador “Queen Gil”. **Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 13, p. 29-38, 1993.

VERMEIREN, L.; JOBLING, G. A. **Irrigação localizada**. Tradução de GHEYI, R.S; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V R. S. Campina Grande: UFPB, 1997. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 36).

VERNAY. Disponível em < <http://vernay.com/> > Acesso em 08 nov.2005.

WHITE, G. C. **Handbook of chlorination**. New York: Van Nostrand, Reinhold, 1972. 744 p.

3 AVALIAÇÃO DE DANOS QUÍMICOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO DE GOTEJADORES, CAUSADO PELA APLICAÇÃO ESTÁTICA DE DOSE EXTREMA DE CLORO LIVRE

Resumo

A obstrução de emissores é o maior problema em sistemas de irrigação por gotejamento, podendo causar tanto redução quanto aumento de vazão, reduzindo a uniformidade de distribuição de água do sistema. Assim a aplicação de produtos químicos torna-se importante para prevenir ou recuperar gotejadores entupidos. Desta forma este trabalho visou avaliar a susceptibilidade de membranas de compensação de pressão de quatorze modelos de gotejadores autocompensantes ao processo de dano químico, causado pela aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre por $\frac{1}{2}$ h e descanso do produto na linha por 1 semana. O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP. O sistema de irrigação foi composto de tubogotejadores envolvidos por tubos de PVC e vedados em suas extremidades para permitir o contato da solução de cloro com todo o tubogotejador. Uma vez por semana foram avaliadas a vazão das linhas gotejadoras com o uso de um medidor magnético de vazão e tanto no início quanto no final do experimento foram feitas curvas vazão-pressão nas temperaturas de 15, 25 e 40 °C e pressões de 50, 100, 200, 300 e 400 kPa, para observar a relação entre a vazão e a temperatura. Para tanto, foi utilizado o método gravimétrico para coleta da vazão dos gotejadores na linha para cada modelo por um período de 5 min. Posteriormente, foram calculados: vazão média (q_m), coeficiente de variação de vazão (CV), uniformidade de distribuição de água (UD), vazão relativa (Q_r) e percentual do total de gotejadores, por faixa de redução de vazão. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em esquema fatorial, sendo utilizados os testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. Os modelos de gotejadores ensaiados apresentaram pouca sensibilidade à aplicação de cloro livre. Ocorreu um decréscimo inferior a 10% da vazão média (L h^{-1}) para os diferentes modelos de emissores, mostrando que este tratamento químico com cloro utilizando pouco tempo de aplicação ($\frac{1}{2}$ h) não afetou severamente o funcionamento da membrana de compensação dos modelos de gotejadores estudados. Uma vez que mantiveram a vazão média praticamente constante durante todo o ensaio, os modelos F, L, e N foram os que mostraram o melhor desempenho, pois 100% do total de emissores não apresentaram redução de vazão. O modelo A apresentou aumento de vazão conforme o aumento de pressão para a temperatura da água igual a 40 °C. O modelo B apresentou aumento de vazão em função da temperatura. Os modelos C, D, E, K e N apresentaram comportamento linear da vazão em função da pressão, mas a temperatura influenciou de maneira distinta na vazão de cada um destes modelos de emissores. Para os modelos F, G, H, I, J, L e M, o aumento de pressão influenciou no aumento de vazão, sendo que o comportamento da vazão em função da variação de temperatura foi distinta para cada modelo de emissor.

Palavras-chave: cloração, tempo de exposição, temperatura, gotejamento, membrana de compensação.

EVALUATION OF CHEMICAL DAMAGES IN MEMBRANES OF COMPENSATING PRESSURE, CAUSED FOR THE STATIC APPLICATION OF EXTREME DOSE OF FREE CHLORINE

Abstract

Emitter clogging is the main problem related to drip irrigation systems, resulting flow rate disorders that reduces the uniformity of irrigation in the field. The application of chemical products becomes important to prevent or to recover obstructed emitters. This work aims to evaluate membrane resistance of fourteen compensating pressure drippers, caused by the static application of 100 mg L^{-1} of free chlorine. The experiment was carried out in the Irrigation Laboratory at the University of São Paulo - Brazil. The irrigation system was composed of drippers involved by PVC pipes closed in its extremities to assure the contact of the chlorine solution with the whole emitter. Once a week the flow rate of the line of drippers was measured with a magnetic meter. Discharge/pressure relationship for temperatures of 15, 25 and 40°C and pressures from 50, 100, 200, 300 to 400 kPa, were measured. The gravimetric method was also used for determining individual flow rate. Later on, it was calculated: average flow rate (q_m), flow rate variation coefficient (CV), uniformity of distribution (UD), relative flow rate (Qr) and percentage of emitters according to flow rate reduction. The statistical analysis of the treatment was accomplished by tests "F" for variance analysis and Tuckey, at 5% of significance, for comparison of averages and regression analysis. Dripper's models presented little sensibility to the application of free chlorine. The treatment did not promote any decrease at 10% of the average flow rate (L h^{-1}) for the different models of emitters, showing that this chemical treatment with chlorine contact for small time ($\frac{1}{2} \text{ h}$) did not affect membrane compensation inside emitters. Once it was observed average flow rate practically constant during the experiment, models F, L, and N were the ones that showed the best acting, because 100% of the total emitters did not present flow rate reduction. Model A presented flow rate increase related to pressure increase for temperature of water of 40°C . Model B presented flow rate increase in function of the temperature. Models C, D, E, K and N presented linear relation of the flow rate according to pressure, but temperature influenced in a different way each model. For models F, G, H, I, J, L and M, pressure increase resulted flow rate increase, with temperature variation different for each emitter.

Keywords: chlorination, exposure time, temperature, drip irrigation, membrane of compensating pressure.

3.1 Introdução

A principal desvantagem associada com o sistema de irrigação por gotejamento, é com relação à obstrução de gotejadores. Devido a utilização de emissores com diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm, podem ocorrer problemas de entupimento e comprometimento da eficiência e da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação por gotejamento (NAKAYAMA; BUCKS, 1991). O elevado custo inicial e de manutenção do sistema, rompimento de tubulações, necessidade de operadores habilitados, e a obstrução dos emissores e tubulações pelos sedimentos e crescimento microbiano (AYERS; WESTCOT, 1991) são as principais limitações, impondo a necessidade de uma avaliação periódica do sistema para checagem, troca e recuperação de emissores em mau funcionamento, constituindo assim, uma atividade de rotina a verificação da uniformidade de distribuição da água pelos emissores (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979).

A aplicação do cloro nas águas de irrigação tem como objetivos principais a redução na quantidade de sólidos em suspensão contidos no sistema de filtragem, o controle do crescimento de bactérias no sistema, a sedimentação e/ou dissolução de partículas sólidas contidas na água e a homogeneização máxima da água que esteja sendo filtrada, para se obter uma filtragem fixa e uniforme. Para o agricultor que se preocupa em manter altos os níveis de eficiência do seu sistema de irrigação, a cloração cria um ambiente em que não ocorre o desenvolvimento de algas, atua como agente oxidante, causando a decomposição da matéria orgânica, além de prevenir a aglomeração e sedimentação de matéria orgânica em suspensão. Causa a oxidação de substâncias tais como o ferro e manganês, produzindo compostos insolúveis que podem logo ser removidos pelo sistema de filtragem impedindo entupimentos constantes (PLASTRO, 1993).

A concentração de cloro ativo em nível de 1 mg L^{-1} é utilizada em estações de tratamento de água para consumo humano. Não tem sido relatado nenhum dano às plantas irrigadas com água nesta concentração. O cloro ativo presente pode ser, rapidamente, neutralizado no solo (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

O cloro pode ser aplicado da seguinte maneira (PLASTRO, 1993): a) injeção intermitente e/ou uniforme de cloro em baixas concentrações (normalmente $3 \text{ a } 10 \text{ mg L}^{-1}$), por um período não inferior a 30 minutos, durante o ciclo de irrigação, como tratamento preventivo; b) injeção intermitente em alta concentração (normalmente mais que 10 mg L^{-1}), uma ou várias vezes

durante o ciclo de irrigação (comum em duração de aproximadamente 20 minutos por dia), como tratamento preventivo; e c) supercloração com concentrações acima de 50 mg L^{-1} , com uma duração de 5 minutos durante o ciclo de irrigação. No caso de depósito de limo, a remoção ocorre com clorações em níveis elevados (1000 mg L^{-1}), mas requer muito cuidado, a fim de prevenir efeitos adversos nas plantas e equipamento (GILBERT; FORD, 1986). Pizarro (1996) recomenda a aplicação de 250 a 500 mg L^{-1} de cloro durante 12 horas, seguida de uma lavagem com água em alta pressão. Resende (1999) obteve bons resultados, utilizando uma dose de 300 mg L^{-1} de cloro, na forma de hipoclorito de sódio, em aplicações para desentupimento de cinco modelos de emissores. Vieira (2002) obteve melhora acentuada na uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento que apresentava sérios problemas de obstrução provocados por ferrobactérias, com a aplicação de 100 mg L^{-1} de cloro livre, utilizando hipoclorito de sódio e ácido fosfórico.

A Tabela 3.1 mostra a concentração recomendada de cloro livre em água para vários fins.

Tabela 3.1 – Concentração recomendada de cloro livre na água de irrigação

Propósito	Aplicação	Local de medição		
		Antes do filtro	Depois do filtro mg L^{-1}	Fim do sistema
Prevenção do crescimento de algas	Contínua	1,0-10,0	1,0-10,0	0,5-1,0
Destruição de algas e desenvolv. de bactérias	Intermitente	10,0-20,0	10,0-20,0	0,5-1,0
Dissolução de matéria orgânica	Supercloração	50-500	50-500	$\cong 10,0$
Oxidação de 1 mg L^{-1} de ferro	Contínua	0,6	1,0	0,5-1,0
Oxidação de 1 mg L^{-1} de manganês	Contínua	0,6	1,0	0,5-1,0
Para 1 mg L^{-1} de enxofre	Intermitente	0,6	1,0	0,5-1,0

Fonte: Plastro (1993).

Ao se calcular a concentração de cloro desejada, deve-se considerar os seguintes fatores:

a) A concentração de ácido sulfídrico (H_2S) que reage com cloro na proporção de 1:1 (por isso, cada mg L^{-1} de H_2S deve ser neutralizado pela adição de 1 mg L^{-1} de cloro); e b) A concentração de ferro que deve ser eliminada pela sedimentação antes que alcance o sistema de filtragem (isto requer $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ de cloro adicionado por cada mg L^{-1} de ferro).

Isto porque no laboratório o processo é estático, ou seja, não existe um fluxo de água, enquanto que no teste de campo já ocorre o inverso, ou seja, existe um fluxo de água passando

continuamente através de um elemento filtrante e isto com certeza causa uma variação no consumo de cloro aplicado.

A obtenção de uma concentração de cloro residual livre específica em água de irrigação por gotejamento muitas vezes é obtida por tentativa e erro. Obter um 1 mg L^{-1} de concentração de cloro final equivalente, é exigida uma taxa de injeção ligeiramente mais alta de concentração de cloro que a obtida por cálculo. A razão para isto é que a maioria das águas tem uma demanda de cloro inerente. O cloro pode reagir com material orgânico suspenso, partículas de argila, ou outros componentes dissolvidos, além de bactérias.

A prática habitual é clorar a água logo antes o filtro, sendo importante manter certa distância do ponto de injeção do cloro em relação ao filtro para permitir que a reação química completa possa acontecer dentro de um tempo adequado e desta forma permitir que $\text{Fe}(\text{OH})_3$ precipite e aglomere, possibilitando sua remoção pelo sistema de filtragem.

Na Tabela 3.2 são listadas as diferentes fontes de cloro. Os custos relativos podem ser calculados, avaliando-se a quantidade da substância química específica necessária para atingir uma determinada concentração de cloro e o custo da substância química. O custo inicial do sistema de injeção e a disponibilidade da substância química também devem ser considerados na seleção de um sistema de cloração. Sistemas que requerem elevados volumes de água utilizam o gás cloro por ser o mais econômico, considerando que sistemas que apresentam necessidades menores utilizam soluções de hipoclorito de sódio devido sua conveniência.

Tabela 3.2 – Fontes equivalentes de cloro comercial e quantidade necessária para tratamento de $1,233 \text{ m}^3$ (1 acre-ft) de água para obter $1 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}_2$

Químico	Quantidade equivalente para 454 g (1 lb) de Cl_2	Quantidade para tratamento de $1,233 \text{ m}^3$ (1 acre-ft) para $1 \text{ mg L}^{-1} \text{ Cl}_2$
Gás cloro	454 g (1,0 lb)	1226 g (2,7 lb)
Hipoclorito de cálcio		
65-70% cloro disponível	681 g (1,5 lb)	1816 g (4,0 lb)
Hipoclorito de sódio		
15% cloro disponível	2,54 L (0,67 gal)	6,81 L (1,8 gal)
10% cloro disponível	3,78 L (1,0 gal)	10,22 L (2,7 gal)
5% cloro disponível	7,57 L (2,0 gal)	20,44 L (5,4 gal)

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

3.2 Desenvolvimento

3.2.1 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, situada no município de Piracicaba-SP, situado nas coordenadas geográficas de 22° 42’ de latitude Sul e 47° 38’ de longitude Oeste, a uma altitude de 540m.

Foram montadas 14 linhas gotejadoras com os diferentes gotejadores autocompensantes descritos na Tabela 2.9 (Capítulo 1). Primeiramente foi realizada uma irrigação de 36 horas, para adequar o funcionamento da membrana de compensação de pressão antes de se iniciar o ensaio e também uma leitura de vazão de cada gotejador em cada uma das linhas a temperatura ambiente (25°C) a pressão de 200 kPa, para verificação do funcionamento dos gotejadores.

As linhas gotejadoras foram envolvidas por tubo PVC com diâmetro nominal de 32 mm e vedadas junto aos registros no início e no final com o uso de fita isolante de alta fusão, para manter a solução de 100 mg L⁻¹ de cloro livre em contato com toda a parede interna e externa da mangueira e do gotejador (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Linhas gotejadoras envolvidas por tubo de PVC 32 mm, no nível 2 da bancada de ensaios

Este procedimento buscou simular a situação em campo onde muitos irrigantes antes de desligar o sistema ao final do período de irrigação, realizam a aplicação de uma dosagem elevada de cloro (50 a 100 mg L^{-1} de cloro livre) com pH na faixa de $5,5$ a $6,0$, com o intuito de controlar possíveis problemas de entupimento, deixando a solução descansar nas linhas durante todo o período em que não é realizada irrigação (período em torno de 3 meses).

Para a manutenção do pH na faixa de $5,5$ a $6,0$ utilizou-se ácido fosfórico 85% P.A.

O sistema de aplicação de água foi intensivo, sendo realizada uma avaliação do sistema uma vez por semana para verificar a influência causada pelo tratamento de choque, sobre a vazão média e a taxa de diminuição da vazão dos emissores (Vazão Relativa, QR).

Para realizar-se a leitura de vazão das linhas gotejadoras, após 1 semana de aplicação, utilizou-se a água do reservatório 1, e um medidor magnético de vazão Conaut – Krohne modelo IFS 4000 W/6 com conversor de sinal modelo IFC 090 D e com faixa de leitura de 0 - $90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e precisão de 99% para a leitura de vazão das linhas gotejadoras.

Antes de cada aplicação foi feita uma lavagem das linhas (3 min) com a abertura do final de linha numa pressão correspondente a 200 kPa. Uma adaptação no tubo de 100 mm conectado ao fundo da calha permitia descartar a água utilizada para lavagem das linhas em um canal dentro do Laboratório de Irrigação, que é utilizado para descarte de água proveniente de ensaios.

Após a lavagem das linhas, fechavam-se os registros no final de linha correspondente a cada linha gotejadora, e preparava-se uma calda da solução de 100 mg L^{-1} de cloro livre num volume de água correspondente a 400 L, no reservatório 2 (tratamento). Em seguida, realizava-se a leitura do pH e a temperatura da solução.

Esta mesma solução após a aplicação no Nível 2 era utilizada para a aplicação dinâmica no Nível 1 (tratamento de choque com aplicação dinâmica de 100 mg L^{-1} de cloro livre, com pH na faixa de $5,5$ a $6,0$), evitando assim, desperdício de solução.

O procedimento para a leitura de vazão da linha gotejadora utilizando-se o medidor magnético, consistiu da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 200 kPa no início de cada linha, utilizando um manômetro de Bourdon, e aplicação da solução num intervalo de $\frac{1}{2}$ hora. O sistema de aplicação permitia a recirculação da solução aplicada conforme o seguinte esquema: reservatório → gotejadores → telha → calha → tubo de PVC 100 mm → reservatório. Após a leitura realizava-se a leitura com o registro fechado para observar a vazão residual e a tabulação dos dados. A leitura de vazão no medidor foi feita em $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$, conforme a

equação 3.1, sendo que para cada leitura aguardava-se a estabilização do medidor magnético de vazão.

Devido às linhas gotejadoras estarem envolvidas cada uma por tubos de PVC 32 mm, foram feitos furos no tubo na parte superior correspondente ao centro da mangueira. Estes furos permitiam a recirculação da solução e que ao estabilizar a pressão de funcionamento do sistema motobomba, não ocorresse vazamento junto às emendas com fita isolante de alta fusão feitas nas extremidades das mangueiras próximas dos registros, evitando também a perda de solução após o encerramento da aplicação. Ao final da aplicação os registros eram fechados com o sistema ainda em funcionamento, para evitar retorno da solução para o reservatório, garantindo assim que a solução permanecesse em contato com toda a superfície interna e externa da linha gotejadora. Para evitar uma perda acentuada da solução ao longo da semana, foram colocadas cortinas laterais na bancada de ensaio.

A eq. (3.1) demonstra o cálculo da vazão média ($L\ h^{-1}$) de cada modelo de gotejador ensaiado, a partir da vazão total ($m^3\ h^{-1}$) obtida pelo uso do medidor magnético de vazão.

$$q_m = \frac{Q}{1000\ N} \quad (3.1)$$

em que:

q_m – vazão média do gotejador, $L\ h^{-1}$;

Q – vazão total, $m^3\ h^{-1}$; e

N – número de emissores na linha gotejadora.

Diariamente foi feita a medida da temperatura e o pH da solução no reservatório 2, para o monitoramento adequado do ensaio. A temperatura da água medida variou de $25\ ^\circ C \pm 3\ ^\circ C$ durante o período de ensaio.

Cálculos estequiométricos foram realizados para a determinação da dosagem de cloro livre a ser utilizada, sendo que para efeito de monitoramento, amostras de água foram coletadas dos furos feitos nos tubos de PVC 32 mm (localizado na metade do comprimento da linha gotejadora), para determinar o teor de cloro livre, utilizando-se kits de medição usados no tratamento de piscinas, com a necessária diluição para atingir a faixa de leitura do kit, a qual é de 1 a $5\ mg\ L^{-1}$.

Para o cálculo da dosagem de ácido fosfórico 85% P.A. utilizada para manter o pH na faixa de 5,5 a 6,0, foi feita uma curva de titulação conforme os dados apresentados na Tabela 2.14 descrita anteriormente (Capítulo 1).

Para diminuir a perda de solução por respingo fora da bancada, foram colocadas cortinas laterais, com intuito também de proteger a bancada contra corrosão e os operadores da mesma utilizaram vestimentas especiais para manuseio de ácidos e cloro durante os ensaios.

3.2.2 Resultados e Discussão

A Figura 3.2 apresenta a variação de temperatura (°C) e pH durante o período de coleta.

Observa-se que a temperatura variou numa faixa estreita (23 a 28 °C) durante o ensaio e o pH manteve-se dentro da faixa de 5,5 a 6,0, sendo observado, no entanto, que durante o ensaio o valor mínimo observado foi de 5,3 e 6,2, com exceção da primeira leitura (7,5) que mediu o valor de pH da água sem o tratamento químico com cloro.

Figura 3.2 – Valores de temperatura (°C) e pH medidos durante o período do ensaio

A Tabela 3.3 apresenta o número de gotejadores de cada modelo utilizados para o cálculo da média.

Tabela 3.3 – Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível 2)

Modelo	NE	Modelo	NE
Modelo A	33	Modelo H	11
Modelo B	13	Modelo I	11
Modelo C	14	Modelo J	14
Modelo D	15	Modelo K	13
Modelo E	21	Modelo L	15
Modelo F	15	Modelo M	22
Modelo G	11	Modelo N	15

As Tabelas 3.4a e b apresentam os valores de vazão média expresso em $L\ h^{-1}$ e como percentual da vazão nominal (%), dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão (Nível 2).

Observa-se que para todos os emissores ensaiados o decréscimo da vazão relativa (QR, %) foi inferior a 10% para todos os modelos ensaiados, concordando com Souza; Cordeiro e Costa (2006) que estudando um modelo de gotejador autocompensante com dois anos de uso, observaram que este reduziu gradativamente a sua vazão média conforme o aumento do número de aplicações de hipoclorito de sódio (12% de cloro livre) para cada dose aplicada (50, 100 e $150\ mg\ L^{-1}$) durante 1 h com descanso do produto na linha por 24 h. Desta forma, fica claro que este tipo de tratamento químico pode auxiliar no controle de entupimento de gotejadores autocompensantes, sem, no entanto afetar drasticamente o funcionamento da membrana de compensação de pressão destes emissores.

O modelo N não foi afetado em sua vazão pelo tratamento químico com $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre utilizando aplicação estática ($\frac{1}{2}$ h) até 1176 h de ensaio. O modelo F, também pode ser considerado resistente à ação do cloro nesta dosagem com aplicação por $\frac{1}{2}$ h até 3192 h de funcionamento.

Observa-se uma variação dos valores de vazão média e vazão relativa após cada leitura semanal, podendo numa semana a vazão média e a vazão relativa apresentar valores baixos e na outra semana valores acima dos valores medidos anteriormente e na semana seguinte diminuir novamente. Isto ocorre porque apesar do medidor magnético de vazão apresentar precisão de 99%, a leitura da vazão foi feita após a estabilização do aparelho e da pressão na linha, mas a

ocorrência de pequenas alterações de pressão na linha e também variações quanto à leitura da vazão residual da linha lateral poderiam contribuir para estas diferenças de leitura de vazão. No entanto, esta diferença não foi superior a 7% da leitura de vazão da linha de uma semana para outra, para nenhum dos modelos de emissores ensaiados. A vazão real da linha gotejadora durante todo o ensaio foi obtida da subtração da vazão da linha medida com o registro aberto no início da vazão residual (leitura da vazão da linha com o registro no início da linha fechado).

A análise da Tabela 3.5 permite observar a influência deste tratamento químico na alteração de vazão, foi significativa somente a partir de 2352 h de funcionamento, sendo observado, no entanto, que com 3024 h a vazão média voltou a apresentar comportamento semelhante ao do início do tratamento químico.

Tabela 3.4a – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G

Aplicação	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0*	1,57	100	3,97	100	2,19	100	1,69	100	2,39	100	2,38	100	3,59	100
0	1,53	97	3,83	96	2,11	96	1,61	96	2,37	99	2,30	97	3,38	94
168	1,55	98	3,81	96	2,12	97	1,67	99	2,37	99	2,35	99	3,60	100
336	1,51	96	3,87	97	2,18	100	1,64	97	2,36	99	2,33	98	3,55	99
504	1,49	95	3,84	97	2,17	99	1,62	96	2,40	100	2,35	99	3,50	97
672	1,48	94	3,75	95	2,14	98	1,66	99	2,39	100	2,36	99	3,57	99
840	1,48	94	3,81	96	2,14	98	1,63	97	2,39	100	2,38	100	3,55	99
1008	1,50	95	3,87	97	2,13	97	1,62	96	2,37	99	2,33	98	3,41	95
1176	1,51	96	3,85	97	2,17	99	1,60	95	2,38	100	2,37	100	3,45	96
1344	1,51	96	3,83	96	2,10	96	1,58	94	2,35	99	2,36	99	3,42	95
1512			3,87	98	2,14	98	1,62	96	2,37	99	2,35	99	3,44	96
1680			3,88	98	2,13	98	1,61	95	2,34	98	2,34	99	3,44	96
1848			3,82	96	2,19	100	1,55	92	2,31	97	2,38	100	3,46	96
2016			3,93	99	2,16	99	1,55	92	2,32	97	2,38	100	3,51	98
2184			3,83	96	2,14	98	1,59	94	2,31	97	2,41	101	3,43	95
2352			3,85	97	2,14	98	1,59	94	2,34	98	2,41	101	3,44	96
2520			3,74	94	2,12	97	1,47	87	2,28	96	2,36	99	3,44	96
2688			3,76	95	2,09	96	1,53	91	2,30	96	2,38	100	3,34	93
2856			3,77	95	2,14	98	1,52	90	2,29	96	2,37	100	3,38	94
3024			3,84	97	2,13	97	1,63	97	2,37	99	2,38	100	3,50	97
3192			3,79	95	2,08	95	1,53	91	2,28	95	2,35	99	3,39	94

* Vazão média dos gotejadores, sem as linhas gotejadoras estarem envolvidas por tubo de PVC 32 mm.

Tabela 3.4b – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N

Aplicação	Modelo													
	H		I		J		K		L		M		N	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0*	2,87	100	2,04	100	2,35	100	2,33	100	2,63	100	2,36	100	1,67	100
0	2,80	98	1,91	94	2,20	93	2,31	99	2,56	97	2,28	96	1,66	99
168	2,79	98	1,98	97	2,36	100	2,32	100	2,59	98	2,30	97	1,64	98
336	2,87	100	2,01	99	2,26	96	2,31	99	2,56	97	2,28	96	1,65	98
504	2,82	98	2,01	99	2,29	97	2,30	99	2,64	100	2,34	99	1,65	99
672	2,65	92	2,02	99	2,26	96	2,33	100	2,58	98	2,33	99	1,68	100
840	2,77	97	2,04	100	2,24	95	2,31	99	2,56	97	2,33	99	1,64	98
1008	2,83	99	2,02	99	2,13	90	2,28	98	2,54	97	2,36	100	1,59	95
1176	2,84	99	2,03	100	2,14	91	2,31	99	2,59	98	2,36	100	1,67	100
1344	2,78	97	1,98	97	2,12	90	2,31	99	2,59	98	2,37	100	1,65	99
1512	2,88	100	1,98	97	2,16	92	2,32	100	2,54	97	2,37	100		
1680	2,85	99	1,82	90	2,12	90	2,31	99	2,53	96	2,35	99		
1848	2,79	97	1,77	87	2,15	91	2,33	100	2,54	96	2,32	98		
2016	2,85	99	1,94	95	2,25	95	2,34	100	2,57	97	2,32	98		
2184	2,78	97	1,92	94	2,27	97	2,30	99	2,59	98	2,35	99		
2352	2,77	97	1,89	93	2,09	89	2,32	100	2,58	98	2,34	99		
2520	2,78	97	1,89	93	2,18	93	2,29	98	2,52	96	2,34	99		
2688	2,74	96	1,88	92	2,21	94	2,30	99	2,55	97	2,30	97		
2856	2,74	96	1,88	92	2,21	94	2,30	99	2,53	96	2,32	98		
3024	2,78	97	1,83	90	2,15	91	2,31	99	2,57	98	2,36	100		
3192	2,74	95	1,86	91	2,18	93	2,26	97	2,56	97	2,27	96		

* Vazão média dos gotejadores, sem as linhas gotejadoras estarem envolvidas por tubo de PVC 32 mm.

Tabela 3.5 – Vazão da linha gotejadora (q_L), expresso em $L\ h^{-1}$, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N e testes de média, respectivamente

horas	Modelos														Média
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
0	51,94	49,76	29,49	24,16	49,71	34,56	37,23	30,81	21,06	30,73	29,99	38,36	50,09	25,09	35,93 ^{abc}
168	50,56	49,53	29,72	25,11	49,74	35,21	39,55	30,74	21,73	33,08	30,15	38,87	50,64	24,86	36,39 ^{ab}
336	51,04	50,31	30,50	24,58	49,57	35,01	39,1	31,57	22,09	31,60	29,97	38,33	50,07	25,25	36,36 ^{abc}
504	49,68	49,86	30,39	24,27	50,34	35,32	38,51	31,01	22,16	32,10	29,90	39,66	51,51	24,68	36,86 ^{ab}
672	49,11	48,79	29,92	24,97	50,24	35,34	39,26	29,10	22,23	31,63	30,28	38,77	51,25	24,77	36,12 ^{abc}
840	48,87	49,55	29,94	24,41	50,27	35,64	39,06	30,49	22,45	31,33	30,04	38,39	51,29	25,15	36,21 ^{abc}
1008	48,71	50,27	29,83	24,27	49,87	35,00	37,48	31,14	22,2	29,75	29,66	38,14	51,83	24,65	35,91 ^{abc}
1176	49,47	50,04	30,31	24,02	50,03	35,62	37,92	31,23	22,32	30,02	30,04	38,81	51,82	23,91	36,11 ^{abc}
1344	49,73	49,75	29,36	23,77	49,45	35,41	37,59	30,61	21,82	29,67	30,04	38,85	52,06	25,00	35,94 ^{abc}
1512		50,36	29,96	24,25	49,8	35,31	37,84	31,63	21,80	30,29	30,15	38,12	52,24		35,98 ^{abc}
1680		50,41	29,84	24,13	49,19	35,12	37,79	31,31	20,06	29,62	30,06	37,97	51,73		35,60 ^{abc}
1848		49,66	30,66	23,32	48,5	35,76	38,11	30,71	19,47	30,1	30,23	38,11	51,11		35,48 ^{abc}
2016		51,04	30,28	23,29	48,79	35,64	38,56	31,31	21,33	31,45	30,36	38,48	51,12		35,97 ^{abc}
2184		49,75	29,99	23,84	48,57	36,16	37,69	30,59	21,14	31,81	29,86	38,81	51,64		35,82 ^{abc}
2352		50,10	29,98	23,79	49,06	36,16	37,87	30,45	20,74	28,3	30,22	38,63	51,55		36,57 ^{abc}
2520		48,66	29,7	22,11	47,91	35,34	37,84	30,61	20,81	28,47	29,76	37,8	51,37		35,03 ^{bc}
2688		48,92	29,23	22,89	48,32	35,65	36,7	30,12	20,67	28,9	29,94	38,21	50,67		35,02 ^{bc}
2856		48,95	29,99	22,87	48,15	35,51	37,23	30,15	20,68	28,95	29,84	38,02	51,14		35,12 ^{bc}
3024		49,93	29,79	24,48	49,71	35,74	38,52	30,62	20,16	29,14	30,05	38,59	51,82		35,71 ^{abc}
3192		49,21	29,07	23,01	47,78	35,28	37,32	30,09	20,44	28,49	29,42	38,41	49,88		34,86 ^c

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

As Tabelas 3.6 a 3.19 mostram os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades, para os valores de vazão média ($L\ h^{-1}$) apresentados na Tabela 3.5, com o tratamento químico utilizando $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre (aplicação estática) para cada um dos modelos de gotejadores ensaiados ao longo do tempo.

Tabela 3.6 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	51,36611***	0,55661	92,28	0,002139 ↔	102,7301
(β_1)	-0,29300**	0,09891	-2,96	-0,00023 ↔	-0,58577
R ²	0,5563				
F	8,77**				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.7 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	49,99205***	0,28461	175,65	0,000304 ↔	99,9838
(β_1)	-0,02377 ^{ns}	0,02376	-1,00	-1 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,04753
R ²	0,0527				
F	1,00 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.8 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	30,10932***	0,18768	160,43	-0,00018 ↔	60,21882
(β_1)	-0,02017 ^{ns}	0,01567	-1,29	4,43 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,04038
R ²	0,0843				
F	1,66 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.9 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	24,83479***	0,25616	96,25	7,8 10 ⁻⁰⁵ ↔	49,6695
(β_1)	-0,09122***	0,02138	-4,27	7,26 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,18251
R ²	0,5027				
F	18,20***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.10 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	50,35542***	0,25080	200,78	-0,0002 ↔	100,711
(β_1)	-0,10528***	0,02094	-5,03	4,82 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,21061
R ²	0,5842				
F	25,29***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.11 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	35,09443***	0,14007	250,54	$3,95 \cdot 10^{-5}$	$\leftrightarrow$ 70,1888
(β_1)	0,00022***	0,00007	2,87	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$\leftrightarrow$ 0,0004
R^2	0,315				
F	8,28***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.12 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	38,74953***	0,31397	123,42	-0,00065	$\leftrightarrow$ 77,49971
(β_1)	-0,06581**	0,02621	-2,51	$-2,3 \cdot 10^{-05}$	$\leftrightarrow$ -0,1316
R^2	0,2594				
F	6,31**				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.13 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	30,99721***	0,27211	113,91	0,00116	$\leftrightarrow$ 61,99326
(β_1)	-0,02692 ^{ns}	0,02272	-1,19	0,000117	$\leftrightarrow$ -0,05396
R^2	0,0724				
F	1,40 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.14 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	22,30347***	0,30899	72,18	0,000572	$\leftrightarrow$ 44,60637
(β_1)	-0,09862***	0,02579	-3,82	-0,0001	$\leftrightarrow$ -0,19714
R^2	0,4481				
F	14,62***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.15 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	32,09305***	0,44177	72,65	-0,00154	$\leftrightarrow$ 64,18764
(β_1)	-0,17348***	0,03688	-4,70	-0,00014	$\leftrightarrow$ -0,34682
R^2	0,5514				
F	22,13***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.16 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	30,11311***	0,10122	297,50	0,00016	$\leftrightarrow$ 60,22606
(β_1)	-0,01096 ^{ns}	0,00845	-1,30	$2,5 \cdot 10^{-05}$	$\leftrightarrow$ -0,02195
R^2	0,0855				
F	1,68 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.17 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	38,74400***	0,18929	204,68	0,000123 ↔	77,48788
(β_1)	-0,02643 ^{ns}	0,01580	-1,67	-4,4 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,05282
R ²	0,1345				
F	2,80 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.18 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	51,10989***	0,31818	160,63	0,000637 ↔	102,2191
(β_1)	0,01253 ^{ns}	0,02656	0,47	4,68 10 ⁻⁰⁵ ↔	0,025013
R ²	0,0122				
F	0,22 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 3.19 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	25,14611***	0,27746	90,63	-9 10 ⁻⁰⁵ ↔	50,29231
(β_1)	-0,06567 ^{ns}	0,04931	-1,33	-8,8 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,13125
R ²	0,2022				
F	1,77 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

As Figuras 3.3 a 3.16 mostram, para os diferentes tipos de emissores e o tempo de operação do sistema avaliado, a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão. Uma vez que mantiveram a vazão média praticamente constante durante todo o ensaio, os modelos F, L, e N foram os que mostraram o melhor desempenho, pois 100% do total de emissores não apresentaram redução de vazão. Os modelos D, J, K e M mostraram também desempenho muito bom, pois 90% do total dos emissores não apresentaram redução de vazão e os 10% restantes, reduções entre 10% e 20%. O modelo E foi o que sofreu o maior percentual de redução de vazão ao longo do experimento, tendo 40% do total dos emissores sem redução de vazão e 40% do total de gotejadores com 10% de redução de vazão e os 20% restantes divididos em partes semelhantes entre 20%, 40%, 50%, 60% e 70% de redução de vazão.

Observa-se, no entanto que este tratamento químico não foi tão agressivo quanto à aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0.

Figura 3.3 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 15$) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio

Figura 3.4 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 13$) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio

Figura 3.5 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio

Figura 3.6 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio

Figura 3.7 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 21$) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio

Figura 3.8 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 15$) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio

Figura 3.9 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio

Figura 3.10 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio

Figura 3.11 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio

Figura 3.12 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 12$) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio

Figura 3.13 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio

Figura 3.14 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 15$) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio

Figura 3.15 – Percentual do número total de gotejadores (n = 20) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio

Figura 3.16 – Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio

3.2.2.1 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão

As Figuras 3.17 a 3.30 mostram as curvas vazão *versus* pressão para os 14 modelos de gotejadores após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L^{-1} de cloro livre, com temperatura da água igual a 15°C , 25°C e 40°C , utilizando as seguintes pressões: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa. Com exceção dos modelos A e N em que o contato com a solução de cloro ocorreu num período de 1344 h.

O modelo A apresentou um comportamento diferente da curva vazão-pressão para a temperatura da água igual a 40°C em relação às demais temperaturas. Na temperatura de 40°C a vazão aumentou conforme o aumento de pressão, mas foi superior às temperaturas de 15°C e 25°C somente a partir de 300 kPa. A curva vazão-pressão para a temperatura de 25°C foi inferior à de 15°C , isto provavelmente por ter sido a primeira curva a ser feita e a membrana não

estar compensando adequadamente, já que durante o experimento a mesma somente funcionava por $\frac{1}{2}$ h durante a aplicação e em torno de 1,5 h quando era realizada a leitura de vazão da linha com o medidor magnético de vazão semanalmente.

O modelo B apresentou redução de vazão com o aumento de pressão. No entanto, o aumento da temperatura de 15 °C, para 25 °C e posteriormente para 40 °C contribuiu para o aumento de vazão em função da temperatura.

Os modelos C, D, E, K e N apresentaram comportamento linear da vazão em função da pressão, mas a temperatura influenciou de maneira distinta na vazão de cada um destes modelos de emissores.

Para os modelos F, G, H, I, J, L e M, o aumento de pressão influenciou no aumento de vazão, sendo que o comportamento da vazão em função da variação de temperatura foi distinta para cada modelo de emissor.

Figura 3.17 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo A (após 1344 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.18 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo B (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.19 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo C (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.20 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo D (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.21 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo E (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.22 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo F (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.23 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo G (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.24 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo H (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.25 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo I (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.26 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo J (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.27 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo K (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.28 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo L (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.29 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo M (após 3360 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Figura 3.30 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo N (após 1344 h de aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre)

Em anexo (anexo W e X) encontram-se os valores de coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água para as curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento químico com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre durante ½ h e temperatura da água a 15, 25 e 40 °C.

A Tabela 3.20 apresenta a vazão média (q_m), expresso em L h⁻¹ dos gotejadores expostos ao tratamento químico com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente, conforme as curvas vazão-pressão mostradas anteriormente.

Tabela 3.20 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento químico com aplicação estática de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continua)

PRESSÃO	Modelo A			Modelo B			Modelo C		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,47 ^a	1,46 ^a	1,44 ^b	4,02 ^a	4,09 ^a	4,21 ^a	2,14 ^a	2,19 ^a	2,27 ^a
100	1,57 ^{ab}	1,46 ^a	1,48 ^{ab}	3,73 ^{bc}	3,84 ^b	4,04 ^b	1,97 ^b	2,06 ^{bc}	2,12 ^b
200	1,51 ^b	1,46 ^a	1,46 ^b	3,63 ^c	3,62 ^c	3,80 ^c	1,95 ^b	1,96 ^c	2,11 ^b
300	1,40 ^b	1,43 ^a	1,48 ^a	3,77 ^{bc}	3,87 ^b	3,87 ^c	2,05 ^{ab}	2,18 ^{ab}	2,19 ^{ab}
400	1,43 ^c	1,42 ^a	1,51 ^a	3,86 ^{ab}	3,97 ^b	3,89 ^c	2,12 ^a	2,19 ^a	2,19 ^{ab}
Média	1,47 ^A	1,44 ^B	1,47 ^B	3,80 ^B	3,88 ^{AB}	3,96 ^A	2,05 ^B	2,11 ^A	2,18 ^A

PRESSÃO	Modelo D			Modelo E			Modelo F		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,55 ^a	1,48 ^a	1,57 ^a	2,26 ^a	2,17 ^a	2,21 ^a	1,97 ^c	1,98 ^d	2,04 ^b
100	1,48 ^a	1,46 ^a	1,51 ^a	2,11 ^a	2,06 ^a	2,10 ^a	2,41 ^a	2,39 ^a	2,46 ^a
200	1,48 ^a	1,53 ^a	1,54 ^a	2,11 ^a	2,03 ^a	2,08 ^a	2,34 ^{ab}	2,34 ^{ab}	2,38 ^a
300	1,46 ^a	1,39 ^a	1,48 ^a	2,14 ^a	2,09 ^a	2,14 ^a	2,34 ^b	2,20 ^{bc}	2,36 ^a
400	1,50 ^a	1,41 ^a	1,49 ^a	2,07 ^a	2,10 ^a	2,10 ^a	2,28 ^b	2,19 ^c	2,37 ^a
Média	1,50 ^A	1,45 ^A	1,52 ^A	2,14 ^A	2,09 ^A	2,13 ^A	2,27 ^A	2,22 ^A	2,32 ^A

PRESSÃO	Modelo G			Modelo H			Modelo I		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	2,73 ^b	2,77 ^b	2,67 ^b	2,61 ^c	2,77 ^a	2,72 ^b	0,00 ^c	0,00 ^c	0,00 ^c
100	3,43 ^a	3,41 ^a	3,48 ^a	2,47 ^d	2,62 ^a	2,55 ^c	1,45 ^b	0,98 ^b	1,20 ^b
200	3,04 ^{ab}	3,15 ^a	3,35 ^a	2,72 ^{bc}	2,71 ^a	2,81 ^b	1,76 ^{ab}	1,79 ^a	1,65 ^{ab}
300	2,93 ^{ab}	3,00 ^{ab}	3,20 ^a	2,85 ^b	2,86 ^a	3,00 ^a	1,86 ^a	1,90 ^a	1,70 ^a
400	3,00 ^{ab}	3,11 ^a	3,28 ^a	2,99 ^a	2,93 ^a	3,08 ^a	2,00 ^a	1,91 ^a	1,65 ^{ab}
Média	3,03 ^A	3,09 ^A	3,20 ^A	2,73 ^A	2,78 ^A	2,83 ^A	1,41 ^A	1,31 ^A	1,24 ^A

PRESSÃO	Modelo J			Modelo K			Modelo L		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,46 ^b	1,54 ^b	1,54 ^b	1,84 ^c	1,89 ^c	1,94 ^c	2,17 ^d	2,18 ^c	2,26 ^c
100	2,08 ^a	2,08 ^a	2,10 ^a	2,25 ^a	2,12 ^a	2,20 ^a	2,69 ^a	2,68 ^a	2,73 ^a
200	2,09 ^a	2,09 ^a	2,14 ^a	2,13 ^{ab}	2,07 ^{ab}	2,14 ^{ab}	2,45 ^c	2,52 ^b	2,55 ^b
300	2,11 ^a	2,09 ^a	2,17 ^a	2,07 ^b	2,00 ^b	2,12 ^{ab}	2,56 ^b	2,62 ^a	2,54 ^b
400	2,19 ^a	2,14 ^a	2,22 ^a	2,07 ^b	2,02 ^b	2,06 ^b	2,61 ^{ab}	2,67 ^a	2,58 ^b
Média	1,99 ^A	1,99 ^A	2,03 ^A	2,07 ^{AB}	2,02 ^B	2,09 ^A	2,49 ^A	2,53 ^A	2,53 ^A

Tabela 3.20 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento químico com aplicação estática de $100\ mg\ L^{-1}$ de cloro livre, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(conclusão)

PRESSÃO	Modelo M			Modelo N		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40
50	2,09 ^b	2,13 ^b	2,30 ^b	1,77 ^a	1,71 ^a	1,69 ^a
100	2,13 ^b	2,11 ^b	2,14 ^b	1,77 ^a	1,64 ^b	1,67 ^a
200	2,36 ^a	2,41 ^a	2,52 ^a	1,64 ^b	1,67 ^{ab}	1,64 ^a
300	2,37 ^a	2,37 ^a	2,60 ^a	1,68 ^b	1,68 ^{ab}	1,70 ^a
400	2,49 ^a	2,53 ^a	2,55 ^a	1,69 ^b	1,65 ^{ab}	1,67 ^a
Média	2,29 ^B	2,31 ^{AB}	2,42 ^A	1,71 ^A	1,67 ^{AB}	1,68 ^{AB}

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

3.3 Conclusões

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram chegar às seguintes conclusões:

- As diferenças entre os modelos de gotejadores avaliados foram significativas, sendo, no entanto, pouco suscetíveis à ação do cloro com aplicação estática;
- Os modelos F, L, e N foram os que mostraram o melhor desempenho, pois 100% do total de emissores não apresentaram redução de vazão;

Referências

- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEYI, R.S; MEDEIROS, J.F. DE; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).
- BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 2, p. 149-162, 1979.
- GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles / emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production** - design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-163.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop**. Production design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383p.
- NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.
- PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3.ed. Madri: Mundi Prensa, 1996. 513p.
- PLASTRO GVAT. **Manual de filtração e tratamento de águas**. Kibbutz Gvat, Israel: Kibbutz Gvat ,1993. 40p.
- RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. 1999. 77p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- VIEIRA, G. H. S. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas**. 2002. 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

4 AVALIAÇÃO DE DANOS EM MEMBRANAS DE COMPENSAÇÃO SOB DIFERENTES TEMPOS DE CONTATO COM ÁCIDO NÍTRICO

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar a susceptibilidade de membranas de compensação de pressão de quatorze modelos de gotejadores autocompensantes ao processo de dano químico, causado pela aplicação estática de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h e 12 h com descanso do produto na linha por 1 semana e 12 h. O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do DER-ESALQ/USP. O sistema de irrigação foi composto por tubogotejadores envolvidos por tubos de PVC e vedados em suas extremidades para permitir o contato da solução de ácido nítrico a pH 2,0 com todo o tubogotejador. Foi avaliada a vazão das linhas gotejadoras com o uso de um medidor magnético de vazão em ambos os tratamentos químicos e foram feitas curvas vazão-pressão nas temperaturas de 15 °C, 25 °C e 40 °C e pressões de 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa, para observar a relação entre a vazão e a temperatura somente no tratamento com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h. Posteriormente, foram calculados: vazão média (q_m), coeficiente de variação de vazão (CV), uniformidade de distribuição de água (UD), vazão relativa (Q_r) e o percentual do total de gotejadores, por faixa de redução de vazão. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente aleatorizado em esquema fatorial, sendo utilizados os testes “F” para análise de variância e Tuckey, a 5% de significância, para comparação de médias e análise de regressão. Para todos os emissores avaliados, a aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por $\frac{1}{2}$ h e descanso da solução na linha por 1 semana, não resultou em danos à membrana de compensação, pois a redução máxima observada para a vazão média e vazão relativa foi de 5% para o emissor H, 3% para os emissores D, I e M, 1% para os emissores B e J e para os demais modelos não ocorreu redução de vazão. Quanto ao tratamento com aplicação de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por 12 h, os emissores A, B, D e E não reduziram a vazão durante o experimento, mostrando-se altamente resistentes a ação do ácido nítrico. A maior parte dos emissores (C, H, I, J, K, L, M e N) reduziu em apenas 1 a 10% a vazão média e vazão relativa, enquanto que o emissor F reduziu em 12% sua vazão relativa e o emissor G sofreu o maior dano em sua membrana de compensação pela ação do ácido nítrico com 28% de redução da vazão relativa no final do experimento. O modelo C foi o que apresentou o melhor comportamento da curva conforme a variação da pressão, ou seja, comportamento linear. A análise comparativa entre os diferentes tratamentos químicos utilizados, mostrou que a aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre foi a que apresentou as maiores reduções de vazão e afetou o comportamento da curva vazão-pressão em diferentes temperaturas.

Palavras-chave: ácido nítrico, tempo de exposição, temperatura, gotejamento, membrana de compensação.

EVALUATION OF DAMAGES IN MEMBRANES OF COMPENSATING UNDER DIFFERENT CONTACT PERIODS WITH NITRIC ACID

Abstract

The most serious problem in drip irrigation it is emitter clogging. The main recommendations to prevent blockage problems include water filtration, chemical treatment, flushing lateral lines and field inspections. Water quality is of primary importance in the maintenance program, to supply subsidies for the correct decision related to the chemical treatment to be used. This work aims to evaluate the resistance of fourteen pressure compensating models, caused by the static application of nitric acid by $\frac{1}{2}$ h and 12 h with rest of the product inside the line for 1 week and 12 h respectively. The experiment was realized in the Irrigation Laboratory at the University of São Paulo/Brazil. The irrigation system was composed of 14 driplines. For treatments with application for $\frac{1}{2}$ h, driplines were involved by PVC pipe closed in its extremities to allow the contact of the nitric acid solution with pH 2,0. Flow rate of the lines drippers were measured with the use of a magnetic meter flow rate the beginning and at the end of the experiment. It was measured discharge/pressure relationship for temperatures of 15, 25 and 40 °C and pressures of 50, 100, 200, 300 and 400 kPa, to observe the relationship between flow rate and temperature. Gravimetric method was used for quantifying individual flow rate of emitters in each line. Later on, it was calculated: average flow rate (q_m), flow rate variation coefficient (CV), uniformity of distribution (UD), relative flow rate (Q_r) and percentage of emitters according to flow rate reduction. The statistical analysis of the treatments was accomplished by tests "F" for variance analysis and Tuckey, at 5% of significance, for comparison of averages and regression analysis. For all emitters, the static application of acid nitric with pH 2,0 for $\frac{1}{2}$ h and rest of the solution in the line for 1 week, didn't result damage to the membrane, because the maximum reduction observed for flow rate was of 5% for emitter H, 3% for emitter D, I and M, 1% for emitter B and J and almost 0% for the other models. With relationship to the treatment with application of nitric acid with pH 2,0 to 3,0 for 12 h, drippers A, B, D and E, didn't reduce the flow rate during the experiment, (highly resistant to nitric acid). Most of the emitters (C, H, I, J, K, L, M and N) reduced just 1 to 10% of flow rate, while emitter F reduced in 12% and emitter G suffered the largest damage: 28% of relative flow reduction. Model C presented the best performance. Comparative analysis among the different treatments, showed that the dynamic application of 100 mg L⁻¹ of free chlorine presented the largest flow rate reductions under temperature influence showing that this treatment should be used with restriction when compared to the other treatments: static application of 100 mg L⁻¹ of free chlorine, static application of acid nitric for $\frac{1}{2}$ h and static application of acid nitric for 12 h.

Keywords: nitric acid, exposure time, temperature, drip irrigation, membrane of compensating pressure.

4.1 Introdução

O uso de ácidos diminui as obstruções provocadas por precipitados químicos, reduzindo o pH da água aumenta a solubilidade destes elementos, mantendo-os em solução; esta prática tem sido recomendada por vários autores. Meyer (1985) recomenda manter o pH em a 4,5 para diminuir a quantidade de precipitados. Entretanto, o autor adverte sobre o alto custo do tratamento em virtude da grande quantidade de ácido necessária para águas alcalinas e águas com alto conteúdo de carbonato e bicarbonato, o que pode inviabilizar economicamente o método.

Os ácidos podem ser usados para abaixar o pH da água de irrigação, para reduzir o potencial de precipitação química e aumentar a efetividade da injeção de cloro. Ácido clorídrico (ClH) 12 N, ácido sulfúrico (SO_4H_2) 36 N, ácido nítrico (NO_3H) 16 N e ácido fosfórico (PO_4H_3) 45 N, são os mais utilizados para este propósito (NAKAYAMA; BUCKS, 1986).

A Tabela 4.1 apresenta as características dos principais ácidos utilizados para o controle das obstruções.

Tabela 4.1 – Características dos principais ácidos comerciais possíveis de serem utilizados para acidificar a água de irrigação

Nome	Fórmula	Normalidade Teórica	Concentração (%)	Densidade (g cm^{-3})
Ácido Clorídrico	HCl	12	36	1,18
Ácido Fosfórico	H_3PO_4	45	85	1,71
Ácido Nítrico	HNO_3	16	65	1,40
Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	36	95	1,84

Fonte: (SILVA JÚNIOR, 2003).

O processo de recuperação dos emissores por meios de injeção de ácidos, geralmente, adicionam custos de manutenção ao sistema e em algumas circunstâncias, podem ser ineficientes quando o entupimento for total (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979), desta forma surge a necessidade de buscar alternativas sendo uma delas a aplicação de CO_2 via água de irrigação. Enoch e Olesen (1993) citaram que, do CO_2 aplicado, somente 1% está na forma de ácido carbônico, o qual se transforma em HCO_3^- e $\text{CO}_3^{=}$, reduzindo o pH da água, o restante permanece dissolvido na água e deixa o solo na forma de gás. Isso sugere que a importância maior do uso do CO_2 seja a redução do pH e diminuição do risco de precipitados químicos carbonatados.

Assim, a prevenção ao aparecimento da obstrução parcial ou total, dos emissores e linhas de distribuição, seria melhor em relação à recuperação, concordando com o sugerido por Resende (1999).

Quando as obstruções já se produziram nas instalações, a maneira mais eficaz de destruí-las é com aplicação de ácido em altas concentrações para baixar o pH da água para 2,0.

Dependendo do grau de obstrução, pode ser necessária mais de uma aplicação para que seja possível a remoção de todos os precipitados. Recomenda-se que se aplique o tratamento, em nível de subunidades de irrigação, ou de unidades operacionais, caso as mesmas não sejam muito grandes (SILVA JÚNIOR, 2003).

O ácido pode ser injetado do mesmo modo que o fertilizante; porém, é necessário ter extrema precaução no manuseio do mesmo. O ponto de injeção de ácido deve estar além de qualquer conexão de metal ou filtros para evitar a corrosão. A lavagem do sistema de injeção com água depois da aplicação ácida é uma boa prática para evitar a deterioração de componentes que permaneceram em contato direto com o ácido. É importante evitar concentrações que podem ser prejudicial a emissores e outros componentes do sistema.

A quantidade de ácido para ser injetado depende da capacidade tampão da água de irrigação e a concentração do ácido a ser injetado. Um miliequivalente de ácido neutraliza um miliequivalente de bases completamente.

Devem ser armazenados ácidos e combinações de cloro separadamente, preferencialmente em tanques de armazenamento de fibra de vidro. O ácido pode reagir com o hipoclorito para produzir gás cloro e calor. Desta forma, a injeção de ácido deve ser feita a uma distância segura (0,60 m), anterior à injeção de cloro. Isto permite misturar adequadamente o ácido com a água de irrigação antes do encontro ácido e cloro.

4.2 Desenvolvimento

4.2.1 Material e Métodos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, situada no município

de Piracicaba-SP, situado nas coordenadas geográficas de 22° 42' de latitude Sul e 47° 38' de longitude Oeste, a uma altitude de 540m.

Foram montadas 14 linhas gotejadoras aleatoriamente no Nível 3 e 14 linhas gotejadoras no Nível 1 do primeiro andar (distribuídas aleatoriamente dentro de todo o nível), conforme a Figura 2.10 (Capítulo 1) dos diferentes modelos de gotejadores autocompensantes descritos na Tabela 2.9 (Capítulo 1). Com isso, foram realizados dois tratamentos com ácido nítrico em diferentes tempos de aplicação (Nível 3 – aplicação de ácido nítrico por ½ h com tempo de descanso da solução na linha igual a 1 semana e Nível 1 do primeiro andar da bancada de ensaios – aplicação de ácido nítrico por 12 h, com tempo de descanso do produto na linha por 12 h).

Primeiramente foi realizada uma irrigação de 36 horas em ambos os tratamentos, para adequar o funcionamento da membrana de compensação de pressão antes de se iniciar o ensaio e também uma leitura de vazão de cada gotejador em cada uma das linhas a temperatura ambiente (25°C) a pressão de 200 kPa, para verificação do funcionamento dos gotejadores.

No Nível 3 as linhas gotejadoras foram envolvidas por tubo PVC com diâmetro nominal de 25 mm e vedadas junto aos registros no início e no final com o uso de fita isolante de alta fusão, para manter a solução de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 em contato com toda a parede interna e externa da mangueira e do gotejador. Já no tratamento com aplicação de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e aplicação por 12 h as linhas gotejadoras não foram vedadas com tubos de PVC.

O tratamento com ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 foi iniciado após 10 irrigações de 12 h contínuas e descanso da água nas linhas gotejadoras por 12 h, expostas a solução de CaSO_4 com $\text{ISL} = 2,268$, somando-se 240 h de ensaio. A partir da 11ª irrigação até a 15ª foi utilizada a solução de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 para recuperação dos emissores entupidos. Esta aplicação também foi realizada por 12 h, sendo que após cada aplicação as linhas gotejadoras permaneceram em repouso por 12 h com os finais de linha fechado. Posteriormente foram abertos os finais de linha e aplicou-se água limpa por 5 minutos para remover possíveis sujeiras e, ou partículas de precipitados e procedeu-se à leitura das linhas gotejadoras, isto em cada uma das irrigações feitas com a solução ácida. A solução de CaSO_4 com $\text{ISL} = 2,268$, realizada nas dez primeiras irrigações foi preparada num reservatório de 1000 L separado dos demais reservatórios, para evitar problemas de contaminação. E a partir da 11ª irrigação passou-se utilizar um outro reservatório para preparação da solução com ácido

nítrico que permitia a aplicação e retorno da solução para este mesmo reservatório vinculado ao primeiro andar da bancada de ensaios.

Este procedimento buscou simular a situação em campo onde muitos irrigantes antes de desligar o sistema ao final do período de irrigação, realizam a aplicação de uma dosagem de ácido nítrico com baixos valores de pH (pH na faixa de 2,0 a 3,0), com o intuito de controlar possíveis problemas de entupimento, deixando a solução descansar nas linhas durante todo o período em que não é realizada irrigação (período em torno de 3 meses).

O sistema de aplicação de água foi intensivo, para verificar a influência causada pelo tratamento de choque, sobre a vazão média e a taxa de diminuição da vazão dos emissores (Vazão Relativa, QR).

Para realizar-se a leitura de vazão das linhas gotejadoras que receberam aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h, após 1 semana de aplicação, utilizou-se a água do reservatório 1, sendo a mesma substituída semanalmente. Utilizou-se para estas leituras um medidor magnético de vazão Conaut – Krohne modelo IFS 4000 W/6 com conversor de sinal modelo IFC 090 D e com faixa de leitura de $0-90 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e precisão de 99%).

Antes de cada aplicação foi feita uma lavagem das linhas (5 min) com a abertura do final de linha numa pressão correspondente a 200 kPa, no Nível 3 (aplicação por $\frac{1}{2}$ h), e 150 kPa no Nível 1 do primeiro andar (aplicação por 12 h). Adaptações nos tubos de 100 mm conectados ao fundo de cada uma das calhas permitia descartar a água utilizada para lavagem das linhas em um canal dentro do Laboratório de Irrigação, utilizado para descarte de água proveniente de ensaios.

Após a aplicação desta solução no Nível 3 e no Nível 1 (primeiro andar), conforme o tempo pré-determinado para cada tratamento, os reservatórios utilizados para aplicação da solução ácida foram higienizados para a completa retirada de resíduos da solução de ácido nítrico, e a água utilizada para a limpeza do mesmo, descartada no canal dentro do Laboratório de Irrigação. Com esse procedimento, utilizava-se em sequência os reservatórios para outras aplicações.

Após a lavagem das linhas, fechavam-se os registros no final de linha correspondente a cada linha gotejadora, e preparava-se uma calda da solução de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 em um volume de água correspondente a 150 L, no reservatório. Em seguida, realizava-se a leitura do pH e da temperatura da solução.

O procedimento para a aplicação da solução de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0, consistiu da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 200 kPa (Nível 3) e 150 kPa (Nível 1 do primeiro andar) no início de cada linha, utilizando-se um manômetro de Bourdon, sendo que todos os finais de linha foram fechados. Primeiramente a aplicação foi feita no Nível 3 (1/2 h) e em seguida no Nível 1 do primeiro andar (12 h), bastando para tanto o controle de abertura e fechamento de registros que conduzem a solução para cada Setor e Nível da Bancada de ensaios.

O sistema de aplicação permitia a recirculação da solução aplicada conforme o seguinte esquema: reservatório → gotejadores → telha → calha → tubo de PVC 100 mm → reservatório.

O procedimento para a leitura de vazão de cada uma das linhas gotejadoras utilizando-se o medidor magnético, consistiu da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 200 kPa (Nível 3) e 150 kPa (Nível 1 do primeiro andar) no início de cada linha, utilizando-se um manômetro de Bourdon, sendo que todos os registros permaneciam fechados no final da linha lateral, permanecendo aberto somente o registro correspondente à linha na qual estava sendo realizada a leitura de vazão com o medidor magnético e assim, sucessivamente.

Após a leitura realizava-se a leitura com o registro fechado para observar a vazão residual e a tabulação dos dados. A leitura de vazão no medidor foi feita em $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$, conforme a equação 4.1, sendo que para cada leitura aguardava-se a estabilização do medidor magnético de vazão.

Devido as linhas gotejadoras estarem envolvidas cada uma por tubos de PVC 25 mm, no Nível 3 (aplicação por 1/2 h), foram feitos furos no tubo na parte superior correspondente ao centro da mangueira. Estes furos permitiam a recirculação da solução e que ao estabilizar a pressão de funcionamento do sistema motobomba, não ocorresse vazamento junto às emendas com fita isolante de alta fusão feitas nas extremidades das mangueiras próximas dos registros. Estes também foram posicionados para cima, para evitar perda da solução após o encerramento da aplicação. Ao final da aplicação os registros eram fechados com o sistema ainda em funcionamento, para evitar retorno da solução para o reservatório, garantindo assim que a solução permanecesse em contato com toda a superfície interna e externa da linha gotejadora. Para evitar uma perda acentuada da solução ao longo da semana, foram colocadas cortinas laterais na bancada de ensaio.

A eq. (4.1) demonstra o cálculo da vazão média (L h^{-1}) de cada modelo de gotejador ensaiado, a partir da vazão total ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) obtida pelo uso do medidor magnético de vazão.

$$q_m = \frac{Q}{1000 N} \quad (4.1)$$

em que:

q_m – vazão média do gotejador, L h⁻¹;

Q – vazão total, m³ h⁻¹; e

N – número de emissores na linha gotejadora.

Diariamente foi feita a medida da temperatura e o pH da solução nos reservatórios utilizados para preparação da calda, para o monitoramento adequado do ensaio. A temperatura da água medida variou de 25 °C ± 3 °C durante o período de ensaio.

Cálculos estequiométricos foram realizados para a determinação da dosagem de ácido nítrico a ser utilizada, sendo que para efeito de monitoramento, amostras de água foram coletadas dos furos feitos nos tubos de PVC 25 mm (localizado na metade do comprimento da linha gotejadora), para determinar o pH da solução.

Para o cálculo da dosagem de ácido nítrico 65% P.A. utilizada para manter o pH na faixa de 2,0 a 3,0, foi feita uma curva de titulação conforme os dados apresentados na Tabela 4.2.

Para diminuir a perda de solução por respingo fora da bancada, foram colocadas cortinas laterais, com intuito também de proteger a bancada contra corrosão e os operadores da mesma utilizaram vestimentas especiais para manuseio de ácidos e cloro durante os ensaios.

Tabela 4.2 – Dados para confecção de curva de titulação para ácido nítrico 65% P.A. para manutenção do pH na faixa de 2,0 a 3,0

Becker	Ácido nítrico 65% P.A. (mL)	pH**
1 – Vol. Solução 200 mL	0,0	7,102
1 – Vol. Solução 500 mL	0,1	3,910
2 – Vol. Solução 500 mL	0,2	2,420
3 – Vol. Solução 500 mL	0,3	1,975
4 – Vol. Solução 1000 mL	0,6	1,978

* Foi retirada uma alíquota de 200 mL para fazer a leitura no medidor de pH.

** A temperatura de estabilização para leitura no medidor de pH foi de 23,0 °C.

4.2.2 Resultados e Discussão

A Figura 4.1 apresenta a variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e pH durante o período de coleta.

A temperatura da água variou de 22°C a 29°C num período que corresponde a quatro meses de coleta de dados.

O pH para a primeira coleta foi em torno de 7,0 sendo que após o uso do tratamento químico com ácido nítrico manteve-se na faixa de 2,0 a 3,0. O valor mínimo de pH registrado ($\text{pH} = 1,8$) ficou fora da faixa recomendada para 2352 h de funcionamento do sistema. Sem, no entanto, comprometer a leitura de vazão neste período.

Figura 4.1 – Valores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e pH medidos durante o período do ensaio

A Tabela 4.3 apresenta o número de gotejadores de cada modelo utilizados para o cálculo da média.

Tabela 4.3 – Número de emissores (NE) presentes na linha gotejadora para cada modelo de gotejador avaliado (Nível 3)

Modelo	NE	Modelo	NE
Modelo A	33	Modelo H	11
Modelo B	13	Modelo I	11
Modelo C	14	Modelo J	14
Modelo D	15	Modelo K	14
Modelo E	22	Modelo L	15
Modelo F	15	Modelo M	21
Modelo G	11	Modelo N	15

As Tabelas 4.4a, b apresentam os valores de vazão média expresso em $L\ h^{-1}$ e como percentual da vazão nominal (%), dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão e aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por $\frac{1}{2}$ h e descanso da solução na linha por 1 semana.

Para todos os emissores avaliados, aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por $\frac{1}{2}$ h e descanso da solução na linha por 1 semana, não resultou em danos à membrana de compensação, pois a redução máxima observada para a vazão média e vazão relativa foi de 5% para o emissor H, 3% para os emissores D, I e M, 1% para os emissores B e J e para os demais modelos não ocorreu redução de vazão.

A Tabela 4.5 apresenta os valores de vazão da linha gotejadora, expresso em $L\ h^{-1}$ para cada modelo avaliado, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão e aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por $\frac{1}{2}$ h e descanso da solução na linha por 1 semana.

Tabela 4.4a – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h com pH na faixa de 2,0 a 3,0

Aplicação	Modelo													
	A		B		C		D		E		F		G	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0	1,53	100	3,91	100	2,13	100	1,68	100	2,32	100	2,21	100	2,92	100
168	1,54	100	3,93	100	2,12	100	1,55	92	2,32	100	2,22	100	2,93	100
336	1,54	100	3,74	96	2,13	100	1,54	92	2,32	100	2,22	100	2,91	100
504	1,54	100	3,86	99	2,12	99	1,54	92	2,31	100	2,21	100	2,89	99
672	1,54	100	3,86	99	2,13	100	1,55	92	2,31	100	2,22	100	2,90	99
840	1,53	100	3,86	99	2,10	98	1,54	92	2,31	100	2,21	100	2,85	98
1008	1,54	100	3,88	99	2,14	100	1,54	91	2,31	100	2,21	100	2,91	100
1176	1,53	100	3,86	99	2,13	100	1,55	92	2,30	99	2,20	100	2,88	99
1344	1,53	100	3,85	99	2,10	99	1,64	98	2,29	99	2,22	100	2,93	100
1512			3,81	98	1,74	82	1,60	95	2,13	92	2,21	100	2,77	95
1680			3,92	100	2,12	100	1,68	100	2,33	100	2,21	100	2,85	98
1848			3,90	100	2,18	103	1,68	100	2,33	100	2,21	100	2,91	100
2016			3,79	97	2,13	100	1,65	98	2,28	98	2,21	100	2,91	100
2184			3,81	98	2,12	100	1,62	96	2,31	100	2,21	100	2,92	100
2352			3,84	98	2,12	100	1,63	97	2,33	100	2,22	100	2,91	100
2520			3,91	100	2,11	99	1,69	100	2,32	100	2,21	100	2,93	100
2688			3,86	99	2,13	100	1,63	97	2,32	100	2,21	100	2,91	100

Tabela 4.4b – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h com pH na faixa de 2,0 a 3,0

Aplicação	Modelo													
	H		I		J		K		L		M		N	
	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
0	2,82	100	1,99	100	2,10	100	2,13	100	2,56	100	2,41	100	1,53	100
168	2,83	100	1,93	97	2,11	100	2,12	100	2,57	100	2,41	100	1,53	100
336	2,81	100	1,99	100	2,11	100	2,13	100	2,55	100	2,38	99	1,54	100
504	2,80	99	1,95	98	2,09	99	2,13	100	2,56	100	2,41	100	1,54	100
672	2,80	99	1,98	100	2,09	99	2,14	100	2,55	100	2,39	99	1,54	100
840	2,80	99	1,92	97	2,09	99	2,13	100	2,56	100	2,36	98	1,54	100
1008	2,83	100	1,93	97	2,09	99	2,13	100	2,56	100	2,41	100	1,54	100
1176	2,78	98	1,92	97	2,08	99	2,12	100	2,55	100	2,38	99	1,54	100
1344	2,76	98	1,94	98	2,09	99	2,13	100	2,57	100	2,40	99	1,54	100
1512	2,71	96	1,94	97	2,08	99	2,13	100	2,57	100	2,36	98		
1680	2,72	96	1,97	99	2,10	100	2,13	100	2,57	100	2,38	98		
1848	2,76	98	1,91	96	2,09	100	2,13	100	2,56	100	2,37	98		
2016	2,74	97	1,94	97	2,09	99	2,13	100	2,53	99	2,35	98		
2184	2,76	98	1,98	100	2,09	100	2,13	100	2,57	100	2,32	96		
2352	2,78	98	1,97	99	2,09	99	2,14	100	2,55	100	2,33	97		
2520	2,73	97	1,97	99	2,10	100	2,14	100	2,57	100	2,36	98		
2688	2,69	95	1,93	97	2,08	99	2,14	100	2,55	100	2,34	97		

Tabela 4.5 – Vazão da linha gotejadora (q_L), expresso em $L\ h^{-1}$, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N, com aplicação de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e teste de média, respectivamente

horas	Modelos														Média
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
0	50,64	50,80	29,82	25,2	51,07	33,19	32,10	31,03	21,88	29,41	29,85	38,4	50,65	23,00	35,36 ^a
168	50,67	51,04	29,71	23,29	51,04	33,35	32,26	31,15	21,25	29,54	29,73	38,52	50,56	22,97	35,36 ^a
336	50,84	48,63	29,79	23,17	51,05	33,26	32,02	30,89	21,87	29,51	29,86	38,32	49,9	23,04	35,22 ^a
504	50,71	50,24	29,67	23,12	50,86	33,21	31,83	30,82	21,44	29,19	29,78	38,38	50,65	23,05	35,25 ^a
672	50,68	50,18	29,86	23,29	50,88	33,29	31,87	30,81	21,83	29,23	29,93	38,32	50,22	23,08	35,28 ^a
840	50,48	50,20	29,33	23,14	50,9	33,11	31,36	30,83	21,13	29,2	29,81	38,37	49,47	23,05	35,04 ^a
1008	50,75	50,41	29,92	23,09	50,87	33,17	31,99	31,18	21,20	29,22	29,85	38,44	50,58	23,11	35,27 ^a
1176	50,42	50,15	29,86	23,23	50,61	33,04	31,65	30,55	21,12	29,17	29,71	38,31	50,04	23,05	35,16 ^a
1344	50,60	50,09	29,46	24,67	50,44	33,28	32,18	30,36	21,34	29,19	29,8	38,57	50,38	23,04	35,29 ^a
1512		49,53	24,41	23,95	46,82	33,22	30,43	29,77	21,29	29,17	29,86	38,57	49,49		33,87 ^b
1680		50,92	29,73	25,23	51,18	33,22	31,33	29,87	21,63	29,36	29,79	38,49	49,88		35,44 ^a
1848		50,67	30,57	25,17	51,32	33,2	31,99	30,32	21,00	29,3	29,8	38,43	49,68		35,43 ^a
2016		49,23	29,83	24,76	50,11	33,19	32,03	30,16	21,29	29,25	29,8	38,01	49,45		34,94 ^a
2184		49,58	29,74	24,31	50,91	33,2	32,14	30,31	21,80	29,28	29,75	38,49	48,7		35,27 ^a
2352		49,88	29,7	24,39	51,23	33,29	31,98	30,54	21,67	29,19	29,91	38,32	48,92		35,29 ^a
2520		50,77	29,56	25,34	51,09	33,17	32,18	30,07	21,67	29,35	29,99	38,57	49,6		35,83 ^a
2688		50,18	29,76	24,39	51,06	33,2	31,99	29,54	21,26	29,18	29,9	38,32	49,13		35,28 ^a

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

As Tabelas 4.6 a 4.19 mostram os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades, para os valores de vazão ($L\ h^{-1}$) apresentados na Tabela 4.5, com o tratamento químico utilizando aplicação de ácido nítrico, com pH na faixa de 2,0 a 3,0, durante $\frac{1}{2}$ h e descanso da solução na linha gotejadora por 1 semana, para cada um dos modelos de gotejadores ensaiados ao longo do tempo.

Tabela 4.6 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo A

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	50,79111***	0,24784	204,93	0,001259 ↔	101,581
(β_1)	0,03000 ^{ns}	0,04404	0,68	5,28 10 ⁻⁵ ↔	0,059947
R ²	0,0622				
F	0,46 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.7 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo B

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	50,25676***	0,35777	140,47	0,000808 ↔	100,5127
(β_1)	-0,00892 ^{ns}	0,03491	-0,26	0,000157 ↔	-0,018
R ²	0,0043				
F	0,07 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.8 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo C

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	29,38684***	0,71627	41,03	-0,00172 ↔	58,7754
(β_1)	0,02120 ^{ns}	0,06990	0,30	0,00023 ↔	0,04217
R ²	0,0061				
F	0,09 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.9 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo D

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	22,79110***	0,26839	84,92	-0,00058 ↔	45,58278
(β_1)	0,13262***	0,02619	5,06	9,86 10 ⁻⁵ ↔	0,265141
R ²	0,6309				
F	25,64***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.10 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo E

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	50,36684***	0,69044	72,95	-0,00076 ↔	100,7344
(β_1)	0,08042 ^{ns}	0,06738	1,19	0,000238 ↔	0,160602
R ²	0,0867				
F	1,42 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.11 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	32,75044***	0,22198	147,54	-0,00049 ↔	65,50137
(β_1)	0,10995***	0,02166	5,08	-8,3 10^{-5} ↔	0,219983
R ²	0,6320				
F	25,76***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.12 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	31,44162***	0,38593	81,47	-9,7 10^{-5} ↔	62,88334
(β_1)	0,07270 ^{ns}	0,03766	1,93	1,62 10^{-5} ↔	0,145384
R ²	0,1990				
F	3,73 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.13 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo H

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	31,18074***	0,15539	200,66	0,000183 ↔	62,3613
(β_1)	-0,07760***	0,01516	-5,12	1,92 10^{-5} ↔	-0,15522
R ²	0,6358				
F	26,18***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.14 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo I

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	21,51603***	0,15230	141,27	0,000609 ↔	43,03145
(β_1)	-0,00721 ^{ns}	0,01486	-0,48	-7,7 10^{-5} ↔	-0,01434
R ²	0,0154				
F	0,24 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.15 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	29,31956***	0,07066	414,94	-0,0001 ↔	58,63922
(β_1)	-0,00191 ^{ns}	0,00690	-0,28	2,2 10^{-5} ↔	-0,00384
R ²	0,0051				
F	0,08 ^{ns}				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.16 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo K

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	29,46978***	0,18146	162,41	-0,00114 ↔	58,9407
(β_1)	0,08414***	0,01771	4,75	1,75 10^{-5} ↔	0,168263
R ²	0,6008				
F	22,58***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.17 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	38,11809***	0,17594	216,65	0,000689 ↔	76,23549
(β_1)	0,05701***	0,01717	3,32	5,6 10 ⁻⁶ ↔	0,114014
R ²	0,4236				
F	11,02***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.18 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	50,69949***	0,19836	255,59	0,000658 ↔	101,3983
(β_1)	-0,09537***	0,01936	-4,93	7,48 10 ⁻⁵ ↔	-0,19081
R ²	0,6180				
F	24,27***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.19 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo N

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	23,04667***	0,11184	206,07	-0,0002 ↔	46,09354
(β_1)	0,02867 ^{ns}	0,01987	1,44	5,72 10 ⁻⁵ ↔	0,057283
R ²	0,2291				
F	2,08				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

As Tabelas 4.20a, b apresentam os valores de vazão média expresso em L h⁻¹ e como percentual da vazão nominal (%), dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão e aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por 12 h e descanso da solução na linha por 12 h.

Os emissores A, B, D e E não reduziram a vazão durante o experimento, mostrando-se altamente resistentes a ação do ácido nítrico. A maior parte dos emissores (C, H, I, J, K, L, M e N) reduziu em apenas 1 a 10% a vazão média e vazão relativa, enquanto que o emissor F reduziu em 12% sua vazão média e vazão relativa e o emissor G sofreu o maior dano em sua membrana de compensação pela ação do ácido nítrico com 28% de redução da vazão média e vazão relativa.

A Tabela 4.21 apresenta os valores de vazão média, expresso em L h⁻¹ para cada modelo avaliado, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão e aplicação estática de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por 12 h e descanso da solução na linha por 12 h e teste de média respectivamente.

Tabela 4.20a – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A, B, C, D, E, F e G, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0

Aplicação	horas	Modelo													
		A		B		C		D		E		F		G	
		q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
		$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
Gesso	0	1,55	100	4,01	100	2,01	100	2,69	100	2,31	100	2,13	100	3,55	100
	24	1,54	99	4,14	103	2,04	101	2,69	100	2,31	100	2,08	98	3,47	98
	48	1,56	100	4,02	100	1,99	99	2,65	99	2,34	101	2,02	95	3,49	98
	72	1,54	99	4,41	110	2,02	101	2,73	101	2,36	102	2,10	99	3,35	94
	96	1,55	100	4,19	105	2,20	109	2,68	100	2,28	99	2,00	94	3,59	101
	120	1,53	99	4,12	103	2,09	104	2,70	100	2,28	99	2,04	96	3,36	95
	144	1,54	99	4,15	104	2,21	110	2,70	100	2,24	97	2,11	99	3,40	96
	168	1,55	100	4,09	102	2,00	100	2,63	98	2,25	97	2,07	97	3,26	92
	192	1,53	99	4,09	102	2,20	110	2,74	102	2,25	97	2,00	94	3,29	93
	216	1,53	98	4,02	100	2,13	106	2,61	97	2,24	97	2,03	96	3,21	90
Ácido nítrico	240	1,53	98	4,05	101	2,17	108	2,59	96	2,25	97	1,99	93	3,30	93
	264	1,51	97	4,09	102	1,90	94	2,65	98	2,28	99	1,97	92	1,01	28
	288	1,51	98	3,92	98	1,96	98	2,70	100	2,28	99	1,74	82	1,37	39
	312	1,54	99	4,03	100	1,96	98	2,70	100	2,30	100	2,03	95	1,97	55
	336	1,53	99	4,16	104	2,09	104	2,74	102	2,29	99	1,97	93	2,46	69
	360	1,55	100	4,10	102	1,99	99	2,69	100	2,36	102	1,88	88	2,57	72

* As linhas gotejadoras neste ensaio, não foram envolvidas por tubo de PVC 25 mm.

Tabela 4.20b – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ e Vazão Relativa (QR) expresso em %, dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos H, I, J, K, L, M e N, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0

Aplicação		Modelo													
		H		I		J		K		L		M		N	
		q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR	q_m	QR
	horas	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%	$L\ h^{-1}$	%
Gesso	0	2,64	100	1,85	100	2,15	100	2,32	100	2,64	100	2,37	100	1,66	100
	24	2,71	103	1,80	97	2,04	95	2,20	95	2,97	113	2,26	95	1,63	98
	48	2,53	96	1,89	102	2,07	96	2,27	98	2,79	106	2,39	101	1,64	99
	72	2,84	108	1,61	87	1,98	92	2,36	102	2,90	110	2,43	102	1,66	100
	96	2,75	104	2,11	114	2,20	102	2,18	94	2,61	99	2,30	97	1,61	97
	120	2,73	103	1,74	94	2,04	95	2,22	96	2,57	97	2,33	98	1,56	94
	144	2,66	101	1,58	85	2,04	95	2,22	96	2,75	104	2,30	97	1,67	100
	168	2,58	98	1,62	87	1,94	90	2,24	97	2,68	102	2,25	95	1,62	98
	192	2,60	98	1,72	93	2,06	96	2,15	93	2,70	103	2,31	97	1,61	97
	216	2,60	98	1,81	98	2,03	94	2,18	94	2,71	103	2,28	96	1,67	100
Ácido nítrico	240	2,84	107	1,80	97	2,02	94	2,15	93	2,69	102	2,31	97	1,60	97
	264	2,46	93	1,71	92	1,86	86	1,99	86	2,48	94	2,24	95	1,66	100
	288	2,34	88	1,49	80	1,99	92	2,10	91	2,58	98	2,19	92	1,59	96
	312	2,43	92	1,78	96	1,89	88	2,38	103	2,57	98	2,15	91	1,66	100
	336	2,71	103	1,54	83	1,78	83	2,09	90	2,61	99	2,23	94	1,66	100
	360	2,61	99	1,83	99	1,93	90	2,16	93	2,58	98	2,28	96	1,58	95

* As linhas gotejadoras neste ensaio, não foram envolvidas por tubo de PVC 25 mm.

Tabela 4.21 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores avaliados, no período do ensaio, utilizando o medidor magnético de vazão, para os modelos A a N, com aplicação de ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e teste de média, respectivamente

Aplicação		Modelos														Média
	horas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
Gesso	0	1,55	4,01	2,01	2,69	2,31	2,13	3,55	2,64	1,85	2,15	2,32	2,64	2,37	1,66	2,42 ^a
	24	1,54	4,14	2,04	2,69	2,31	2,08	3,47	2,71	1,80	2,04	2,20	2,97	2,26	1,63	2,42 ^a
	48	1,56	4,02	1,99	2,65	2,34	2,02	3,49	2,53	1,89	2,07	2,27	2,79	2,39	1,64	2,40 ^{ab}
	72	1,54	4,41	2,02	2,73	2,36	2,10	3,35	2,84	1,61	1,98	2,36	2,90	2,43	1,66	2,45 ^a
	96	1,55	4,19	2,20	2,68	2,28	2,00	3,59	2,75	2,11	2,20	2,18	2,61	2,30	1,61	2,45 ^a
	120	1,53	4,12	2,09	2,70	2,28	2,04	3,36	2,73	1,74	2,04	2,22	2,57	2,33	1,56	2,38 ^{ab}
	144	1,54	4,15	2,21	2,70	2,24	2,11	3,40	2,66	1,58	2,04	2,22	2,75	2,30	1,67	2,40 ^{ab}
	168	1,55	4,09	2,00	2,63	2,25	2,07	3,26	2,58	1,62	1,94	2,24	2,68	2,25	1,62	2,34 ^{ab}
	192	1,53	4,09	2,20	2,74	2,25	2,00	3,29	2,60	1,72	2,06	2,15	2,70	2,31	1,61	2,38 ^{ab}
	216	1,53	4,02	2,13	2,61	2,24	2,03	3,21	2,60	1,81	2,03	2,18	2,71	2,28	1,67	2,36 ^{ab}
	240	1,53	4,05	2,17	2,59	2,25	1,99	3,30	2,84	1,80	2,02	2,15	2,69	2,31	1,60	2,38 ^{ab}
Ácido nítrico	264	1,51	4,09	1,90	2,65	2,28	1,97	1,01	2,46	1,71	1,86	1,99	2,48	2,24	1,66	2,13 ^b
	288	1,51	3,92	1,96	2,70	2,28	1,74	1,37	2,34	1,49	1,99	2,10	2,58	2,19	1,59	2,13 ^b
	312	1,54	4,03	1,96	2,70	2,30	2,03	1,97	2,43	1,78	1,89	2,38	2,57	2,15	1,66	2,24 ^{ab}
	336	1,53	4,16	2,09	2,74	2,29	1,97	2,46	2,71	1,54	1,78	2,09	2,61	2,23	1,66	2,28 ^{ab}
	360	1,55	4,10	1,99	2,69	2,36	1,88	2,57	2,61	1,83	1,93	2,16	2,58	2,28	1,58	2,29 ^{ab}

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** As linhas gotejadoras neste ensaio, não foram envolvidas por tubo de PVC 25 mm.

Observa-se pela Tabela 4.21 descrita anteriormente que o emissor modelo G foi o que apresentou a maior redução de vazão durante o experimento, sendo que esta redução foi significativa para 264 h de funcionamento. Isto ocorreu porque a primeira aplicação de ácido nítrico a pH 2,0 foi realizada após 240 h de ensaio com gesso (CaSO_4), ou seja, na primeira aplicação do ácido ocorreu desprendimento do material aderido à parede da mangueira gotejadora, ocasionando o entupimento evidenciado na leitura de vazão com 264 h. após esta aplicação foi feita a lavagem das linhas laterais e descarte desta água. Observa-se pela Tabela 4.21 que a cada nova aplicação do ácido e lavagem das linhas laterais foi ocorrendo a recuperação dos gotejadores até um limite de 72% de vazão relativa com 360 h de funcionamento. O gesso ocasionou obstrução considerável somente nos modelos F, G e J, sendo que somente no emissor G foi possível identificar uma recuperação de vazão com o uso do ácido nítrico. Os demais modelos foram insensíveis ao entupimento por (CaSO_4) com $\text{ISL} = 2,268$.

Outro ponto importante que se observa, é que o tratamento químico com aplicação por 12 h de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0, reduziu mais a vazão dos emissores quando comparado ao tratamento químico com aplicação do mesmo produto somente por $\frac{1}{2}$ h, ou seja, conforme aumenta-se a dosagem, maior o risco de se causar danos à estrutura da membrana de compensação destes emissores. No entanto, alguns modelos de emissores, poderão apresentar maior resistência em relação a outros, quanto ao dano químico pela ação do ácido nítrico.

As Tabelas 4.22 a 4.26 mostram os valores dos parâmetros do modelo de regressão (β_0 e β_1) e seus limites de confiança, a 95% de probabilidades, para os valores de vazão média (L h^{-1}) apresentados na Tabela 4.21, com o tratamento químico utilizando ácido nítrico por 12 h com pH na faixa de 2,0 a 3,0, para cada um dos modelos de gotejadores ensaiados ao longo do tempo.

Tabela 4.22 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo F

Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,1235***	0,03858	55,04	$5,68 \cdot 10^{-05}$	$\leftrightarrow$ 4,246943
(β_1)	-0,01335***	0,00399	-3,35	$1,65 \cdot 10^{-05}$	$\leftrightarrow$ -0,02672
R^2	0,4444				
F	11,20***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.23 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo G

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	3,9315***	0,31319	12,55	0,000965 ↔	7,862035
(β_1)	-0,11951***	0,03239	-3,69	9,1 10 ⁻⁰⁶	-0,23903
R ²	0,4930				
F	13,62***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.24 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo J

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,13825***	0,03911	54,68	-0,00028 ↔	4,276785
(β_1)	-0,01612***	0,00404	-3,99	-4 10 ⁻⁰⁷ ↔	-0,03224
R ²	0,5315				
F	15,88***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.25 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo L

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,818***	0,05475	51,47	1,75 10 ⁻⁰⁵ ↔	5,635983
(β_1)	-0,0166**	0,00566	-2,93	-1,6 10 ⁻⁰⁵ ↔	-0,03318
R ²	0,3805				
F	8,60**				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Tabela 4.26 – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão para o modelo M

Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,377***	0,02814	84,46	0,000296 ↔	4,753704
(β_1)	-0,01038***	0,00291	-3,57	8,7 10 ⁻⁰⁶ ↔	-0,02077
R ²	0,4761				
F	12,72***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

As Figuras 4.2 a 4.15 mostram, para os diferentes tipos de emissores e o tempo de operação do sistema avaliado, a distribuição percentual do número de emissores para diferentes faixas de redução de vazão, utilizando o tratamento com aplicação de ácido nítrico durante ½ h com pH na faixa de 2,0 a 3,0 e descanso da solução na linha gotejadora por 1 semana. Não foi possível fazer esta mesma avaliação para a aplicação de ácido nítrico por 12 h e descanso da solução na linha por 12 h, pois utilizou-se somente o medidor magnético para leitura de vazão durante todo o experimento.

Pelas Figuras 4.2 a 4.15 observa-se que os modelos A, C, D, K, L e N, praticamente mantiveram a vazão média constante durante todo o ensaio, apresentando, assim, o melhor desempenho. Já o padrão de distribuição do nível de entupimento para os modelos F, H, I, J e M resultou no final do experimento com 10% a 30% do total de emissores com 10% de redução de vazão.

O maior percentual de emissores com entupimento foi alcançado pelo modelo G seguido do modelo B, com aumento gradativo do entupimento ao longo do experimento, atingindo 10%, 20% e 30% de redução de vazão respectivamente para 27%, 27% e 19% do total de gotejadores para o modelo G. Já para o modelo B o percentual de redução de vazão foi de 35% e 10% do total de gotejadores com 10% e 20% de redução de vazão.

Figura 4.2 – Percentual do número total de gotejadores (n = 15) por faixa de redução de vazão, para o modelo A, no período do ensaio

Figura 4.3 – Percentual do número total de gotejadores (n = 11) por faixa de redução de vazão, para o modelo B, no período do ensaio

Figura 4.4 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo C, no período do ensaio

Figura 4.5 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 15$) por faixa de redução de vazão, para o modelo D, no período do ensaio

Figura 4.6 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 21$) por faixa de redução de vazão, para o modelo E, no período do ensaio

Figura 4.7 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo F, no período do ensaio

Figura 4.8 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo G, no período do ensaio

Figura 4.9 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo H, no período do ensaio

Figura 4.10 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 11$) por faixa de redução de vazão, para o modelo I, no período do ensaio

Figura 4.11 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo J, no período do ensaio

Figura 4.12 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo K, no período do ensaio

Figura 4.13 – Percentual do número total de gotejadores ($n = 14$) por faixa de redução de vazão, para o modelo L, no período do ensaio

Figura 4.14 – Percentual do número total de gotejadores (n = 21) por faixa de redução de vazão, para o modelo M, no período do ensaio

Figura 4.15 – Percentual do número total de gotejadores (n = 14) por faixa de redução de vazão, para o modelo N, no período do ensaio

4.2.2.1 Caracterização hidráulica dos emissores utilizando diferentes temperaturas da água e pressão

As Figuras 4.16 a 4.29 mostram as curvas vazão *versus* pressão para os 14 modelos de gotejadores após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h, com temperatura da água igual a 15 °C, 25°C e 40 °C, utilizando as seguintes pressões: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa. Com exceção dos modelos A e N em que o contato com a solução de cloro ocorreu num período de 1344 h. Para o tratamento químico com aplicação de ácido nítrico por 12 h e descanso 12 h não foram realizadas curvas vazão-pressão.

As curvas vazão-pressão para o modelo A nas temperaturas de 15 e 25 °C apresentaram comportamento linear semelhante, sendo que para a temperatura de 40 °C, a curva apresentou comportamento potencial, ou seja, conforme o aumento da pressão, a vazão aumentou gradativamente.

Para os modelos B, E, D e G, a vazão diminuiu conforme o aumento de pressão tendendo a uma estabilização a partir de 200 kPa, com pouca variação da vazão conforme o aumento de pressão. Já a temperatura influenciou no comportamento da curva de forma diferenciada para cada tipo de emissor.

O modelo C foi o que apresentou o melhor comportamento da curva conforme a variação da pressão, ou seja, comportamento linear. As temperatura de 25 °C e 40 °C influenciaram pouco na alteração da vazão deste emissor. No entanto, a temperatura de 15 °C reduziu significativamente a vazão.

Os modelos F, H, I, J, K, L e M apresentaram aumento de vazão conforme o aumento de pressão tendendo a um comportamento potencial da curva vazão-pressão. Já a temperatura influenciou de maneira bem distinta na vazão de cada um destes modelos de gotejadores.

O modelo N apresentou decréscimo da vazão em função do aumento de pressão apenas para a temperatura de 15 °C, sendo que para as temperaturas de 25 °C e 40 °C, o comportamento da curva vazão-pressão foi linear.

Figura 4.16 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo A (após 1344 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.17 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo B (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h)

Figura 4.18 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo C (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h)

Figura 4.19 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo D (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h)

Figura 4.20 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo E (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.21 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo F (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.22 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo G (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.23 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo H (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h)

Figura 4.24 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo I (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h)

Figura 4.25 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo J (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h).

Figura 4.26 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo K (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.27 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo L (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.28 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo M (após 2688 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Figura 4.29 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo N (após 1344 h de aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h)

Não foram feitas curvas vazão-pressão para o tratamento químico com ácido nítrico com aplicação por 12 h.

A Tabela 4.27 mostra os valores de vazão média (L h⁻¹) utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão mostradas acima (Figuras 4.16 a 4.29) e teste de média, respectivamente.

Observa-se pela Tabela 4.27 que a temperatura diferiu estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância apenas entre a temperatura de 15 °C e 40 °C, sendo que a temperatura de 25 °C se assemelhou estatisticamente as demais temperaturas. Os valores de vazão medidos na pressão de 50 kPa diferiram estatisticamente dos demais valores medidos nas pressões de 100 a 400 kPa.

Tabela 4.27 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(continua)

PRESSÃO	Modelo A			Modelo B			Modelo C		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,61 ^a	1,60 ^a	1,53 ^c	4,07 ^a	4,36 ^a	4,23 ^a	2,10 ^a	2,20 ^a	2,16 ^a
100	1,62 ^a	1,56 ^{ab}	1,53 ^b	3,92 ^{ab}	4,08 ^a	4,09 ^{ab}	1,97 ^b	2,02 ^c	2,07 ^b
200	1,65 ^a	1,57 ^{ab}	1,54 ^b	3,69 ^b	3,83 ^a	3,94 ^b	1,97 ^b	2,07 ^{bc}	2,11 ^b
300	1,60 ^{ab}	1,52 ^b	1,56 ^{ab}	3,70 ^b	3,96 ^a	3,94 ^b	2,04 ^a	2,10 ^{ab}	2,14 ^{ab}
400	1,56 ^b	1,53 ^{ab}	1,60 ^a	3,92 ^{ab}	4,06 ^a	3,98 ^{ab}	2,10 ^a	2,17 ^a	2,18 ^a
Média	1,61 ^A	1,56 ^A	1,55 ^B	3,86 ^B	4,06 ^A	4,04 ^A	2,04 ^B	2,11 ^A	2,13 ^A

PRESSÃO	Modelo D			Modelo E			Modelo F		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,69 ^a	1,64 ^{ab}	1,64 ^a	2,56 ^a	2,41 ^a	2,47 ^a	2,02 ^d	2,02 ^c	2,03 ^b
100	1,64 ^{ab}	1,63 ^{ab}	1,60 ^a	2,36 ^b	2,35 ^{ab}	2,30 ^b	2,32 ^a	2,29 ^a	2,31 ^a
200	1,58 ^b	1,58 ^b	1,56 ^a	2,29 ^b	2,25 ^b	2,27 ^b	2,20 ^b	2,23 ^{ab}	2,23 ^a
300	1,69 ^a	1,64 ^{ab}	1,57 ^a	2,36 ^b	2,37 ^a	2,28 ^b	2,11 ^c	2,20 ^{ab}	2,23 ^a
400	1,59 ^{ab}	1,65 ^a	1,60 ^a	2,34 ^b	2,33 ^{ab}	2,31 ^b	2,03 ^d	2,09 ^b	2,32 ^a
Média	1,64 ^A	1,63 ^{AB}	1,59 ^B	2,38 ^A	2,34 ^{AB}	2,33 ^B	2,14 ^B	2,17 ^{AB}	2,23 ^A

PRESSÃO	Modelo G			Modelo H			Modelo I		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	2,90 ^a	2,78 ^b	2,90 ^{ab}	2,58 ^{ab}	2,56 ^c	2,66 ^c	1,36 ^c	1,34 ^d	1,35 ^d
100	2,92 ^a	3,07 ^a	3,11 ^a	2,41 ^b	2,51 ^c	2,51 ^d	1,81 ^b	1,79 ^c	1,72 ^c
200	2,44 ^b	2,83 ^{ab}	2,87 ^{ab}	2,55 ^{ab}	2,72 ^b	2,79 ^b	1,87 ^b	1,93 ^b	1,80 ^{bc}
300	2,53 ^b	2,84 ^{ab}	2,76 ^b	2,62 ^a	2,87 ^a	2,88 ^a	2,11 ^a	2,10 ^a	1,88 ^{ab}
400	2,61 ^{ab}	2,85 ^{ab}	2,77 ^b	2,68 ^a	2,78 ^b	2,85 ^{ab}	2,19 ^a	2,17 ^a	1,98 ^a
Média	2,68 ^B	2,87 ^A	2,88 ^A	2,57 ^B	2,69 ^A	2,74 ^A	1,87 ^A	1,87 ^A	1,75 ^A

PRESSÃO	Modelo J			Modelo K			Modelo L		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40	15	25	40
50	1,57 ^b	1,57 ^b	1,59 ^b	1,95 ^d	1,97 ^b	1,99 ^b	2,23 ^d	2,21 ^d	2,27 ^c
100	2,08 ^a	2,03 ^a	2,04 ^a	2,27 ^a	2,23 ^a	2,25 ^a	2,71 ^a	2,72 ^a	2,64 ^a
200	2,05 ^a	2,04 ^a	2,07 ^a	2,19 ^{ab}	2,21 ^a	2,16 ^{ab}	2,46 ^c	2,51 ^c	2,50 ^b
300	2,06 ^a	2,07 ^a	2,11 ^a	2,09 ^{bc}	2,12 ^{ab}	2,18 ^{ab}	2,55 ^{bc}	2,56 ^{bc}	2,54 ^b
400	2,03 ^a	2,13 ^a	2,10 ^a	2,02 ^{cd}	2,04 ^b	2,28 ^a	2,59 ^b	2,64 ^{ab}	2,51 ^b
Média	1,96 ^A	1,97 ^A	1,98 ^A	2,10 ^A	2,11 ^A	2,17 ^A	2,51 ^A	2,53 ^A	2,49 ^A

Tabela 4.27 – Vazão média (q_m), expresso em $L\ h^{-1}$ dos gotejadores expostos ao tratamento com aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h, com temperatura da água a 15, 25 e 40 °C, e teste de média, respectivamente

(conclusão)

PRESSÃO	Modelo M			Modelo N		
	Temperatura (°C)			Temperatura (°C)		
	15	25	40	15	25	40
50	2,10 ^b	2,07 ^b	2,12 ^c	1,74 ^a	1,69 ^a	1,66 ^a
100	2,09 ^b	2,13 ^b	2,18 ^c	1,67 ^{ab}	1,64 ^a	1,60 ^b
200	2,26 ^a	2,34 ^a	2,41 ^{ab}	1,66 ^b	1,65 ^a	1,60 ^b
300	2,39 ^a	2,40 ^a	2,47 ^a	1,63 ^b	1,69 ^a	1,65 ^{ab}
400	2,29 ^a	2,35 ^a	2,37 ^b	1,62 ^b	1,67 ^a	1,70 ^a
Média	2,22 ^B	2,26 ^A	2,31 ^A	1,67 ^A	1,67 ^A	1,64 ^{AB}

* Média com a mesma letra minúscula na coluna não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

** Média com a mesma letra maiúscula na linha não indica diferença significativa pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Em anexo (anexo Y e Z) encontram-se os valores de coeficiente de variação de vazão e uniformidade de distribuição de água relacionados aos valores de vazão média utilizados para a confecção dos gráficos apresentados nas Figuras 4.16 a 4.29.

4.2.2.2 Tratamentos químicos da água *versus* temperatura da água

As Figuras 4.30 a 4.43 mostram as curvas vazão *versus* pressão para cada modelo de gotejador comparando os diferentes tratamentos químicos para a temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C, utilizando as pressões de: 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa, 300 kPa e 400 kPa. A nomenclatura utilizada para identificação dos tratamentos foi a seguinte: SA – Sem aplicação (testemunha), 100 AD – Aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, 100 AE – Aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, e pH 2,0 AE – Aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por $\frac{1}{2}$ h.

Os números de horas correspondentes a cada tratamento são: Testemunha (0 h – gotejador novo), aplicação dinâmica de cloro (2688 h com exceção dos modelos A e N com 1512 h), aplicação estática de cloro (3192 h com exceção dos modelos A e N com 1344 h) e aplicação estática de ácido nítrico por $\frac{1}{2}$ h (2688 h com exceção dos modelos A e N com 1344 h).

O modelo A apresentou semelhança entre a curva vazão-pressão para o tratamento químico com ácido nítrico e a curva vazão-pressão testemunha (SA) para as temperaturas 15 e

25 °C. Já as curvas vazão-pressão para os tratamentos químicos com 100 mg L⁻¹ de cloro livre tanto com aplicação dinâmica ou estática apresentaram comportamento semelhante, com exceção da temperatura 25 °C. Outro ponto importante observado, é que com a aplicação de cloro o emissor A regulou melhor a vazão em relação aos demais tratamentos na temperatura de 40 °C, ou seja, para o tratamento testemunha (SA) e aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 (pH 2,0 AE), o emissor A perdeu a característica autocompensante. No entanto para os tratamentos com cloro, observou-se uma redução na vazão na faixa de 5 a 15% em relação à testemunha, com exceção da temperatura a 40 °C.

O modelo B apresentou comportamento semelhante para todos os tratamentos químicos utilizados nas diferentes temperaturas com exceção do tratamento 100 AD que apresentou curva vazão-pressão linear, ou seja, sem decréscimo da vazão conforme o aumento da pressão como ocorreu para os demais tratamentos. Para o modelo C ocorreu o contrário, ou seja, a curva vazão-pressão para o tratamento 100 AD apresentou comportamento tipo potencial, enquanto que os demais tratamentos apresentaram comportamento tipo linear independente da temperatura da água. Este mesmo comportamento também foi observado para o modelo D, sendo que o comportamento da curva vazão-pressão tipo potencial foi observado apenas nas temperaturas de 15 °C e 40 °C para o tratamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD).

O modelo E apresentou uma redução drástica da vazão em todas as temperaturas para o tratamento químico com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD), diferindo estatisticamente a 5% de significância pela análise de regressão. As curvas vazão-pressão para os demais tratamentos foram semelhantes em todas as temperaturas, não reduzindo a vazão dos emissores modelo E, com exceção do tratamento com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AE).

A redução de vazão mostrada pela curva vazão-pressão para o tratamento químico com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD), diferiu estatisticamente a 5% de significância pela análise de regressão para o modelo F em relação aos demais tratamentos em todas as temperaturas. Na temperatura de 15 °C o tratamento com aplicação de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AE) apresentou vazão superior ao tratamento SA e para a temperatura de 25 °C e 40 °C os tratamentos 100 AE e pH 2,0 AE apresentaram vazão superior em todas as pressões em relação ao tratamento SA.

A curva vazão-pressão para o tratamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD) apresentou comportamento linear e foi a que apresentou os menores valores de vazão média em relação aos demais tratamentos utilizados para o modelo G nas diferentes temperaturas utilizadas no ensaio.

A vazão aumentou com o aumento de pressão para o modelo H para todos os tratamentos utilizados, inclusive para a temperatura da água. No entanto, a curva vazão-pressão para o tratamento 100 AD mostrou-se inferior aos demais tratamentos.

O tratamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD) reduziu a zero a vazão do emissor I após 2688 h de funcionamento do sistema, não sendo possível fazer a curva vazão-pressão para este emissor com este tratamento. O tratamento com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AE) diferiu estatisticamente dos tratamentos SA e pH 2,0 AE a 5% de significância pela análise da regressão, apresentando valores de vazão média inferiores em todos os pontos de pressão utilizados para a confecção da curva vazão-pressão. As curvas vazão-pressão dos tratamentos SA e pH 2,0 AE apresentaram comportamento semelhante não diferindo estatisticamente a 5% de significância pela análise da regressão.

Para o emissor J apenas a curva vazão-pressão com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD) diferiu estatisticamente a 5% de significância pela análise da regressão dos demais tratamentos, apresentando, assim, valores de vazão inferior em todos os pontos de pressão, isto porque este tratamento foi mais agressivo à membrana de compensação do emissor. O mesmo comportamento foi observado para o emissor modelo K, sendo que para todos os tratamentos as curvas vazão-pressão apresentaram um comportamento linear mais evidente em relação ao modelo J, ou seja, as curvas vazão-pressão não sofreram alteração da vazão com o aumento da pressão.

A redução de vazão mostrada pela curva vazão-pressão para o tratamento químico com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD), diferiu estatisticamente a 5% de significância pela análise de regressão para o modelo L em relação aos demais tratamentos em todas as temperaturas. Para os demais tratamentos não ocorreu diferença estatística entre as curvas vazão-pressão nas diferentes temperaturas. A membrana de compensação do modelo L apresentou apenas 1% de aumento de volume (AVM), mas que foi suficiente para causar danos à estrutura da membrana, permitindo que a vazão do emissor em diferentes pressões e temperaturas pudesse apresentar comportamento diferente dos demais tratamentos utilizados.

O modelo M para a temperatura de 25 °C apresentou curvas vazão-pressão em ordem decrescente de danos químicos causados à membrana de compensação que segue a seguinte ordem: SA, 100 AE, pH 2,0 AE e por último 100 AD. Para as temperaturas de 15 °C e 40 °C observou-se que o comportamento das curvas foi semelhante ao da temperatura de 25 °C, com exceção da curva do tratamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD) que conforme o aumento de pressão aumentou a vazão, permitindo que para as pressões de 300 e 400 kPa a vazão do emissor fosse superior aos demais tratamentos nas temperaturas de 15 °C e 40 °C.

O emissor N apresentou na temperatura de 15 °C uma redução de vazão conforme o aumento de pressão, sendo que para a pressão de 400 kPa as curvas tenderam a se aproximar. Já para as demais temperaturas foi observada uma proximidade das curvas com comportamento linear, sem, no entanto, apresentar diferença estatística a 5% de significância pela análise de regressão. Ou seja, este emissor foi resistente à ação dos diferentes tratamentos químicos para alterar a estrutura de sua membrana de compensação.

Observou-se que para todos os emissores o tratamento com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AD) foi o que apresentou as maiores reduções de vazão e afetou o comportamento da curva vazão-pressão em diferentes temperaturas, mostrando que este tratamento deve ser utilizado com restrição quanto ao tempo de contato com a membrana de compensação, conforme a análise comparativa com os tratamentos com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre (100 AE - aplicação por apenas ½ h da solução), aplicação estática de ácido nítrico por ½ h e aplicação estática de ácido nítrico por 12 h.

Figura 4.30 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo A comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.31 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo B comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.32 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo C comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.33 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo D comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.34 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo E comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.35 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo F comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.36 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo G comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.37 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo H comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.38 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo I comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.39 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo J comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.40 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo K comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.41 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo L comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.42 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo M comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

Figura 4.43 – Curva vazão *versus* pressão para o modelo N comparando os diferentes tratamentos químicos da água com temperatura da água igual a 15 °C, 25 °C e 40 °C

4.3 Conclusões

Os resultados obtidos na condução do ensaio permitiram chegar às seguintes conclusões:

- a. Para todos os emissores avaliados, a aplicação estática de ácido nítrico com pH 2,0 por ½ h e descanso da solução na linha por 1 semana, não resultou em danos à membrana de compensação, pois a redução máxima observada para a vazão relativa foi de 5% para o emissor H;
- b. O tratamento com aplicação de ácido nítrico com pH na faixa de 2,0 a 3,0 por 12 h, mostrou que o emissor G foi o que sofreu o maior dano em sua membrana de compensação pela ação do ácido nítrico, atingindo 28% de redução da vazão relativa no final do experimento;
- c. O modelo C foi o que apresentou o melhor desempenho da curva vazão *versus* pressão: comportamento linear independente da temperatura da água;
- d. A análise comparativa entre os diferentes tratamentos químicos utilizados, mostrou que a aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre foi a que apresentou as maiores reduções de vazão e afetou o comportamento da curva vazão-pressão em diferentes temperaturas, mostrando que este tratamento deve ser utilizado com restrição quanto ao tempo de contato com a membrana de compensação, conforme a análise comparativa com os tratamentos com aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, aplicação estática de ácido nítrico por ½ h e aplicação estática de ácido nítrico por 12 h.

Referências

ENOCH, H.Z.; OLESEN, J.M. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. **New Phytology**, New York, v. 125, n. 54, p. 249-258, 1993.

GILBERT, R. G.; NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22. n. 3, p. 133-148, 1979.

LANGELIER, W. F. The analytical control of anticorrosion water treatment. **Journal American water works Association**, Denver, v. 28, p. 1500-1521, 1936.

MEYER, J.L. Cleaning drip irrigation systems. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings...** Saint Joseph: ASAE, 1985. v. 1, p. 41-44.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop**. Production design, operation and management. Amsterdam, Elsevier, 1986. 383p.

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. 1999. 77p. Dissertação (Mestrado e, Irrigação e drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

SILVA JÚNIOR, M.J. da.; R. A.; ALVES, L. P.; BEZERRA, C.A. de A.; SOUSA NETO, E.R. de.; SOUZA, E.R. de.; DANTAS, D. da C.; MOURÃO, A.C.; OLIVEIRA, J.C. Evolução e controle químico de obstruções em gotejadores em sistemas de irrigação com diferentes águas. **Caatinga**, Mossoró-RN, v.16, n.1/2, p.23-29, dez. 2003.

ANEXOS

Anexo A – Planilha utilizada para leitura individual dos gotejadores em cada linha gotejadora, para cada um modelos de gotejadores ensaiados na bancada de ensaios

DATA:

pH:

Temperatura (°C):

Dosagem de cloro

Dosagem de ácido:

Pressão na moto bomba (kPa):

Pressão na entrada da linha (kPa):

Peso da água (g)					
Nível					
Nº Gotejadores	Linha	Linha	Linha	Linha	Linha
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					

Anexo B – Planilha utilizada para leitura da vazão das linhas gotejadoras com o medidor magnético de vazão

Nível avaliado:

DATA:

pH:

Temperatura (°C):

Dosagem de cloro:

Dosagem de ácido:

Pressão na moto bomba (kPa):

Pressão na entrada da linha (kPa):

Número da Linha	Vazão Medidor Magnético	Vazão Residual (Registro Fechado)*
	(L h ⁻¹)	(L h ⁻¹)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		

* A Vazão Real (L h⁻¹) da linha gotejadora foi calculada pela subtração da Vazão Residual da Vazão Medidor Magnético.

Anexo C – Planilha utilizada para avaliação do volume das membranas de compensação dos modelos de gotejadores ensaiados

Data:

Equipamento: Picnômetro

Legenda:

Padrão 1: Peso Picnômetro + Tampa Seco.

Padrão 2: Peso Picnômetro + Tampa + Água.

Padrão 3: Peso das Membranas.

Padrão 4: Peso Picnômetro + Tampa + Água + Membrana.

Peso da Água (PH₂O): Padrão 2 – Padrão 1 (Obs.: O Peso da Água é igual ao Volume de Água para densidade 1).

Peso da Água para completar Picnômetro com Membrana (PHM): Padrão 4 – Padrão 3 – Padrão 2.

Volume da Membrana (VM): (PH₂O) - (PHM).

Membrana	Nº Picnômetro	Temperatura da água (°C)	Padrão 1	Padrão 2	Padrão 3	Padrão 4	PH ₂ O	PHM	VM
R1	N6*								
R2									
R3									
R1									
R2									
R3									
R1									
R2									
R3									
R1									
R2									
R3									

* N6 identifica que foram pesadas dentro do picnômetro 6 exemplares da mesma membrana.

Anexo D – Curvas das bombas utilizadas nos ensaios

Figura 1D – Curvas características de bombas de água centrífugas marca KSB, modelo Megabloc 32-160.1R (3500 rpm).

Figura 2D – Curvas características de bombas de água centrífugas marca KSB, modelo Hydrobloc C 1000 e C 500

Figura 3D – Curvas características de bombas de água centrífugas marca KSB, modelo Hydrobloc P 1000

Anexo E – Propriedades físicas da água doce, à pressão atmosférica ($g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$)

Temperatura	Peso específico	Massa específica	Viscosidade dinâmica	Viscosidade cinemática	Tensão superficial (água com ar)	Tensão de vapor	Módulo de elasticidade
t	γ	ρ	μ	ν	δ	h_v	ε
(°C)	Kg m^{-3}	$\text{Kg m}^{-4} \text{s}^{-2}$	$\text{Kg m}^{-2} \text{s}$	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$	Kg m^{-1}	mca	Kg m^{-2}
0	999,9	101,93	181×10^{-6}	$1,78 \times 10^{-6}$	0,00771	0,062	$1,99 \times 10^8$
4	1000,0	101,94	160×10^{-6}	$1,57 \times 10^{-6}$	0,00766	0,083	-----
10	999,7	101,91	134×10^{-6}	$1,31 \times 10^{-6}$	0,00757	0,125	$2,09 \times 10^8$
20	998,2	101,75	103×10^{-6}	$1,01 \times 10^{-6}$	0,00743	0,239	$2,18 \times 10^8$
30	995,7	101,50	84×10^{-6}	$0,83 \times 10^{-6}$	0,00726	0,433	$2,20 \times 10^8$
40	992,2	101,14	67×10^{-6}	$0,66 \times 10^{-6}$	0,00710	0,753	$2,21 \times 10^8$
50	988,1	100,72	56×10^{-6}	$0,56 \times 10^{-6}$	0,00690	1,258	$2,22 \times 10^8$
60	983,2	100,22	47×10^{-6}	$0,47 \times 10^{-6}$	0,00676	2,033	$2,23 \times 10^8$
80	971,8	99,06	37×10^{-6}	$0,37 \times 10^{-6}$	0,00638	4,831	-----
100	958,4	97,70	28×10^{-6}	$0,29 \times 10^{-6}$	0,00601	10,333	-----

Anexo F – Dados utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão para 0 h com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C)

MODELO	Número de emissores na Linha	Pressão (kPa)					
		0	50	100	200	300	400
A	15	0,00	1,54	1,57	1,55	1,59	1,58
B	13	0,00	4,26	4,05	3,79	4,01	4,14
C	14	0,00	2,17	2,12	2,05	2,17	2,28
D	15	0,00	1,62	1,57	1,54	1,62	1,65
E	22	0,00	2,46	2,34	2,31	2,37	2,46
F	15	0,00	1,99	2,33	2,19	2,17	2,05
G	11	0,00	2,81	3,26	3,02	2,99	2,75
H	11	0,00	2,69	2,54	2,72	2,94	2,93
I	11	0,00	1,33	1,79	1,89	2,02	2,10
J	14	0,00	1,53	2,05	2,05	2,02	2,07
K	14	0,00	1,92	2,21	2,14	2,04	2,00
L	14	0,00	2,15	2,70	2,49	2,56	2,65
M	21	0,00	2,09	2,18	2,40	2,46	2,61
N	14	0,00	1,68	1,64	1,63	1,69	1,70

Anexo G – Coeficiente de variação dos dados utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão para 0 h com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C)

MODELO	Número de emissores na Linha	Pressão (kPa)					
		0	50	100	200	300	400
A	15	0,00	2,51	2,89	2,85	4,07	6,71
B	13	0,00	2,90	3,49	2,49	3,12	3,06
C	14	0,00	2,82	3,42	4,54	2,69	3,04
D	15	0,00	2,88	1,97	4,25	2,84	3,28
E	22	0,00	2,01	2,54	2,31	3,14	4,90
F	15	0,00	2,00	2,97	3,39	2,71	4,91
G	11	0,00	5,40	10,51	10,26	8,55	6,32
H	11	0,00	4,36	3,07	3,30	4,04	3,67
I	11	0,00	2,32	1,68	2,44	2,86	3,53
J	14	0,00	3,41	4,74	4,10	3,48	3,10
K	14	0,00	3,32	4,80	5,87	8,33	7,32
L	14	0,00	1,13	3,95	3,80	1,92	3,29
M	21	0,00	3,67	2,27	2,63	4,61	5,72
N	14	0,00	2,19	2,67	2,99	3,80	4,67

Anexo H – Dados utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão para 1152 h com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C)

MODELO	Número de emissores na Linha	Pressão (kPa)					
		0	50	100	200	300	400
A	15	0,00	3,68	3,73	3,76	3,89	3,98
B	13	0,00	1,99	1,94	1,98	2,14	2,12
C	14	0,00	1,3	1,40	1,34	1,55	1,50
D	15	0,00	1,75	1,85	1,78	1,87	1,77
E	22	0,00	1,95	1,97	1,97	2,08	1,99
F	15	0,00	2,5	2,76	2,54	2,79	2,90
G	11	0,00	2,28	2,30	2,58	2,83	2,94
H	11	0,00	0,75	0,76	1,03	1,36	1,27
I	11	0,00	1,73	1,75	1,80	1,88	1,91
J	14	0,00	1,78	1,80	1,81	1,82	1,87
K	14	0,00	2,05	2,08	2,08	2,25	2,27
L	14	0,00	1,95	1,99	2,23	2,40	2,35
M	21	0,00	3,68	3,73	3,76	3,89	3,98
N	14	0,00	1,99	1,94	1,98	2,14	2,12

Anexo I – Vazão média utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão para 2688 h com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C).

MODELO	Número de emissores na Linha	Pressão (kPa)					
		0	50	100	200	300	400
A	15	0,00	1,44	1,43	1,45	1,49	1,67
B	13	0,00	3,70	3,53	3,54	3,83	3,81
C	14	0,00	1,74	1,79	1,99	2,08	2,07
D	15	0,00	0,93	0,97	1,14	1,15	0,87
E	22	0,00	0,17	0,41	0,28	0,35	0,14
F	15	0,00	1,82	1,91	1,92	2,01	1,70
G	11	0,00	2,65	2,43	2,32	2,65	2,47
H	11	0,00	2,19	2,26	2,56	2,75	2,58
I	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
J	14	0,00	1,41	1,65	1,72	1,84	1,77
K	14	0,00	0,00	1,76	1,68	1,89	1,57
L	14	0,00	1,86	1,90	1,90	2,05	1,98
M	21	0,00	1,78	1,95	2,29	2,49	2,19
N	14	0,00	1,58	1,57	1,57	1,63	1,60

Anexo J – Coeficiente de variação dos dados utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão para 2688 h com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C)

MODELO	Número de emissores na Linha	Pressão (kPa)					
		0	50	100	200	300	400
A	15	0,00	8,56	8,67	7,44	7,79	9,21
B	13	0,00	5,71	4,38	3,96	3,68	4,22
C	14	0,00	9,39	6,68	3,81	4,40	4,48
D	15	0,00	34,04	17,61	17,42	25,97	51,64
E	22	0,00	201,74	125,03	191,52	155,42	224,49
F	15	0,00	5,05	5,29	6,35	6,88	9,64
G	11	0,00	7,69	14,56	15,67	13,68	11,48
H	11	0,00	6,23	3,54	5,67	4,53	9,26
I	11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
J	14	0,00	10,52	9,73	6,98	7,15	10,47
K	14	0,00	0,00	5,45	15,91	5,60	10,80
L	14	0,00	7,45	7,78	6,47	6,31	9,62
M	21	0,00	5,13	4,69	6,60	5,44	7,67
N	14	0,00	5,83	2,33	6,34	4,10	5,90

Anexo K – Graus de entupimento (GE), expresso em percentagem, para os modelos de gotejadores avaliados, no período do ensaio com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre a temperatura ambiente (25°C)

Aplicação	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
168	-0,79	-2,19	1,50	3,35	6,94	2,38	8,28	1,36	4,69	4,05	3,21	0,31	-3,81	0,31
336	2,83	2,50	-1,10	10,28	15,86	5,20	9,61	1,95	16,48	5,52	5,28	5,84	0,18	-0,91
504	8,94	1,88	3,49	11,07	18,30	7,60	10,61	3,60	21,33	7,26	9,52	6,63	2,66	-0,67
672	8,94	1,86	3,28	14,58	20,10	10,03	11,17	3,67	23,65	8,74	8,27	6,63	0,93	-0,67
840	4,15	4,94	4,44	15,47	20,59	11,95	14,04	4,25	24,57	10,42	13,01	9,99	1,42	-0,93
1008	8,97	6,33	7,61	17,77	24,21	11,82	11,68	6,10	28,64	11,73	14,05	13,15	7,11	0,20
1176	6,81	1,90	1,32	10,71	21,01	11,36	10,48	4,74	52,03	11,65	15,86	9,15	2,06	1,44
1344	9,25	-0,63	0,96	16,30	21,94	10,71	9,26	6,17	81,00	12,06	13,54	14,13	1,52	1,80
1512	6,09	0,99	0,86	14,25	23,15	12,77	9,88	5,31	92,24	10,37	13,13	14,24	0,50	3,06
1680		7,95	10,17	22,33	32,96	15,86	14,43	10,23	97,12	13,35	16,58	15,36	1,71	
1848		7,95	10,17	22,33	32,96	15,86	14,43	10,23	97,12	13,35	16,58	15,36	1,71	
2016		2,51	6,04	19,59	37,63	11,53	11,76	7,13	100,00	11,32	15,22	17,15	2,50	
2184		5,50	3,48	24,25	41,65	12,61	11,30	7,76	100,00	13,45	19,61	18,91	1,25	
2352		2,57	-1,12	14,92	50,35	8,83	13,59	4,16	100,00	13,81	19,46	18,30	1,04	
2520		5,82	5,02	23,85	71,61	10,34	19,79	6,02	100,00	15,49	19,84	19,60	-4,38	
2688		6,71	1,30	27,29	88,26	12,20	22,31	4,94	100,00	13,92	17,87	18,94	-0,56	

Anexo L – Vazão média ($L h^{-1}$) à temperatura 15 °C utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	Vazão média ($L h^{-1}$)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,46	0,33	0,29	0,36	0,28	0,24	0,42	0,00	0,16	0,00	0,17	0,45	0,22
2	0,00	0,67	0,58	0,45	0,59	0,41	0,33	0,57	0,00	0,26	0,00	0,32	0,71	0,35
3	0,00	0,57	0,19	0,23	0,54	0,32	0,35	0,42	0,00	0,37	0,00	0,30	0,72	0,40
4	0,00	1,05	0,45	0,45	0,59	0,31	0,40	0,46	0,00	0,47	0,00	0,35	0,86	0,45
5	0,00	1,17	0,57	0,54	0,72	0,43	0,58	0,66	0,00	0,53	0,00	0,38	0,96	0,53
10	0,00	1,82	0,99	0,88	1,39	0,74	0,74	1,09	0,00	0,70	0,00	0,80	0,97	0,92
15	0,00	2,35	1,29	1,10	1,82	0,95	0,87	1,41	0,00	0,75	0,00	1,02	1,34	1,04
20	0,00	2,84	1,60	1,34	2,11	1,12	0,98	1,69	0,00	0,88	0,00	1,23	1,51	1,33
25	0,00	3,35	1,81	1,47	2,40	1,31	1,64	2,00	0,00	1,02	0,00	1,44	1,78	1,56
50	1,62	4,04	2,13	1,61	2,55	1,95	2,56	2,53	1,33	1,51	1,84	2,11	2,08	1,72
75	1,62	3,98	1,97	1,56	2,49	2,35	2,97	2,50	1,64	1,87	2,24	2,66	2,04	1,73
100	1,61	3,93	1,94	1,61	2,41	2,34	3,00	2,50	1,80	2,06	2,29	2,73	2,20	1,71
150	1,61	3,70	1,97	1,65	2,31	2,34	2,93	2,64	1,88	2,10	2,27	2,64	2,34	1,66
200	1,61	3,61	2,03	1,57	2,26	2,28	2,62	2,74	1,87	2,11	2,16	2,52	2,38	1,64
250	1,61	3,65	2,01	1,57	2,40	2,24	2,55	2,81	2,03	2,06	2,14	2,50	2,44	1,67
300	1,63	3,75	2,06	1,62	2,40	2,23	2,77	2,81	2,06	2,13	2,06	2,55	2,45	1,67
350	1,57	3,77	2,08	1,60	2,40	2,17	2,63	2,88	2,09	2,13	2,15	2,55	2,48	1,66
400	1,50	3,86	2,07	1,50	2,38	2,13	2,62	2,85	2,19	2,12	2,05	2,49	2,35	1,65

Anexo M – Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 15 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	CV_q (%)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	17,11	19,73	10,71	5,56	10,60	16,90	10,32	0,00	53,10	0,00	5,92	37,78	11,11
2	0,00	28,34	25,74	7,54	4,51	20,79	7,11	19,71	0,00	88,47	0,00	2,37	58,15	2,71
3	0,00	9,08	16,33	23,62	6,72	33,10	9,28	25,51	0,00	78,38	0,00	10,46	31,64	8,35
4	0,00	11,20	14,66	7,55	3,99	5,87	8,77	17,14	0,00	89,88	0,00	2,63	23,61	4,79
5	0,00	7,55	15,49	5,91	4,58	4,73	6,99	15,19	0,00	85,26	0,00	5,25	18,51	3,17
10	0,00	3,55	5,03	4,79	3,83	2,04	7,25	1,48	0,00	47,31	0,00	2,27	17,31	3,27
15	0,00	2,04	1,86	4,70	2,58	2,64	38,98	2,23	0,00	11,89	0,00	2,01	5,68	5,90
20	0,00	2,07	1,82	4,08	4,09	3,25	67,98	4,12	0,00	3,51	0,00	2,17	4,60	2,12
25	0,00	2,16	2,44	9,09	2,89	2,15	19,10	5,44	0,00	3,19	0,00	1,40	2,84	1,99
50	2,51	3,58	4,62	8,62	2,64	1,50	8,94	3,59	2,17	3,79	3,69	1,39	4,62	2,28
75	2,88	3,83	3,24	9,79	3,13	1,83	10,45	4,23	2,35	3,52	4,67	1,92	4,19	2,84
100	3,51	3,76	3,50	9,12	3,67	5,58	11,57	5,86	2,39	3,77	6,11	3,98	4,48	2,50
150	3,34	2,93	3,05	4,01	2,81	3,34	20,75	4,31	2,77	4,06	6,26	4,42	4,26	2,79
200	3,82	2,66	4,64	4,08	4,86	3,68	21,36	2,72	2,82	4,18	6,36	4,11	4,27	2,32
250	5,00	5,53	2,39	5,52	3,87	3,40	29,24	3,13	3,41	3,09	5,82	3,16	12,44	2,92
300	17,01	1,74	3,16	3,88	3,58	3,18	19,55	3,90	2,94	3,55	8,36	2,54	4,94	2,55
350	5,95	1,86	2,33	8,32	4,09	3,21	24,95	4,61	3,18	4,20	6,94	2,60	7,11	2,69
400	10,85	2,21	8,06	13,63	5,40	5,79	13,95	4,87	2,95	2,39	7,14	4,46	9,58	2,60

Anexo N – Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 15 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	UD (%)													
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	100,0	75,9	77,5	88,0	88,5	89,5	80,1	91,6	100,0	62,2	100,0	93,0	58,8	86,1
2	100,0	66,1	76,2	91,2	91,3	80,9	93,8	83,7	100,0	48,0	100,0	97,5	62,3	97,5
3	100,0	88,3	80,7	68,8	86,8	81,0	90,3	86,3	100,0	46,5	100,0	89,0	77,0	89,2
4	100,0	86,6	84,4	91,9	92,4	93,9	90,6	90,9	100,0	56,4	100,0	96,6	77,1	93,5
5	100,0	91,2	85,7	93,4	91,0	94,9	93,0	91,0	100,0	55,0	100,0	94,1	79,6	96,2
10	100,0	95,8	95,7	94,3	95,7	97,6	91,0	98,6	100,0	77,3	100,0	97,8	82,6	96,9
15	100,0	97,4	98,0	95,4	96,2	97,0	53,8	97,3	100,0	92,4	100,0	98,0	94,0	93,1
20	100,0	96,9	97,8	94,7	94,3	96,1	22,3	96,2	100,0	95,5	100,0	97,9	92,1	97,6
25	100,0	97,4	97,0	89,3	96,5	97,5	76,2	96,9	100,0	96,0	100,0	98,3	95,9	97,7
50	96,5	96,0	94,4	89,5	97,2	98,2	89,5	96,0	97,3	95,3	96,2	98,3	93,9	97,7
75	97,2	96,3	96,9	86,1	96,8	97,7	87,5	95,2	97,1	95,8	95,4	97,5	94,2	96,8
100	96,9	96,3	96,6	89,6	95,3	93,7	88,0	94,8	96,9	95,3	94,3	94,9	94,7	97,3
150	96,4	96,2	96,8	95,1	95,6	96,1	84,0	96,0	96,0	95,2	94,4	94,2	94,3	97,3
200	96,3	96,4	95,9	94,6	94,9	96,1	69,9	96,7	96,2	94,7	94,2	95,3	94,1	97,7
250	94,0	93,9	97,3	92,6	96,2	95,7	58,7	96,2	95,4	96,2	95,3	97,1	83,4	96,8
300	91,3	98,1	96,4	95,4	96,1	95,9	78,9	95,8	96,4	95,7	92,2	97,1	84,8	96,9
350	92,1	97,9	97,3	88,5	94,0	96,4	70,9	96,5	96,0	94,6	93,6	97,3	89,7	97,0
400	87,0	97,2	89,2	81,2	94,7	92,2	83,4	94,6	96,4	97,0	93,7	95,6	88,1	97,0

Anexo O – Vazão média (L h⁻¹) à temperatura 25 °C utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	Vazão média (L h ⁻¹)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,34	0,18	0,16	0,20	0,12	0,14	0,24	0,00	0,15	0,00	0,12	0,32	0,17
2	0,00	1,15	0,64	0,46	0,64	0,34	0,52	0,80	0,00	0,55	0,00	0,27	0,87	0,39
3	0,00	1,72	0,88	0,65	0,99	0,51	0,59	0,82	0,00	0,55	0,00	0,58	1,11	0,66
4	0,00	1,29	0,70	0,51	0,71	0,37	0,56	0,82	0,00	0,59	0,00	0,60	1,39	0,70
5	0,00	1,83	1,03	0,78	1,17	0,62	0,94	1,28	0,00	0,62	0,00	0,69	1,49	0,79
10	0,00	2,28	1,24	1,02	1,58	0,88	1,30	1,46	0,00	0,70	0,00	0,95	1,45	0,99
15	0,00	2,60	1,40	1,14	1,76	1,04	1,49	1,62	0,00	0,80	0,00	1,11	1,52	1,15
20	0,00	3,16	1,67	1,31	2,16	1,21	1,82	1,84	0,00	0,93	0,00	1,32	1,65	1,30
25	1,10	3,13	1,81	1,34	2,18	1,28	1,82	1,87	0,05	0,95	1,33	1,31	1,67	1,38
50	1,54	4,26	2,17	1,62	2,46	1,99	2,81	2,49	1,33	1,53	1,92	2,15	2,09	1,68
75	1,56	4,16	2,10	1,59	2,40	2,33	3,17	2,59	1,63	1,90	2,23	2,63	2,04	1,64
100	1,57	4,05	2,12	1,57	2,34	2,33	3,26	2,54	1,79	2,05	2,21	2,70	2,18	1,64
150	1,54	3,94	2,08	1,57	2,28	2,31	3,25	2,65	1,79	2,08	2,19	2,58	2,34	1,62
200	1,55	3,79	2,05	1,54	2,31	2,19	3,02	2,72	1,89	2,05	2,14	2,49	2,40	1,63
250	1,56	3,75	2,08	1,58	2,37	2,14	3,02	2,89	1,96	1,98	2,13	2,53	2,49	1,68
300	1,59	4,01	2,17	1,62	2,37	2,17	2,99	2,94	2,02	2,02	2,04	2,56	2,46	1,69
350	1,53	4,14	2,23	1,64	2,55	2,13	2,75	2,94	2,15	2,08	2,00	2,60	2,43	1,68
400	1,58	4,14	2,28	1,65	2,46	2,05	2,75	2,93	2,10	2,07	2,00	2,65	2,61	1,70

Anexo P – Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 25 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	CV_q (%)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	26,39	20,91	17,32	10,94	55,71	41,86	35,30	0,00	76,01	0,00	8,64	35,65	16,40
2	0,00	10,26	20,14	9,04	3,45	21,47	5,75	25,79	0,00	78,25	0,00	3,13	29,59	5,01
3	0,00	12,36	21,98	9,63	2,17	2,15	4,99	29,41	0,00	47,53	0,00	1,20	20,67	3,60
4	0,00	10,44	20,64	10,29	2,43	4,98	6,40	30,93	0,00	52,92	0,00	1,44	15,76	6,94
5	0,00	11,85	16,22	13,06	3,74	2,55	6,59	30,38	0,00	43,33	0,00	1,36	15,79	4,83
10	0,00	2,56	6,29	11,38	2,37	1,34	4,82	23,16	0,00	10,36	0,00	1,21	9,91	2,67
15	0,00	1,53	4,62	8,96	3,58	1,67	5,87	13,71	0,00	4,08	0,00	1,21	4,56	2,75
20	0,00	1,33	2,43	4,31	1,73	1,60	3,93	2,76	0,00	3,73	0,00	1,17	2,22	2,43
25	44,49	1,52	1,41	4,20	3,52	5,24	6,04	1,78	305,26	3,31	3,59	1,29	2,07	2,13
50	2,51	2,90	2,82	2,88	2,01	2,00	5,40	4,36	2,32	3,41	3,32	1,13	3,67	2,19
75	3,05	2,71	2,52	2,57	2,94	2,42	8,37	3,16	2,37	3,55	4,79	2,23	3,04	2,08
100	2,89	3,49	3,42	1,97	2,54	2,97	10,51	3,07	1,68	4,74	4,80	3,95	2,27	2,67
150	3,50	2,70	2,66	1,63	2,35	3,26	10,89	2,57	3,11	4,51	6,28	3,94	4,60	2,19
200	2,85	2,49	4,54	4,25	2,31	3,39	10,26	3,30	2,44	4,10	5,87	3,80	2,63	2,99
250	3,60	1,55	2,65	2,55	3,23	5,68	8,33	2,92	2,87	3,49	7,19	1,98	3,77	3,69
300	4,07	3,12	2,69	2,84	3,14	2,71	8,55	4,04	2,86	3,48	8,33	1,92	4,61	3,80
350	7,38	3,27	3,86	3,99	4,92	4,48	9,32	4,10	2,66	4,04	6,34	4,58	7,09	4,48
400	6,71	3,06	3,04	3,28	4,90	4,91	6,32	3,67	3,53	3,10	7,32	3,29	5,72	4,67

Anexo Q – Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 25 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	UD (%)													
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	100,0	63,8	73,1	75,4	81,6	49,8	46,7	59,9	100,0	18,1	100,0	89,6	57,0	81,3
2	100,0	91,4	79,0	92,9	95,2	75,0	93,2	78,7	100,0	35,9	100,0	96,2	78,6	95,7
3	100,0	86,5	79,9	92,4	97,3	97,7	94,8	81,8	100,0	72,9	100,0	98,6	76,2	95,8
4	100,0	89,5	79,7	92,0	95,1	95,3	92,7	78,9	100,0	71,1	100,0	98,4	83,4	94,3
5	100,0	87,4	85,5	91,1	95,2	96,9	94,1	82,2	100,0	76,0	100,0	98,5	83,6	95,8
10	100,0	97,6	96,4	90,6	96,7	98,5	94,9	89,4	100,0	93,6	100,0	98,7	89,1	96,6
15	100,0	98,3	96,7	92,0	95,1	98,1	93,7	93,6	100,0	96,0	100,0	98,7	94,9	96,9
20	100,0	98,6	97,8	94,5	98,5	98,1	95,2	97,8	100,0	95,7	100,0	98,6	97,1	97,4
25	56,3	98,3	98,5	94,5	97,0	94,7	93,4	98,1	100,0	95,8	96,4	98,4	97,3	97,5
50	97,7	96,8	97,0	97,4	97,7	97,5	94,0	95,2	97,3	95,9	96,0	98,6	95,4	97,7
75	97,1	96,9	97,0	97,3	96,9	96,9	89,6	96,3	96,9	95,8	94,4	96,9	96,5	97,9
100	97,2	96,0	96,1	98,4	97,1	96,2	86,9	95,8	98,0	94,7	95,5	95,3	97,2	97,4
150	96,5	96,4	97,0	98,3	97,0	96,2	85,6	97,0	96,3	94,8	94,4	95,5	92,5	97,3
200	96,2	97,0	95,2	96,8	97,1	96,1	87,2	96,4	97,3	95,0	94,8	95,1	96,7	97,1
250	96,1	98,1	96,8	97,5	96,3	93,3	90,2	96,6	96,6	95,9	93,5	97,9	93,6	96,4
300	95,2	96,1	97,3	96,8	90,5	97,3	91,9	95,6	96,6	96,2	92,5	97,8	93,7	96,4
350	90,5	95,7	96,0	96,1	92,2	95,3	88,7	94,9	96,7	94,6	93,1	96,1	93,3	94,9
400	91,5	95,8	95,9	96,1	93,3	93,9	92,5	96,6	95,6	96,4	93,6	97,1	92,1	94,5

Anexo R – Vazão média (L h⁻¹) à temperatura 40 °C utilizados para a confecção das curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	Vazão média (L h ⁻¹)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,39	0,24	0,19	0,27	0,48	0,30	0,30	0,00	0,53	0,00	0,20	0,95	0,20
2	0,00	0,97	0,44	0,46	0,67	0,27	0,46	0,45	0,00	0,54	0,00	0,27	0,96	0,22
3	0,00	1,15	0,48	0,36	0,63	0,26	0,35	0,62	0,00	0,53	0,00	0,33	0,97	0,31
4	0,00	1,05	0,35	0,38	0,70	0,28	0,41	0,73	0,00	0,53	0,00	0,42	0,99	0,39
5	0,00	1,01	0,65	0,12	0,30	0,27	0,51	0,80	0,00	0,53	0,00	0,49	1,02	0,41
10	0,00	1,20	0,95	0,58	0,96	0,43	0,58	0,86	0,00	0,60	0,00	0,60	1,37	0,43
15	0,00	1,59	0,95	0,68	1,16	0,54	0,81	1,34	0,00	0,67	0,00	0,96	1,74	1,05
20	0,00	2,82	1,60	1,16	1,69	0,96	1,39	1,69	0,00	0,81	0,00	1,16	1,74	1,16
25	0,00	3,04	1,47	1,32	1,86	1,10	1,62	1,74	0,00	0,97	1,32	1,32	1,81	1,35
50	0,98	4,19	2,20	1,58	2,42	1,93	2,71	2,35	1,08	1,46	1,84	2,13	2,16	1,63
75	1,51	4,05	2,12	1,56	2,42	2,31	3,20	2,56	1,57	1,90	2,18	2,62	2,12	1,63
100	1,49	4,05	2,07	1,53	2,32	2,37	3,20	2,53	1,69	2,00	2,24	2,70	2,16	1,60
150	1,48	3,90	2,08	1,53	2,32	2,27	3,10	2,65	1,69	2,03	2,14	2,57	2,43	1,62
200	1,54	3,85	2,03	1,54	2,29	2,21	3,02	2,77	1,81	2,04	2,17	2,57	2,54	1,63
250	1,57	3,88	2,11	1,57	2,38	2,26	3,02	2,92	1,88	2,11	2,11	2,47	2,57	1,63
300	1,57	3,92	2,16	1,56	2,40	2,31	3,12	2,97	1,88	2,07	2,16	2,59	2,61	1,68
350	1,58	3,97	2,16	1,61	2,38	2,23	3,04	2,94	1,95	2,04	2,12	2,56	2,54	1,69
400	1,56	3,91	2,16	1,60	2,36	2,20	3,13	2,93	1,94	2,15	2,09	2,47	2,36	1,66

Anexo S – Coeficiente de variação de vazão (CV_q) à temperatura 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	CV _q (%)													
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	70,36	70,73	64,10	65,30	6,98	4,47	26,12	0,00	54,91	0,00	15,35	23,04	17,22
2	0,00	25,05	55,75	46,63	16,06	41,96	27,62	27,14	0,00	101,55	0,00	17,94	20,96	43,38
3	0,00	22,98	40,18	53,26	19,94	47,39	30,77	30,71	0,00	64,73	0,00	19,82	53,98	22,75
4	0,00	35,37	48,17	53,72	30,57	52,57	24,31	23,33	0,00	103,01	0,00	63,70	20,14	17,60
5	0,00	61,79	31,76	71,69	24,91	53,51	27,80	20,67	0,00	52,22	0,00	15,75	20,78	71,45
10	0,00	51,59	44,89	61,60	27,50	48,51	59,32	49,72	0,00	117,45	0,00	67,12	18,75	63,22
15	0,00	44,19	50,29	60,25	32,64	53,66	63,57	44,45	0,00	58,23	0,00	6,14	11,15	8,06
20	0,00	3,35	10,22	17,78	9,10	11,21	16,07	20,08	0,00	10,55	0,00	5,00	8,69	5,80
25	0,00	44,77	12,01	11,04	12,01	10,82	14,12	9,99	0,00	4,20	4,66	4,66	5,56	3,16
50	57,86	2,45	2,38	2,46	1,97	2,21	7,42	2,91	29,88	3,55	3,65	1,17	3,25	2,56
75	3,24	3,35	2,52	2,12	2,32	2,58	12,78	3,51	2,09	3,77	5,33	2,27	3,61	2,55
100	3,55	3,15	2,56	2,01	2,39	2,87	14,41	3,23	1,71	4,41	6,10	3,76	3,32	2,17
150	3,54	2,42	2,53	2,33	2,56	3,22	12,92	1,99	2,19	3,85	6,45	4,27	2,53	3,03
200	3,57	2,16	2,57	2,39	2,65	3,27	10,60	2,22	2,55	3,78	5,69	3,60	2,47	2,40
250	3,54	2,03	3,00	2,38	2,93	2,85	9,71	2,52	2,65	3,82	4,64	2,92	2,55	2,55
300	3,84	1,67	2,13	2,24	2,70	2,67	12,57	2,64	6,64	3,33	6,23	2,03	2,79	3,13
350	4,86	2,04	1,88	2,56	3,29	3,81	11,30	3,11	2,48	3,13	6,11	2,38	3,77	3,03
400	4,58	2,59	2,29	3,06	3,46	3,49	12,99	3,06	2,36	3,29	6,67	3,84	11,32	2,76

Anexo T – Uniformidade de distribuição de água (UD) à temperatura 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão (gotejadores novos)

Pressão	Modelo													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	UD (%)													
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	100,0	2,3	16,6	12,6	0,0	90,9	94,8	82,0	100,0	68,3	100,0	80,8	71,0	79,2
2	100,0	66,7	32,3	35,4	70,2	45,8	65,8	69,8	100,0	17,8	100,0	78,6	75,5	41,6
3	100,0	68,2	51,1	29,3	62,1	36,1	63,2	67,0	100,0	36,7	100,0	74,9	24,3	70,3
4	100,0	54,7	44,8	29,5	29,6	31,6	70,8	76,1	100,0	3,2	100,0	15,7	78,8	82,1
5	100,0	12,7	64,7	12,8	74,0	62,0	65,1	81,2	100,0	35,3	100,0	78,1	78,5	13,8
10	100,0	18,1	46,1	18,7	35,2	36,4	21,5	39,3	100,0	11,4	100,0	13,2	56,1	16,5
15	100,0	18,8	36,9	20,6	24,6	27,7	15,4	55,7	100,0	57,7	100,0	92,7	88,0	92,9
20	100,0	95,0	92,7	79,5	84,0	86,4	82,0	87,8	100,0	89,2	100,0	93,9	91,9	93,1
25	100,0	20,5	86,4	86,7	81,3	86,7	84,3	90,1	100,0	95,1	94,5	94,5	93,2	95,8
50	0,7	97,2	97,5	97,3	97,6	97,4	92,1	96,0	63,7	95,8	96,1	98,6	95,5	97,3
75	96,9	95,7	97,5	97,6	97,2	97,0	83,4	95,5	97,5	95,6	94,9	96,8	94,1	97,4
100	96,5	96,1	96,9	97,8	96,9	96,5	81,8	96,2	97,7	94,3	94,1	95,3	94,8	97,8
150	96,3	97,0	97,1	97,2	96,9	96,2	84,9	97,2	97,2	95,3	93,9	94,9	96,4	97,2
200	96,2	97,5	97,3	97,2	96,7	96,0	88,1	97,5	96,7	95,2	95,0	95,6	96,7	97,6
250	96,1	97,8	96,5	97,4	96,9	96,4	88,8	97,0	96,6	95,2	95,6	97,5	96,1	97,2
300	95,7	98,0	97,3	97,4	97,0	96,6	87,9	97,2	92,1	96,2	94,2	97,8	96,8	96,3
350	94,0	97,6	97,7	97,0	96,4	95,3	89,2	96,4	96,8	96,0	94,8	97,1	94,6	96,3
400	91,0	97,2	97,3	96,7	96,1	95,7	86,3	96,5	97,0	96,3	94,5	96,0	86,9	97,0

Anexo U – Coeficiente de variação de vazão (CV, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	CV (%)													
50	15	9,25	5,67	6,36	25,80	181,37	5,16	5,98	5,89	0,00	11,78	6,38	2,22	5,37	2,96
	25	8,56	5,71	9,39	34,04	201,74	5,05	7,69	6,23	0,00	10,52	0,00	7,45	5,13	5,83
	40	2,79	4,61	5,60	44,06	159,89	4,09	6,50	5,47	0,00	10,27	6,40	1,99	4,56	2,60
100	15	8,89	5,25	4,97	38,75	140,47	5,24	15,25	3,90	0,00	10,30	5,73	4,26	4,64	2,64
	25	8,67	4,38	6,68	17,61	125,03	5,29	14,56	3,54	0,00	9,73	5,45	7,78	4,69	2,33
	40	2,35	4,54	5,80	29,72	153,34	4,74	10,99	3,12	0,00	9,64	6,18	4,55	4,24	3,79
200	15	5,83	4,48	4,31	20,70	164,17	5,76	24,69	4,97	0,00	8,91	5,18	5,18	5,96	4,16
	25	7,44	3,96	3,81	17,42	191,52	6,35	15,67	5,67	0,00	6,98	15,91	6,47	6,60	6,34
	40	2,84	4,93	3,83	19,66	150,84	4,10	10,06	4,15	0,00	8,17	5,46	4,07	4,63	4,15
300	15	6,17	3,99	4,55	29,08	161,01	6,12	17,23	5,85	0,00	7,62	6,41	6,36	7,08	3,74
	25	7,79	3,68	4,40	25,97	155,42	6,88	13,68	4,53	0,00	7,15	5,60	6,31	5,44	4,10
	40	4,92	5,21	3,58	17,52	153,82	4,88	11,31	4,68	0,00	7,20	5,67	4,19	4,96	3,86
400	15	6,42	4,52	4,28	50,88	158,49	7,07	23,75	7,63	0,00	9,23	5,36	5,74	6,76	4,12
	25	9,21	4,22	4,48	51,64	224,49	9,64	11,48	9,26	0,00	10,47	10,80	9,62	7,67	5,90
	40	4,18	4,59	3,90	14,44	160,33	5,34	13,05	5,67	0,00	6,61	6,11	3,63	5,32	4,41

Anexo V – Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	UD (%)													
50	15	88,4	92,8	92,1	75,9	0,0	93,2	91,8	93,9	0,0	86,1	93,0	97,3	93,2	96,7
	25	89,6	92,6	89,0	77,6	0,0	93,1	89,2	92,7	0,0	87,4	0,0	89,9	90,9	94,3
	40	96,7	94,3	92,7	68,8	0,0	94,4	90,8	94,6	0,0	87,7	93,7	97,7	94,5	97,0
100	15	89,0	94,4	94,4	55,2	0,0	93,1	80,8	95,6	0,0	87,7	93,7	95,6	94,7	96,8
	25	89,0	94,9	92,0	82,2	0,0	93,0	80,7	96,5	0,0	88,3	93,6	89,3	95,2	97,3
	40	96,0	95,4	93,0	75,1	0,0	93,6	85,7	96,7	0,0	88,0	93,5	94,9	94,6	96,0
200	15	93,9	95,9	95,2	74,9	0,0	94,4	68,0	94,4	0,0	89,2	94,4	93,8	92,9	95,8
	25	90,0	96,0	95,7	80,1	0,0	93,5	80,3	93,9	0,0	91,5	85,2	92,1	91,9	93,3
	40	96,7	95,0	95,1	78,9	0,0	95,8	86,2	95,2	0,0	90,0	94,0	94,7	94,3	95,2
300	15	92,4	96,1	95,0	63,4	0,0	93,2	77,1	92,4	0,0	90,1	92,4	92,5	92,3	95,8
	25	89,5	96,8	95,0	64,8	0,0	94,0	82,0	94,6	0,0	91,2	93,2	92,4	93,6	95,5
	40	95,3	95,1	95,6	79,2	0,0	95,8	85,6	94,5	0,0	90,9	93,6	94,8	93,9	95,3
400	15	93,9	95,7	95,1	33,0	0,0	93,5	70,5	91,1	0,0	88,9	93,5	93,8	91,5	95,5
	25	89,1	95,4	95,0	31,1	0,0	87,6	85,7	90,9	0,0	88,0	86,9	90,3	72,9	93,1
	40	95,0	95,7	95,2	85,3	0,0	95,4	83,0	93,1	0,0	91,9	92,9	95,5	93,9	94,6

Anexo W – Coeficiente de variação de vazão (CV, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre por ½ h

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	CV (%)													
50	15	1,19	3,65	3,61	4,05	4,51	1,81	6,27	3,67	0,00	8,36	4,58	2,16	2,68	2,55
	25	2,74	3,63	3,75	2,06	5,78	2,13	6,51	13,50	0,00	3,18	4,28	2,09	3,11	2,99
	40	1,66	3,26	4,19	8,68	6,49	1,87	13,54	3,19	0,00	9,09	4,39	2,00	3,41	2,87
100	15	1,88	3,41	6,22	4,35	5,64	3,31	10,34	3,92	17,08	6,21	4,60	2,46	4,18	4,69
	25	1,91	3,16	4,38	3,69	5,08	3,40	9,82	13,17	18,32	2,73	4,95	2,01	6,04	2,85
	40	2,97	3,65	3,96	7,82	6,28	3,29	10,05	2,91	21,30	7,10	4,69	1,90	3,13	2,93
200	15	3,45	5,23	5,63	5,51	7,85	3,50	9,79	2,32	16,54	6,11	5,52	2,00	5,22	6,83
	25	4,70	1,82	13,59	3,17	16,93	3,88	8,13	5,82	13,72	4,05	5,07	1,78	5,27	2,32
	40	2,90	2,84	3,15	10,22	4,57	3,00	10,37	2,24	17,29	5,21	4,61	2,15	2,46	2,61
300	15	5,41	3,67	4,72	9,00	13,02	3,44	19,32	4,67	17,49	9,99	5,45	2,10	7,63	4,59
	25	6,11	1,81	2,49	16,79	14,15	5,21	8,54	12,55	14,62	4,60	6,02	1,94	17,68	4,00
	40	2,29	2,81	2,12	6,56	8,02	2,61	13,71	2,42	16,43	5,52	5,12	2,23	3,72	2,77
400	15	6,93	2,74	2,98	6,46	15,37	3,68	12,21	3,90	17,12	5,33	6,04	2,45	5,38	4,00
	25	8,41	4,12	5,84	18,37	12,31	6,57	13,74	7,50	15,64	5,34	5,99	2,22	3,89	8,47
	40	2,12	2,53	2,41	6,02	6,63	2,77	15,85	2,54	16,58	3,75	6,92	2,29	3,28	5,99

Anexo X – Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de 100 mg L⁻¹ de cloro livre por ½ h

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	UD (%)													
50	15	79,5	95,9	95,7	95,5	95,5	97,7	94,8	95,8	0,0	90,7	94,5	97,3	88,5	97,1
	25	96,2	97,2	95,4	98,4	94,1	97,7	94,4	92,1	0,0	96,6	95,1	98,0	96,1	96,5
	40	98,0	96,7	94,7	91,5	94,1	97,8	85,3	96,6	0,0	91,8	94,6	97,5	90,2	97,1
100	15	97,6	96,4	93,0	95,1	93,6	96,3	89,7	95,7	82,4	93,5	94,6	96,9	88,5	96,2
	25	97,3	96,0	94,6	95,7	94,0	96,3	91,4	92,8	81,6	96,9	94,5	97,6	88,1	96,4
	40	96,3	96,4	95,3	92,8	94,1	96,2	91,3	96,9	83,2	93,4	94,7	97,9	90,7	96,6
200	15	95,3	93,3	94,3	94,0	89,7	96,4	89,4	97,0	84,5	94,0	93,9	97,7	90,5	91,9
	25	93,6	96,9	85,3	96,0	77,3	94,7	91,9	92,2	86,5	95,8	94,2	97,9	90,7	97,5
	40	96,4	97,1	96,0	90,9	92,4	96,7	88,1	96,9	82,7	94,0	94,9	97,4	93,9	97,0
300	15	79,7	96,0	94,8	87,9	82,7	95,6	71,2	93,8	83,6	91,0	93,5	97,3	87,9	94,9
	25	91,8	97,3	97,2	76,2	82,0	94,0	90,3	84,3	85,4	95,1	93,5	97,7	76,5	94,6
	40	96,8	97,2	97,6	94,0	87,8	97,0	86,1	97,7	82,4	93,5	94,7	97,1	93,4	96,9
400	15	89,4	97,3	97,0	93,1	79,3	95,6	72,4	95,1	81,9	94,5	93,2	96,8	91,3	96,1
	25	89,4	96,2	94,1	75,9	88,0	91,9	83,9	89,7	84,5	93,7	94,2	97,5	88,3	91,6
	40	95,6	97,6	97,4	94,8	89,1	96,5	82,2	97,1	81,4	95,3	93,2	97,0	93,9	93,9

Anexo Y – Coeficiente de variação de vazão (CV, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	CV (%)													
50	15	2,20	8,71	2,87	2,31	2,82	1,43	5,10	2,17	2,47	4,03	3,62	1,85	2,81	2,66
	25	2,31	13,67	3,17	2,01	3,05	0,93	5,08	3,27	2,50	3,74	3,46	1,57	2,35	2,78
	40	2,49	6,81	5,63	5,96	2,09	1,04	5,98	2,07	3,04	3,74	4,53	1,79	3,39	2,39
100	15	2,27	10,29	3,85	2,54	3,49	1,86	11,12	2,11	6,52	4,72	5,01	3,48	3,29	3,06
	25	2,18	13,44	2,33	1,97	3,37	2,07	9,10	1,96	3,77	5,05	4,79	3,43	2,18	2,87
	40	3,73	6,68	3,45	4,32	3,49	1,75	10,57	2,16	5,11	5,11	5,87	3,04	3,42	2,45
200	15	4,15	6,04	3,36	2,99	3,60	2,63	8,50	5,39	6,38	4,17	5,48	3,37	4,39	2,66
	25	2,49	10,32	1,66	2,27	3,92	4,12	7,49	1,55	3,31	6,98	5,20	3,27	3,27	3,08
	40	2,36	5,58	3,08	3,17	2,23	1,52	7,58	1,53	4,13	4,67	6,13	3,44	2,74	1,86
300	15	2,29	5,11	3,92	6,88	4,35	3,49	10,45	7,27	3,80	4,98	6,23	2,62	4,87	2,92
	25	3,34	7,12	2,88	2,64	3,02	3,97	7,15	3,36	4,19	5,88	6,15	2,66	3,48	3,12
	40	3,26	4,55	3,00	2,62	3,55	2,09	7,75	1,78	4,15	4,50	6,78	2,61	3,18	2,62
400	15	4,39	3,81	4,79	3,88	4,85	2,86	11,30	4,66	3,51	6,27	7,63	2,59	4,59	2,85
	25	3,94	7,48	3,29	3,30	4,16	6,86	9,21	4,13	4,97	4,89	10,79	2,67	4,13	3,05
	40	4,89	3,99	3,20	3,18	3,18	15,32	8,21	2,21	9,40	4,49	9,61	3,50	3,65	2,51

Anexo Z – Uniformidade de distribuição de água (UD, %) à temperatura 15, 25 e 40 °C relacionados às curvas vazão *versus* pressão, para o tratamento utilizando a aplicação estática de ácido nítrico a pH 2,0 por ½ h

Pressão	Temp.	Modelo													
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
kPa	°C	UD (%)													
50	15	96,8	93,1	97,0	97,1	97,0	98,3	94,3	97,0	97,6	95,2	96,1	97,7	96,7	98,1
	25	96,8	92,5	96,6	97,4	96,2	98,9	94,5	96,5	97,7	95,6	96,0	98,0	97,4	97,4
	40	97,1	94,6	94,3	95,8	99,8	98,8	92,6	97,0	97,3	95,5	95,6	98,0	96,4	98,2
100	15	96,4	93,1	95,7	96,9	96,3	97,8	89,0	97,5	92,2	94,6	94,5	96,3	96,2	97,1
	25	97,0	92,0	97,6	97,9	96,0	97,7	90,4	97,5	95,5	94,0	95,2	96,3	97,6	97,4
	40	95,1	94,8	96,1	96,2	96,1	98,3	87,9	97,1	93,9	94,3	94,7	96,7	97,2	97,5
200	15	94,6	95,1	96,5	97,0	95,7	97,3	89,4	93,3	93,0	95,7	94,9	96,4	94,0	97,0
	25	97,0	92,7	98,0	97,1	95,3	95,5	92,4	98,2	95,9	93,1	95,4	96,6	95,8	96,8
	40	96,8	95,2	96,2	96,2	97,2	98,6	92,2	98,4	95,3	94,7	94,8	96,3	97,0	98,0
300	15	96,2	95,1	95,8	94,4	95,0	96,0	85,0	90,3	95,7	95,4	94,8	96,8	94,2	96,8
	25	95,8	95,1	96,3	97,2	96,6	95,3	91,3	96,6	95,6	93,6	93,5	96,6	95,9	96,3
	40	95,0	96,0	96,1	96,9	96,0	97,7	91,0	98,2	95,0	95,3	94,8	97,0	96,6	96,8
400	15	94,0	96,1	94,7	95,5	94,8	97,0	85,5	94,0	95,7	93,4	93,5	96,6	93,9	96,7
	25	94,1	94,5	95,9	96,7	94,9	91,5	88,6	95,5	94,5	94,8	90,0	96,5	94,0	96,4
	40	93,7	96,3	96,0	95,9	95,9	92,8	90,2	97,8	90,3	95,6	91,7	96,4	95,4	96,8

Anexo ZA – Exemplo de vazões coletadas ao longo da linha lateral dos emissores E e I durante o ensaio com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre com pH na faixa de 5,5 a 6,0

Gotejador	Modelo E		Modelo I	
	2352 h	2688 h	1176 h	1848 h
1	1,21	0,00	1,24	0,00
2	1,53	1,40	1,22	0,00
3	1,24	0,00	0,21	0,00
4	1,21	0,00	0,76	0,00
5	1,26	0,05	0,55	0,00
6	1,41	0,00	0,41	0,00
7	1,11	0,00	0,48	0,00
8	1,30	0,00	0,89	0,00
9	1,22	0,00	1,34	0,09
10	1,15	0,00	1,38	0,39
11	1,13	0,00	0,98	0,08
12	1,18	0,00		
13	1,31	0,36		
14	1,27	0,72		
15	1,58	1,56		
16	1,49	1,28		
17	0,01	0,00		
18	0,01	0,00		
19	1,28	0,00		
20	0,01	0,00		
21	1,03	0,00		

Anexo ZB – Coeficientes da equação do emissor para as curvas apresentadas nas Figuras 2.68 a 2.81

Emissor	Temp. água	Coeficientes da equação ^[a] ^[b]	
	°C	K	x
A	15	1,6073	0,0004
	25	15473	0,0022
	40	1,541	0,0008
B	15	3,6804	0,0009
	25	3,8689	0,0022
	40	3,8551	0,0015
C	15	1,9462	0,0057
	25	2,0519	0,0043
	40	2,0672	0,0039
D	15	1,5955	0,0004
	25	1,5799	0,0017
	40	1,5405	0,0037
E	15	2,3255	0,0027
	25	2,3185	0,0024
	40	2,3512	0,0012
F	15	2,3312	-0,0045
	25	2,472	-0,0141
	40	2,3679	-0,0064
G	15	3,0282	-0,0083
	25	3,295	-0,0146
	40	3,2712	-0,0071
H	15	2,0088	0,0561
	25	1,9326	0,0652
	40	2,1386	0,0456
I	15	1,0420	0,1171
	25	1,0156	0,1192
	40	1,0809	0,0958
J	15	2,0516	0,0028
	25	1,9579	0,0080
	40	2,0265	0,0017
K ^[b]	15	2,2972	-0,0004
	25	2,2248	-0,0001
	40	2,226	-0,0001
L	15	2,5175	0,0032
	25	2,5135	0,0024
	40	2,5198	0,0022
M	15	2,2700	0,0087
	25	2,118	0,0236
	40	1,0963	0,1525
N ^[b]	15	1,6568	0,00002
	25	1,6629	0,00001
	40	1,6546	0,00003

^[a] equação tipo potencial: $q = K (H, \text{kPa})^x$. Todos os modelos com exceção de K e N.

^[b] equação tipo linear: $q = x(H, \text{kPa}) + K$.

Anexo ZC – Intervalos de confiança para parâmetros da regressão dos dados apresentados nas Figuras 2.68 a 2.81

Modelo A						
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	1,61492***	0,01622	99,55	0,000219	↔	3,229621
Pressão	-0,00019**	0,00008	-2,3	-6 10 ⁻⁰⁶	↔	-0,00037
R ²	0,0289					
F	5,30**					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo B						
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	3,69915***	0,0374	98,9	0,00029	↔	7,39801
Temperatura	0,00643***	0,00131	4,91	-2,1 10 ⁻⁰⁶	↔	0,012862
R ²	0,1194					
F	24,13***					
Intercepto (β_0)	4,06546***	0,03147	129,2	-0,00046	↔	8,131384
Pressão	-0,00109***	0,0001605	-6,78	-1,8 10 ⁻⁰⁶	↔	-0,00218
R ²	0,205					
F	45,91***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo C						
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	1,96574***	0,01635	120,21	0,000307	↔	3,931174
Temperatura	0,00368***	0,000572	6,43	2,04 10 ⁻⁰⁶	↔	0,007358
R ²	0,1886					
F	41,37***					
Intercepto (β_0)	2,01605***	0,01559	129,33	-0,0002	↔	4,032305
Pressão	0,00027***	0,00008	3,36	1,2 10 ⁻⁰⁶	↔	0,000539
R ²	0,0596					
F	11,28***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo D						
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	1,62861***	0,0121	134,63	-0,00041	↔	3,257633
Temperatura	-0,00213***	0,000423	-5,03	-2,31 10 ⁻⁰⁶	↔	-0,0042577
R ²	0,1242					
F	25,25***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo F						
Variável	Coefficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	2,368***	0,01779	133,08	0,0005068	↔	4,7354932
Pressão	-0,00035***	0,00009	-3,91	-2,8 10 ⁻⁰⁶	↔	-0,0007066
R ²	0,079					
F	15,27***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo G					
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,70721***	0,09308	29,09	-0,0004872	$\leftrightarrow$ 5,4149072
Temperatura	0,01179***	0,00326	3,62	-1,12 10^{-05}	$\leftrightarrow$ 0,0235912
R ²	0,0686				
F	13,11***				
Intercepto (β_0)	3,2318***	0,08364	38,64	-4,96 10^{-05}	$\leftrightarrow$ 6,4636496
Pressão	-0,00117***	0,000426	-2,75	1,5 10^{-06}	$\leftrightarrow$ -0,0023415
R ²	0,0407				
F	7,56***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo H					
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,62826***	0,03861	71,41	-0,1288801	$\leftrightarrow$ 5,3854001
Temperatura	0,00269**	0,00129	2,09	-6,1 10^{-06}	$\leftrightarrow$ 0,0053861
R ²	0,0238				
F	4,35**				
Intercepto (β_0)	2,35764***	0,01733	136,08	-0,0006264	$\leftrightarrow$ 4,7159064
Pressão	0,00191***	0,000088	21,62	7,44 10^{-06}	$\leftrightarrow$ 0,0038126
R ²	0,7241				
F	467,24***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo I					
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	1,97046***	0,02873	68,6	-0,000418	$\leftrightarrow$ 3,941338
Temperatura	-0,00546***	0,00101	-5,43	2,43 10^{-05}	$\leftrightarrow$ -0,0109443
R ²	0,1421				
F	29,47***				
Intercepto (β_0)	1,5548***	0,01622	95,85	0,000113	$\leftrightarrow$ 3,109487
Pressão	0,00151***	0,000082	18,22	1,596 10^{-05}	$\leftrightarrow$ 0,003004
R ²	0,6510				
F	332,09***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo J					
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	1,92282***	0,01843	104,35	-0,0003505	$\leftrightarrow$ 3,8459905
Pressão	0,000581***	0,00009	6,19	2,438 10^{-05}	$\leftrightarrow$ 0,0011386
R ²	0,177				
F	38,28***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo K					
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%	
Intercepto (β_0)	2,28404***	0,027	84,6	-0,00016	$\leftrightarrow$ 4,56824
Pressão	-0,00059***	0,000137	-4,27	-3,01 10^{-06}	$\leftrightarrow$ -0,001173
R ²	0,0931				
F	18,26***				

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo L						
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	2,68626***	0,01927	139,4	2,2 10 ⁻⁰⁵	↔	5,372498
Pressão	-0,00059***	0,000098	-6,03	-2,16 10 ⁻⁰⁶	↔	-0,001184
R ²	0,1698					
F	36,41***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.

Modelo M						
Variável	Coeficiente	Erro Padrão	Valor – t	Intervalos de Confiança 95%		
Intercepto (β_0)	2,27522***	0,03857	59	-0,00041	↔	4,55085
Temperatura	0,00321**	0,00135	2,38	-3 10 ⁻⁰⁶	↔	0,006423
R ²	0,0308					
F	5,66**					
Intercepto (β_0)	2,022***	0,02076	97,42	-0,0004392	↔	4,0444392
Pressão	0,00189***	0,00010587	17,86	-8,382 10 ⁻⁰⁷	↔	0,0037808
R ²	0,6419					
F	319,12***					

*** significativo a 1%; ** significativo a 5%; ^{ns} não significativo.