

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES COM USO DE ESGOTO
DOMÉSTICO TRATADO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO

FLAVIO DANIEL SZEKUT

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro - 2015

FLAVIO DANIEL SZEKUT

Engenheiro Agrícola

**OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES COM USO DE ESGOTO
DOMÉSTICO TRATADO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos

Campina Grande - PB

Fevereiro - 2015

Espaço disponibilizado para o parecer final do julgamento da dissertação de
mestrado

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida concedida e proteção diária. Nossa Senhora Aparecida pela benção e intercessão.

A Universidade Federal de Campina Grande, em especial a coordenação de Pós Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade da realização do Curso. Estendendo-se a Coordenadora Prof. Dr. Vera Lucia Antunes de Lima, e secretários Dona Cida, Seu Gilson e Isaías.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela orientação, paciência, estímulo, amizade durante a realização do Curso.

Ao meu Co-orientador, Prof. Delfran Batista dos Santos pela amizade, disponibilidade e norteamto em questões relevantes ao bom desenvolvimento da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa sob a Chamada MEC/SETEC/CNPq N ° 94/2013.

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

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano) e a Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) pelo apoio intelectual e material.

Aos examinadores e colaboradores Prof. José Dantas Neto, Prof. Rafael Oliveira Batista, pesquisador Dr. Salomão de Sousa Medeiros, Dr. José Wellington dos Santos e Dr^a. Claudia Facini dos Reis.

A todos os docentes do curso pelo compartilhamento do conhecimento nas maravilhosas aulas ministradas.

Aos amigos de convivência, trabalho e pesquisa Márcio Roberto Klein, Maycon Diego Ribeiro, Allan Radax Freitas Campos, Daniel Cavalcanti Feitosa, Rodrigo Dallagnol e Jackes Douglas Szekut pela ajuda em todos os momentos da pesquisa.

A minha família de tão longe não mediu esforços em apoiar, incentivar e acreditar na formação intelectual, meus pais Clemente Daniel Szekut e Ansília Szekut, e irmão Vânio José Szekut.

A todos que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização dessa pesquisa. Muito Obrigado.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	xi
<hr/>	
CAPÍTULO 1. UTILIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE HÍDRICA NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO, PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	5
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	5
INTRODUÇÃO	6
PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	7
Água residuária como fonte hídrica alternativa	7
Água residuária de esgoto doméstico tratado.....	8
Produção de esgoto	8
Tratamento de esgoto.....	9
Aplicação da água residuária de esgoto doméstico tratado.....	10
Obstrução de emissores.....	11
Obstrução físico-química.....	11
Obstrução Biológica	12
Influência das características dimensionais dos emissores e projetos	12
Monitoramento da obstrução	13
Vazão e uniformidade de distribuição	13
Controle estatístico de qualidade	15
Desobstrução	17
CONCLUSÃO	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
<hr/>	
CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBOS GOTEJADORES COM ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT.....	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	25
Localização	25
Fatores de estudo e delineamento experimental.....	26
Descrição do experimento.....	28
Estação de tratamento	28
Tubos gotejadores	28
Bancada de ensaios	29
Condução do experimento.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

CAPÍTULO 3. OBSTRUÇÃO TEMPORAL DE TUBOS GOTEJADORES OPERADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE ESGOTO TRATADO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO.....	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	38
Localização.....	38
Fatores de estudo e delineamento experimental.....	39
Descrição do experimento.....	40
Estação de tratamento.....	40
Tubos gotejadores.....	41
Bancada de ensaios.....	41
Condução do experimento.....	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
Qualidade físico-químico e microbiológico.....	44
Uniformidade de distribuição temporal.....	45
Análise estatística para os fatores água, tubo e tempo de funcionamento.....	48
CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DO MATERIAL CAUSADOR DA OBSTRUÇÃO EM TUBOS GOTEJADORES.....	56
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	56
INTRODUÇÃO.....	57
MATERIAL E MÉTODOS.....	59
Localização.....	59
Tubos gotejadores.....	59
Monitoramento da obstrução dos tubos gotejadores.....	60
Qualidade físico-química e microbiológica.....	62
Microscopia eletrônica de varredura.....	63
Identificação microbiológica.....	63
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
Uniformidade de aplicação com AR e AB.....	64
Obstrução físico-química e microbiológica.....	67
Identificação microbiológica do biofilme formado pela aplicação de AB e AR.....	71
Microscopia eletrônica de varredura e análise de EDS para os tubos gotejadores obstruídos com AB e AR.....	75
CONCLUSÃO.....	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CAPÍTULO 5. ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO NA OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES.....	82
RESUMO.....	82

ABSTRACT.....	82
INTRODUÇÃO	83
MATERIAL E MÉTODOS	84
Localização	84
Tubos gotejadores	85
Monitoramento da obstrução dos tubos gotejadores	86
Índice de capacidade do processo	87
RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
Uniformidade de distribuição.....	89
Índice de capacidade de processo para água residuária e de abastecimento na obstrução de tubos gotejadores	91
CONCLUSÃO	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. UTILIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE HÍDRICA NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO, PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Tabela 1. Fatores de interferência a escolha mais apropriada para aplicação de águas residuárias	10
Tabela 2. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD.....	14
Tabela 3. Classificação do sistema de irrigação para valores obtidos do CVq segundo ASABE (1996).....	14
Tabela 4. Classificação de Uniformidade estatística (Us).....	15
Tabela 5. Classificação do sistema para obtenção da uniformidade de distribuição de Christiansen (CUC).....	15

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBOS GOTEJADORES COM ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

Tabela 1. Pressões utilizadas para a obtenção da curva característica dos três tubos gotejadores	27
Tabela 2. Elementos da equação característica para cada tubo gotejador e tipo de água, bem como o fornecido pelo fabricante.....	31
Tabela 3. ANOVA da variável resposta CV para os três fatores em estudo, água, tubo gotejador e pressão de entrada	32
Tabela 4. Teste Tukey de comparação de média para os tubos gotejadores e as pressões de entrada	33

CAPÍTULO 3. OBSTRUÇÃO TEMPORAL DE TUBOS GOTEJADORES OPERADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE ESGOTO TRATADO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO.

Tabela 1. Classificação do sistema de irrigação para valores obtidos do CVq	39
Tabela 2. Classificação do sistema a partir de valores obtidos da Us	40
Tabela 3. Fator tempo de funcionamento em quatro níveis	43
Tabela 4. Análise físico-químico e microbiológica de caracterização para AB e AR, com classificação para o risco de entupimento segundo Ayers & Westcot (1991),	

Capra & Scicolone (1998) Nakayama et al. (2006), características analisadas condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C), pH, Cálcio (mgL⁻¹), Magnésio (mgL⁻¹), Potássio (mgL⁻¹), Ferro Total (mgL⁻¹), Cloreto (mgL⁻¹), Nitrato (mgL⁻¹), Nitrito (mgL⁻¹), carbonatos (mgL⁻¹), Bicarbonatos (mgL⁻¹), Sílica (mgL⁻¹) e Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mgL⁻¹) 44

Tabela 5. ANOVA para os três fatores, tipo de água, modelo de tubo gotejador e tempo de funcionamento	49
Tabela 6. Análise de variância individual para cada nível dos fatores da interação água AR e AB, tubos gotejadores G1, G2 e G3	49
Tabela 7. Teste de comparação de médias para o desdobramento da interação entre os fatores água e tubo	50
Tabela 8. Desdobramento da interação dos fatores água x tempo e tubo x tempo, sendo a equação e coeficiente de determinação R ²	50
Tabela 9. Análise de regressão para a interação água, tubo e tempo, verificado pela equação e coeficiente de determinação R ²	52

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DO MATERIAL CAUSADOR DA OBSTRUÇÃO EM TUBOS GOTEJADORES

Tabela 1. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD.....	61
Tabela 2. Classificação o sistema referente ao valor obtido de Us	61
Tabela 3. Tempo de funcionamento do sistema para a amostragem de AR para análise físico-química e microbiológica.....	62
Tabela 4. Análise de regressão para o CUD em função ao tempo de funcionamento com a equação e coeficiente de determinação R ² para cada água e tubo gotejador	66
Tabela 5. A análise de regressão para a variável Us em função do tempo de funcionamento, com equação e coeficiente de determinação R ² para cada água e tubo gotejador	67
Tabela 6. Caracterização da AB e AR anterior ao início do experimento com condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C), pH, Cálcio (mgL ⁻¹), Magnésio (mgL ⁻¹), Potássio (mgL ⁻¹), Ferro Total (mgL ⁻¹), Cloreto (mgL ⁻¹), Nitrato (mgL ⁻¹), Nitrito (mgL ⁻¹), carbonatos (mgL ⁻¹), Bicarbonatos (mgL ⁻¹), Sílica (mgL ⁻¹) e Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mgL ⁻¹)	68
Tabela 7. Análise da AR nos sete tempos de funcionamento, sendo a amostragem realizada no reservatório com as características de condutividade Elétrica (

dS/m), pH, Cálcio (mmolcL^{-1}), Magnésio (mmolcL^{-1}), Potássio (mmolcL^{-1}), Sódio (mmolcL^{-1}), Ferro Total (mgL^{-1}), Cloreto (mgL^{-1}), Manganês (mgL^{-1}), Sólidos dissolvidos (mgL^{-1}), Sólidos Suspensos (mgL^{-1}), População bacteriana (UFC)..... 69

Tabela 8. Análise da AR nos sete tempos de funcionamento, da amostragem realizada depois da passagem pelo emissor com as características de condutividade Elétrica (dS/m), pH, Cálcio (mmolcL^{-1}), Magnésio (mmolcL^{-1}), Potássio (mmolcL^{-1}), Sódio (mmolcL^{-1}), Ferro Total (mgL^{-1}), Cloreto (mgL^{-1}), Manganês (mgL^{-1}), Sólidos dissolvidos (mgL^{-1}), Sólidos Suspensos (mgL^{-1}), População bacteriana (UFC) 70

Tabela 9. Regressão linear múltipla relacionando a vazão média dos gotejadores em um função teor de ferro e *coliformes totais* 70

Tabela 10. Análise de EDS para os tubos gotejadores operados com AR e AB, com a quantidade em porcentagens do carbono (C), oxigênio (O), flúor (F), sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), cloro (Cl), cálcio (Ca) e ferro (Fe). 77

CAPÍTULO 5. ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO NA OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES

Tabela 1. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD..... 87

Tabela 2. Limites superior e inferior de especificação para cada modelo de tubo gotejador que foi utilizado na AB e AR..... 88

Tabela 3. Condição de qualidade do processo conforme C_p calculado segundo Tsai & Chen (2006) 89

Tabela 4. Análise de regressão para tubo e água com equação e coeficiente de determinação R^2 91

Tabela 5. Análise de regressão do Cpk em função do tempo de funcionamento para os fatores água e tubo, evidenciando a equação e o coeficiente de determinação R^2 91

Tabela 6. ANOVA para fator água, tubo e interação entre os fatores com teste F a 5% de significância. 92

Tabela 7. ANOVA para o desdobramento da interação, nível AR e AB em relação aos tubos gotejadores G1, G2 e G3, e nível tubo G1, G2 e G3 em relação ao nível água AR e AB. 93

Tabela 8. Teste tukey para o desdobramento da interação com as médias e agrupamento 93

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBOS GOTEJADORES COM ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO

- Figura 1. Localização do INSA na cidade de Campina Grande 26
- Figura 2. Corte longitudinal da bancada experimental, cabeçal de controle, sistema de armazenagem e bombeamento. 29
- Figura 3. Sistema de coleta dos volumes de água simultâneo em todos os gotejadores 30
- Figura 4. Curvas característica com AR, AB e a calculada pelo catálogo do fabricante para os tubos gotejadores G1(A), G2 (B) e G3 (C) 31

CAPÍTULO 3. OBSTRUÇÃO TEMPORAL DE TUBOS GOTEJADORES OPERADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE ESGOTO TRATADO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO.

- Figura 1. Localização do experimento na sede do INSA na cidade de Campina Grande - PB..... 39
- Figura 2. Corte longitudinal do sistema de bancada, cabeçal de controle, sistema de bombeamento e armazenagem de AR e AB 42
- Figura 3. Coleta dos volumes de água na bancada de ensaios. (A) mecanismo de coleta do volume de água para AB, (B) mecanismo de coleta do volume de água para AR. 43
- Figura 4. CV para os três modelos de tubos gotejadores ao decorrer do tempo de funcionamento sendo operados com AR e AB 45
- Figura 5. Us para os três modelos de tubos gotejadores ao decorrer do tempo de funcionamento sendo operados com AR e AB 46
- Figura 6. GE dos três modelos de tubos gotejadores utilizando AR e AB ao passar do tempo de funcionamento 48
- Figura 7. Gráfico de interação para os três fatores. (A)(D) tubo e água, (B)(E) tempo e água e (F)(C) tempo e tubo 51

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DO MATERIAL CAUSADOR DA OBSTRUÇÃO EM TUBOS GOTEJADORES

- Figura 1. Corte longitudinal do sistema instalado em bancada, cabeçal de controle, sistema de armazenagem e bombeamento 60

Figura 2. Coeficiente de uniformidade de distribuição para a AR e AB e os modelos de tubos gotejadores G1, G2 e G3 ao longo do tempo de funcionamento	65
Figura 3. Uniformidade estatística U_s para as águas e tubos gotejadores em relação ao tempo de funcionamento, evidenciando a classificação adotada	66
Figura 4. Identificação dos principais componentes microbiológicos existente no biofilme da AB: (A) Diatomáceas sugestivo de <i>Gomphonema sp.</i> ; (B) <i>Coliformes fecais</i> ; (C) Alga clorofilada sugestivo de <i>Espirogira sp.</i> ; (D) Reprodução assexuada do tipo duplicação em bactéria de forma bacilar; (E) Sugestivo de ovo de <i>Ascaris lumbricoides</i> ; (F) Formação de biofilme; (G) Sugestivo de bactérias de formas cocos; (H) Colônia de <i>Microcystis aeruginosa</i>	72
Figura 5. Identificação dos principais componentes microbiológicos existente no biofilme da AR: (A) Colônia de <i>Microcystis aeruginosa</i> ; (B) Diatomáceas sugestivo de <i>Gomphonema sp.</i> ; (C) Alga clorofilada sugestivo de <i>Espirogira sp.</i> ; (D) Ovo de <i>Ascaris lumbricoides</i> ; (E) Reprodução assexuada do tipo duplicação em bactéria de forma bacilar; (F) Alga clorofilada sugestivo de Dinoflagelada; (G) Bactéria de forma cocos; (H) <i>Coliformes fecais</i> ; (I) Formação de biofilme.	75
Figura 6. Imagens do biofilme aderido às paredes do labirinto dos emissores aumentadas 40x fornecidas pelo microscópio eletrônico de varredura, (A) G1 AB, (B) G1 AR, (C) G2 AB, (D) G2 AR, (E) G3 AB, (F) G3 AR.....	76

CAPÍTULO 5. ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO NA OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES

Figura 1. Indicação do INSA na cidade de Campina Grande.....	85
Figura 2. Corte transversal do sistema instalado em bancada a campo.....	86
Figura 3. CUD no decorrer do tempo de funcionamento para AR e AB em cada tubo gotejador.	90
Figura 4. C_{pk} para AR e AB no tempo de funcionamento, (A) G1, (B) G2 e (C) G3	94

CAPÍTULO 1. UTILIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO TRATADO COMO FONTE HÍDRICA NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO, PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

RESUMO: O esgoto doméstico quando realizado um tratamento pode ser utilizado na agricultura como fonte hídrica através da irrigação, além de proporcionar água para as culturas, beneficia com a melhoria das condições ambientais local e o aporte de elementos químicos no solo. A irrigação localizada por gotejamento é a melhor forma de aplicação, por aplicar a água de forma uniforme sob a área e diminuindo a contaminação das culturas e trabalhadores. A problemática da aplicação via sistema por gotejamento está na obstrução dos emissores, decorrente da má qualidade da água, fatores dimensionais e características do tubo gotejador. O principal causador da obstrução de tubos gotejadores operados com esgoto doméstico tratado é o biofilme, um muco microbiológico formado pela proliferação e aderência de colônias bacterianas no caminho de fluxo dos emissores. Nesse aspecto foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a utilização do esgoto doméstico via irrigação por gotejamento, abordando aspectos como produção, tratamento, aplicação e problemáticas.

PALAVRAS-CHAVE: biofilme, obstrução de emissores, uniformidade de aplicação

SEWER USE OF DOMESTIC WATER TREATED AS SOURCE IN IRRIGATION DRIP, RESEARCH LITERATURE

ABSTRACT: The sewage treatment when performed may be used in agriculture as a water source through irrigation, in addition to providing water for crops, benefits from improving the local environmental conditions and the supply of chemicals in the soil. The drip irrigation drip is the best form of application by applying water uniformly in the area and decreasing the contamination of crops and workers. The application of the problem via drip system is the obstruction of issuers, due to poor water quality, dimensional factors and characteristics of the dripline. The main cause of obstruction operated drip irrigation system with treated domestic sewage is the biofilm, a microbiological mucus formed by the proliferation and adhesion of bacterial colonies in the issuers flow path. In this respect was carried out a literature review on the use of

domestic sewage through drip irrigation, addressing aspects such as production, processing, and application issues.

KEY-WORDS: biofilm, obstruction of issuers, application uniformity

INTRODUÇÃO

A produção de esgoto doméstico é abundante e perenizado, a partir de um tratamento pode ser utilizado novamente em outras atividades humanas. Na agricultura significa uma alternativa de fonte hídrica, melhoria das condições ambientais local, incremento de elementos químicos e condicionadores no solo, porém a aplicação deve seguir as restrições ambiental vigentes.

A principal forma de utilização na agricultura é através da irrigação, substituindo a utilização de água de mananciais ou sendo a única alternativa de recurso hídrico, como é o caso de regiões com escassez de água. No Brasil a região compreendida pelo Semiárido tem problemas com reabastecimento natural das águas, sendo a utilização para irrigação com água de má qualidade a solução para obter produção agrícola.

Dentre os sistemas de irrigação, a localizada por gotejamento oferece uma uniformidade de distribuição de água superior em relação aos outros métodos. A problemática da utilização de águas residuárias é o entupimento dos emissores, podendo ser de origem físico, químico ou biológico, dependente da fonte do efluente. Entre as principais obstruções estão o acúmulo de Fe, Ca e a proliferação de colônias bacterianas no caminho de fluxo do emissor.

A obstrução dos emissores está aliada principalmente a qualidade da água aplicada, entretanto as condições de projeto, topografia, tipo e dimensões do emissor podem influenciar na obstrução. Com o fechamento do fluxo de descarga do emissor, acarreta diminuição na lâmina aplicada e afeta a distribuição uniforme, influenciando a cultura irrigada.

Para o monitoramento da descarga dos emissores e a uniformidade de distribuição são utilizados os coeficientes de uniformidade e vazão relativa para classificar o sistema em relação a mudança na qualidade de aplicação. Também a utilização do controle estatístico de qualidade verifica a qualidade do processo da irrigação.

O sistema com problemas de obstrução, deve-se aplicar produtos ou processos que minimizam essa problemática, preferencialmente de periodicamente como prevenção.

Produtos químicos, coquetéis biológicos, e processos físicos são os mais utilizados para minimizar o entupimento dos emissores.

Dentro dessa abordagem foi realizada uma revisão bibliográfica sobre a utilização do esgoto doméstico tratado como fonte hídrica, aplicado com sistema de irrigação por gotejamento. Destacando a importância da utilização e a problemática inserida na utilização de água com baixa qualidade, influenciando diretamente na vazão dos emissores e conseqüentemente a aplicação do sistema de irrigação.

PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Água residuária como fonte hídrica alternativa

A produção agrícola deve acompanhar o crescimento populacional, para que isso ocorra à produtividade deve ser alavancada a fim de evitar a abertura de novas áreas agricultáveis causando problemáticas ambientais, segundo Bos et al. (2007) é necessário o desmatamento de 45.000 km² por ano para a produção de alimentos se igualar ao acréscimo populacional.

Para os índices de produtividade ser maiores, um conjunto de fatores deve ser realizado, dentre eles a técnica da irrigação entra em destaque por oferecer as culturas agrícolas condições, em relação à quantidade de água, obter produções com qualidade e quantidade. Christofidis (2009) relata o aumento da produtividade proporcionado pela irrigação no século XXI, em que 18% da área agrícola irrigada foram responsáveis por aproximadamente 44% do total colhido.

A reutilização de efluentes segundo Alobaidy et al. (2010) pode efetivamente contribuir para preencher a lacuna crescente entre a demanda de água e disponibilidade de água especialmente em áreas semiáridas, sendo que ainda se faz necessário uma pesquisa mais intensiva sobre os constituintes orgânicos e tóxicos em águas residuais.

Em regiões áridas e semiáridas a produção agrícola é limitada pelo quesito água, fontes desse recurso são escassos fazendo com que novas alternativas apareçam, sejam pesquisadas e validadas a fim de garantir a sustentabilidade da produção. Segundo Cirelli et al. (2009) o uso de águas residuais, com ou sem tratamento, está aumentando em regiões áridas e semiáridas, pois é um recurso valioso e abundante.

Além da utilização de águas residuais como alternativa para irrigação, proporciona uma série de benefícios ambientais, ocasionado pela diminuição da captação de águas

subterrâneas e a redução de descarga de efluentes diretamente nos corpos hídricos (Muyen et al., 2011).

Em relação aos benefícios econômicos pela utilização de águas residuárias, pode-se destacar a diminuição do uso de água de mananciais, a minimização de áreas de estocagem de efluentes, redução no uso de insumos como fertilizante. Pereira et al. (2011) observaram um aumento de macro e micronutrientes no solo irrigado com água residuária de esgoto doméstico.

Para a aplicação de águas residuárias pela irrigação, a localizada por gotejamento proporciona melhores índices de uniformidade de distribuição, além de minimizar a contaminação da parte aérea da planta e dos colaboradores de campo. O maior problema com o uso da irrigação por gotejamento é o entupimento do emissor (AHMED et al., 2007).

Diversas efluentes são usadas na agricultura irrigada, pesquisas foram realizadas em relação ao potencial de obstrução de tubulações e emissores na irrigação localizada por gotejamento. Batista et al. (2010) aplicação esgoto doméstico tratado, Batista et al. (2013) usaram efluente de suinocultura, Silva et al. (2012) utilizaram efluente do processamento da castanha do caju, Thebaldi et al. (2013) com efluente de abate bovino.

Água residuária de esgoto doméstico tratado

Produção de esgoto

O crescimento populacional acarreta por um aumento no número de domicílios, consequentemente ocorrendo um acréscimo na demanda de água, sendo que cerca de 60 a 80% da água de abastecimento utilizada e descartada como esgoto (Amerasinghe et al., 2013). A demanda média para abastecimento de água urbano para 2015, projeção realizada pela ANA (2010) é de $570 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

O montante de esgotos coletados no Brasil, tanto em área urbana quanto rural, a grande parte são tratados e descartados nos corpos hídricos com níveis aceitáveis de qualidade, no entanto, os efluentes são lançados com alto teor de nutrientes, e poderiam ser utilizados como fonte de fertilizantes e incremento de matéria orgânica no solo, estando disponíveis para o desenvolvimento das culturas no meio agrícola trazendo uma gama de benefícios para o meio e estando disponível durante todo o ano (Roig et al., 2012).

Um estudo realizado por Carr et al. (2011) na Jordânia, revelou que produtores agrícolas reconhecem a disponibilidade de efluentes durante todo o ano, e conhecem os benefícios econômicos de sua utilização na agricultura.

A Índia é outro país que está em alerta com a produção de esgotos em seu território, principalmente por ser o segundo país mais populoso do planeta, segundo Amerasinghe et al. (2013) a quantidade de esgoto produzido na Índia é o suficiente para irrigar uma área de 1,1 milhões de hectares.

Nas águas residuais existem componentes indesejáveis, e podem prejudicar a saúde e o meio ambiente, por isso, a irrigação de águas residuais é uma questão de preocupação para os órgãos públicos responsáveis pela manutenção da saúde pública e da qualidade ambiental. Por diversos motivos, muitos países em desenvolvimento ainda são incapazes de implementar abrangente programas de tratamento de águas residuais, portanto, no curto prazo, gestão de riscos e soluções provisórias são necessárias para prevenir os impactos adversos de irrigação com águas residuais (Qadir et al. 2010).

Tratamento de esgoto

Segundo Von Sperling (2005) o tratamento do esgoto consiste nas seguintes fases: tratamento preliminar; tratamento primário; tratamento secundário; remoção de nutrientes e remoção de organismos patogênicos. O tratamento preliminar consiste em separar sólidos grosseiros, sendo o tratamento de ordem física. O tratamento primário consiste na remoção de poluentes, sólidos em suspensão, sedimentáveis e sólidos flutuantes, também de ordem física. Já no tratamento secundário são realizadas as seguintes etapas: promoção de uma sucessão de reações bioquímicas realizadas por microrganismos para a remoção da matéria orgânica. Tais reações são quantificadas através da averiguação de DBO. Nessa etapa também são removidos os alguns nutrientes por processos bioquímicos, ocorrendo também a eliminação de organismos patogênicos com desinfecção por cloro, ozônio, radiação ultravioleta (UV) e outros.

Após os tratamentos os efluentes devem atender a padrões de qualidade segundo a Resolução CONAMA 357 de 17/03/2005 (MMA 2005) que classifica as águas em doces, salinas e salobras, sendo que para irrigação usa-se a água doce que corresponde a cinco classes, classe especial, classe 1 que podem ser utilizadas em irrigação de alimentos consumidos in natura, classe 2 que podem ser utilizadas em irrigação de frutas, classe 3 que podem ser utilizadas em irrigações de árvores, cereais e forrageiras,

e classe 4 que podem ser destinadas a harmonia paisagísticas. Se o efluente possuir qualidade adequada pode ser utilizados para fertirrigação em diversas culturas.

Em geral o processo de tratamento de águas residuárias consiste em diminuir ou remover os poluentes contidos nelas, onde os principais parâmetros indicadores que permitem caracterizar o esgoto são: sólidos, (Demanda Bioquímica de Oxigênio –DBO, e Demanda Química de Oxigênio – DQO), nitrogênio fósforo e indicadores de contaminação fecal (Bressan et al., 2012).

Silva et al. (2012) compararam o desempenho hidráulico de emissores novos submetidos a irrigação com três sistemas de tratamento de esgoto doméstico, reator UASB associado a uma lagoa de polimento, decanto digestor associado a um filtro digestor e lagoa de estabilização, e filtro digestor associado a uma lagoa de estabilização. Concluíram que o tratamento decanto digestor, associado a um filtro digestor e lagoa de estabilização promoveu o melhor desempenho.

Moura et al. (2011) reduziram significativamente as características físico-químicas do esgoto doméstico utilizando tratamento com tanque séptico, filtro inorgânico e reator solar. Para coliformes total e fecal removeram 99% com 12 h de exposição.

Aplicação da água residuária de esgoto doméstico tratado

Segundo Bressan et al. (2012) a aplicação de águas residuárias pode ser feita com cinco sistemas de irrigação distintos: aspersão, sulcos, inundação, gotejamento e gotejamento subsuperficial, os mesmos autores ressaltam alguns fatores, Tabela 1, que afetam a escolha do sistema e as medidas preventivas.

Tabela 1. Fatores de interferência a escolha para aplicação de águas residuárias

Método de Irrigação	Fatores de escolha	Medidas de proteção
Inundação	Custo Baixo. Sistematização do terreno pode ser necessária.	Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas.
Sulcos	Custo Baixo. Nivelamento pode ser necessário.	Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas.
Aspersão	Eficiência média do uso da água. Não há necessidade de nivelamento.	Algumas culturas, principalmente árvores frutíferas são excluídas. Distância mínima de 100 metros de casas e estradas
Subsuperficial e localizada	Custos elevados. Elevada eficiência do uso da água. Alta produtividade agrícola.	Filtração para evitar entupimento dos orifícios

Fonte: Bressan et al. (2012)

Dentre os sistemas de irrigação, apesar do custo ser elevado, a irrigação localizada por gotejamento é indicada por oferecer elevada eficiência de distribuição e se trata de um método que minimiza a contaminação das culturas e dos colaboradores de campo (Feitosa et al., 2011).

Por outro lado há risco de entupimento dos emissores, as obstruções podem ser: obstrução física, causada pela suspensão de partículas inorgânicas (sedimentos, areia, argila) e materiais orgânicos (resíduos animais, vegetais, etc). E podem ser microbiológico (algas, protozoários, etc); materiais físicos são muitas vezes combinados com limos bacterianos (Liu& Huang, 2009).

A aplicação do esgoto sanitário no solo via irrigação proporciona o aproveitamento de elementos nutricionais para o cultivo. Em relação à contaminação do solo, Souza et al. (2011) constataram a ausência de risco para o homem em relação a coliformes termotolerantes na irrigação com esgoto não tratado, na qual a carga de contaminantes é superior.

Obstrução de emissores

Obstrução físico-química

A obstrução física é originada a partir de partículas não retidas no sistema de filtragem, também por precipitações químicas no interior da tubulação. A existência de partículas em suspensão na água de irrigação é tida como a maior causa de entupimento (LI et al., 2011). Silva et al (2011) os principais inimigos dos emissores e tubulações são os íons ferro e manganês e a altas concentrações de sólidos solúveis.

Silva et al. (2011) pesquisaram o desempenho da aeração, decantação e filtragem para a prevenção do entupimento de gotejadores, e constataram redução do risco de entupimento, além disso os níveis de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e teores de Fe^{+2} e Fe^{+3} praticamente não variaram no sistema de tratamento, mas o mesmo reduziu significativamente a turbidez e as concentrações de sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, ferro total e Mn total, melhorando a qualidade da água pelo uso do sistema proposto.

Para Busato & Soares (2010) a água utilizada para caracterizar o desempenho dos gotejadores encontravam-se nos padrões desejados, exceto o elemento Ferro, proporcionando reduções na uniformidade estatística de até 28,35% em 700h de funcionamento.

Ribeiro et al, (2010) não observaram elevado entupimento com relação à aplicação de fontes de potássio, principalmente dos cloretos de potássio branco e vermelho, porém ressalva a importância de não conter outros elementos na composição de tais fontes.

Obstrução Biológica

Segundo Batista et al. (2010), o esgoto doméstico tratado tem potencial para obstrução de gotejadores; o causador é o biofilme, um resultante da interação entre colônias de bactérias e algas, ocasionando entupimento parcial ou total dos emissores, acarretando perda de eficiência de distribuição.

Souza & Moreira (2012) também concluíram que a formação de biofilme é a principal causa de obstrução de gotejadores nos conjuntos de irrigação, em estudos houve elevada redução na uniformidade de aplicação de esgoto sanitário nos sistemas de irrigação abastecidos com esgoto sanitário primário (ESP), secundária (ESS) e terciário (EST), tais reduções foram maiores nos sistemas de irrigação que operam com ESP e EST, em virtude da maior concentração de sólidos suspensos.

Segundo Albuquerque et al. (2014) a matriz extracelular do biofilme é produzido pelos próprios microrganismos, esta matriz polimérica é conhecida como Extracellular Polymeric Substance (EPS), constituído por polissacarídeos, proteínas, exoenzimas, ácidos nucleicos e lípidos, que permitem imobilizar as células do biofilme, mantendo o biofilme coesivo.

Acumulação de biofilme é geralmente observado nas áreas com baixa velocidade e tensão de cisalhamento de vias de fluxo em gotejadores não autocompensantes, antes de colonizar a superfície inteira do percurso, também fragmentos do biofilme desprendidos da parede da tubulação pode também provocar o entupimento, mediante depósito em outras partes do labirinto e bloquear o fluxo (Gamri et al., 2014).

Batista et al. (2011) igualmente utilizaram esgotos primário, secundário e terciário para o abastecimento de conjuntos de irrigação por gotejamento, e concluíram que a presença de coliformes totais e ferro no esgoto, conferiram risco severo de entupimento.

Influência das características dimensionais dos emissores e projetos

As características dimensionais dos emissores e de projeto interferem na obstrução, como também posicionamento, características topográficas, irrigação superficial e subsuperficial, pressão de entrada e como já visto a qualidade da água.

LI et al. (2012) aplicando água residuária em sistemas de irrigação por gotejamento, utilizando emissor tipo labirinto, concluíram que a inclinação na linha lateral afeta o entupimento dos emissores, ou seja, as condições topográficas do terreno podem afetar na forma e na espacialidade do entupimento dos sistemas de irrigação por gotejamento.

Segundo Ribeiro et al. (2012) a arquitetura interna dos gotejadores é fator determinante na caracterização do processo de entupimento, em relação ao posicionamento, os gotejadores são suscetíveis ao entupimento quando posicionados para baixo.

Gotejadores com maior comprimento de labirinto foram os mais suscetíveis ao entupimento quando da aplicação de esgoto sanitário tratado (Batista et al. 2008).

Em tubos gotejadores do tipo labirinto, existe uma complexa estrutura do canal condutor, na qual a alta pressão da água é dissipada e posteriormente flui pelo emissor, portanto a qualidade da irrigação de um sistema por gotejamento é verificada pelo desempenho hidráulico do emissor (Patil et al., 2013).

No processo de fabricação dos emissores variabilidades também são fontes de distúrbios de pressão e vazão quando instalados, com isso o coeficiente de variação emissor sob a taxa de fluxo é um importante parâmetro que reflete a qualidade da fabricação, porém mesmo esse parâmetro de fabricação deve ter correções, calculando a incerteza sobre o coeficiente no processo de coleta de dados manual e automático (Zhao et al., 2014).

Monitoramento da obstrução

Vazão e uniformidade de distribuição

A uniformidade de distribuição é fundamental na avaliação do desempenho de sistemas de irrigação, sendo que a utilização do coeficiente correto torna-se fator decisivo (Cunha et al., 2014), também os autores concluíram que os coeficientes quando comparado entre si, dos maiores para os menores percentuais de variabilidade da vazão superficialmente, apresentaram a seguinte classificação: Coeficiente de uniformidade absoluta (CUA), Christiansen (CUC), estatístico (Us), Hart (CUH), eficiência padrão (UDH) e de distribuição (CUD).

Segundo Camargo et al. (2014) o entupimento em linhas laterais podem ser conseguida através da medição de apenas dois parâmetros hidráulicos: taxa de fluxo e da perda de carga ao longo da lateral ou pressão na extremidade da lateral, se a pressão

de entrada é regulada. A taxa de fluxo permite estimar o grau de entupimento, enquanto que a perda de carga facilita a aproximação da localização de uma obstrução na lateral.

A distribuição de água pelo sistema de irrigação quando realizado os cálculos de uniformidade, não levam em consideração a distribuição espacial de água no solo, que são influenciados por diversos fatores, como por exemplo camada de palha, diferença de altitude, tempo e outros fatores (Miller et al., 2014).

Diversos autores e institutos obtiveram classificações do sistema de irrigação conforme o obtido pelos coeficientes de uniformidade. Classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição ASABE (1996), coeficiente de variação de uso dos emissores segundo ASABE (2008), uniformidade estatístico segundo Favetta & Brotel (2001), coeficiente de uniformidade de Chirstiansen segundo Bernardo et al. (2006).

Na Tabela 2 a classificação do sistema segundo os valores obtidos do CUD segundo ASABE (1996).

Tabela 2. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD

CUD (%)	Classificação
> 90	Excelente
75-90	Bom
62-75	Regular
50-62	Ruim
< 50	Inaceitável

A classificação do CVq segundo a ASABE (2008). (Tabela 3). Para a ABNT/NBR ISO 926:2006 não são aceitos valores de CVq superiores a 7%.

Tabela 3. Classificação do sistema de irrigação para valores obtidos do CVq segundo ASABE (2008)

Tipo de emissor	CV(%)	Classificação
	< 5	Excelente
	5 a 7	Médio
Emissores com saída pontual	7 a 11	Marginal
	11 a 15	Deficiente
	> 15	Inaceitável

A classificação do sistema para valores obtidos da Us segundo Favetta & Brotel (2001) estão demonstrados na Tabela 3.

Tabela 4. Classificação de Uniformidade estatística (Us)

Us (%)	Classificação
> 90	Excelente
80 a 90	Muito Bom
70 a 80	Regular
60 a 70	Péssimo
< 60	Inaceitável

Na Tabela 5 a classificação do sistema para o cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) segundo Bernardo et al. (2006).

Tabela 5. Classificação do sistema para obtenção da uniformidade de distribuição de Christiansen (CUC)

CUC	Classificação
Excelente	> 90%
Bom	80 - 90%
Regular	70 - 80%
Ruim	60 - 70%
Inaceitável	< 60%

Controle estatístico de qualidade

Michel & Fogliatto (2002) concluíram que as cartas de controle estatístico vêm sendo usadas com sucesso no monitoramento do desempenho de processos industriais, também explicam sobre as medições espaçadas no tempo, cada medição comparam-se o resultado obtido com limites de controle, medidas que estão fora do controle indicam a presença de causas especiais de variabilidade, anomalias no processo prejudicando a qualidade do produto.

Montgomery (2009) reforça que o gráfico de controle estatístico é uma técnica de monitoramento do processo muito útil, quando fontes usuais de variabilidade estão presentes, as médias amostrais serão plotadas fora dos limites de controle, isto é uma necessidade de investigação do processo e que alguma correção deve ser tomada para a remoção dessas fontes de variabilidade. O monitoramento na saída do processo e detectar quando são necessárias mudanças nas entradas e trazer o processo de volta para um estado de sob controle.

Os Gráficos de Shewhart são uma das principais ferramentas deste tipo de estatística, que tem como princípio contrastar amostras individuais ou o valor médio de um grupo de observações, segundo Infante & Dias (2006) os gráficos de Shewhart, introduzidos

por volta de 1930, continuam ser umas das ferramentas mais utilizadas no controle de qualidade, para sua utilização é necessário ter em conta três aspectos fundamentais, os instantes de amostragem, os tamanhos da amostra e os limites de controle.

O controle estatístico de processo está ganhando novas aplicações, Lima et al. (2006) trabalharam na indústria farmacêutica e constataram que é uma das mais poderosas ferramentas desenvolvida visando auxiliar no controle eficaz da qualidade. Podem detectar desvios de parâmetros representativos no processo, reduzindo a quantidade de produtos fora das especificações e com isso os custos da produção. Ainda reforçam que o controle é pouco utilizado na indústria farmacêutica e não existem publicações, mas que as aplicações desta ferramenta provam sua grande importância para a compreensão dos processos que envolve a obtenção de medicamentos.

Segundo Milan & Fernandes (2002), essa estatística é largamente aplicado nas indústrias, mas tem grande potencial de utilização na agropecuária, eles analisaram os efeitos da utilização do controle de qualidade em operações agrícolas de preparo do solo para a cultura do milho, utilizando como ferramenta o controle estatístico de qualidade, e constataram que foi viável e adequado ao sistema de produção.

O índice de capacidade de processo (ICP) é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto o processo consegue atender às especificações, sendo que quanto maior o seu valor melhor o processo consegue atender às exigências, ele depende principalmente das próprias especificações e da variabilidade do processo. A falta de estabilidade do processo reduz sua capacidade e aumenta o número de itens não conforme produzidos (Costa et al., 2004).

Montgomery (2009) demonstra que a razão da capacidade de um processo é uma medida da habilidade do processo fabricar um produto que atenta às especificações, também reforça que os valores mínimos recomendados da razão da capacidade do processo, em que para as especificações unilaterais temos processos existentes com Cpk de 1,25, processos novos, de segurança, força ou parâmetro crítico, processo existente obtém uma faixa de entre 1,45 e 1,60, já para processos novos obtém um Cpk de 1,60.

O controle de qualidade pode ser aplicado no processo da irrigação para revelar pequenas variações e proporcionar tomadas de decisões baseada em um controle do processo em geral. No monitoramento em relação a obstrução dos tubos gotejadores, a estatística de controle de qualidade necessita de maiores pesquisas e determinar metodologias para tal função.

Desobstrução

A maioria das pesquisas é vinculada a algum tratamento químico e meios físicos de desobstrução, como Teixeira et al. (2008) utilizaram cloro livre a $10,0 \text{ mg L}^{-1}$, a $50,0 \text{ mg L}^{-1}$, e obtiveram melhores resultados com a $50,0 \text{ mg L}^{-1}$. Cararo & Botrel (2007) usaram para a desobstrução do sistema cloro residual livre a $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ e ar comprimido com pressão de entrada de 196 kPa em diversos gotejadores, e os resultados indicaram melhor capacidade de desobstrução para o cloro residual livre a $0,5 \text{ mgL}^{-1}$ com gotejadores autocompensante.

Segundo Şahin et al. (2005) as estirpes bacterianas podem ser utilizadas como agentes antiobstrução para o tratamento de emissores em sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na agricultura e no paisagismo, com isso pode reduzir ou totalmente eliminar a necessidade de aplicações químicas consecutivas no tratamento de desobstrução do emissor; destacaram que essas cepas podem ter o potencial para ser utilizada não só para a limpeza de biologicamente emissores obstruído, mas também para o controle biológico de microrganismos patogênicos que provocam doenças em plantas regada com sistemas de irrigação por gotejamento.

Em sistemas de irrigação operados com água de má qualidade, periodicamente deve-se avaliar a uniformidade de aplicação para obter informações sobre a distribuição de água, assim, medidas de prevenção pode ser aplicadas quando necessário. Martins et. al. (2010) submeteram um tubo gotejador a irrigação com água ferruginosa, ou seja, quando teores de ferro inadequados, e utilizaram medidas preventivas com cloro orgânico e abertura e finais de linha. Os resultados mostraram que o tubo gotejador funcionou satisfatoriamente por longo período.

Medidas preventivas foram testadas por Batista et al. (2005), acidificando e aplicando cloro residual livre em esgoto sanitário de maturação . Houve redução na formação de biofilme internamente na tubulação e emissores. Gamri et al. (2014) constataram o enfraquecimento do biofilme com a variação de pressão.

CONCLUSÃO

A utilização do esgoto doméstico tratado da agricultura irrigada é alternativa de fonte hídrica abundante e perene, proporcionando melhorias ambientais e aporte de adubação no solo, entretanto quando aplicada via irrigação localizada por gotejamento, há risco de entupimento decorrente da má qualidade da água, fatores dimensionais e características

do emissor. O monitoramento da qualidade e uniformidade de distribuição deve ser realizado, a fim de obter tomada decisão referente à aplicação de produtos ou processos para a melhoria das características de aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, B. A. O.; Yamamoto, T.; Fujiyama, H.; Miyamoto, K. Assessment of emitter discharge in microirrigation system as affected by polluted water. *Irrigation Drainage System*, v. 21, p. 97-107, 2007.
- Albuquerque, A. C.; Andrade, C.; Neves, B. Biocorrosão – da integridade do biofilme à integridade do material. *Corrosão e Protecção de Materiais*, v. 33, p. 18 - 23, 2014.
- Alobaidy, H. M. J.; AL-Sameraiy, M. A.; Kadhem, A. J.; Majeed, A. A. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. *Journal of Environmental Protection*, v.1. p.216-225, 2010.
- Amerasinghe, P.; Bhardwaj, R.M.; Scott, C.; Jella, K.; Marshall, F. Urban wastewater and agricultural reuse challenges in India. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI), Research Report 147. p.36. 2013.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, p. 792-7. 1996.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Design and installation of micro irrigation systems. St. Joseph, 6 p. 2008.
- ANA, Agência Nacional de águas, Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Engecorps/cobrape - Brasília, v. 2, 2010.
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Matos, A. T.; Mantovani, E. C. Efeito do efluente de lagoa de maturação em gotejadores com e sem tratamento químico, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.62-65, 2005.
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Souza, J. A. R.; Batista, R. O. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado. *Engenharia na Agricultura*. V.16, P. 369-377, 2008.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação, *Revista Ceres*, v,57, p. 018-022, 2010.
- Batista, R. O.; Costa, F. G. B.; Lopes, H. S. S.; Coelho, D. C. L.; Paiva, M. R. F. C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de

- sistemas de irrigação por gotejamento. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 24, p. 137-144, 2011.
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A.; Santos, D. B.; Oliveira, A. F. M.; Azevedo, C. A. V.; Medeiros, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.17, p.698–705, 2013.
- Bernardo, S; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, p.625, 2006.
- Bos, M. G.; Bosch H. V. D.; Diemont, H.; Keulen, H. V.; Lahr, J.; Meijerink G.; Verhagen A. Quantifying the sustainability of agriculture. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 21, p.01-15, 2007.
- Bernardo, S; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 2006. p.625.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário oficial da União*, 18 de março de 2005.
- Bressan, D. F., Pereira, F. F. S., Ornellas, M., Alves, M. C. G., Lozano, M. R. L. O reuso de água na agricultura: teorias e práticas. In: OLIVEIRA, E. L. Manual de utilização de águas residuárias em irrigação. Editora Fepaf, Botucatu, SP, ed. 1, 120p, 2012.
- Busato, C. C. M.; Soares, N. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Biosci. J.*, v. 26, p. 739-746, 2010.
- Camargo, A. P.; Molle, B.; Tomas, S.; Frizzone, J. A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. *Irrigation Science*, v. 32, p. 181 - 191, 2014.
- Cararo, D. C.; Botrel, T. A. Uso de cloração e ar comprimido no controle do entupimento de gotejadores ocasionado pela aplicação de água residuária. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, p. 336-345, 2007.
- Carr, G., Potter, R. B., Nortcliff, S. Water reuse for irrigation in Jordan: Perceptions of water quality among famers. *Agricultural Water Management*, v. 98, p.847-854, 2011.

- Christofidis, D. Os efeitos multiplicadores da agricultura irrigada. *Revista Item*, Brasília, v. 82, 2009.
- Cirelli, A. F.; Arumí J. L.; Rivera D.; Boochs P. W. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid. *Chilean Journal Agricultural. Research*, v. 69, p. 27 - 40, 2009.
- Costa, A. F. B.; Epprescht, E. K.; Carpinetti, L. C. R. Controle estatístico de qualidade. São Paulo: Atlas, 2004.
- Cunha, F. N.; Silva, N. F.; Teixeira, M. B.; Carvalho J. J.; Moura L. M. F.; Santos C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, p. 444 - 454, 2014.
- Favetta, G. M.; Botrel, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. *Scientia Agricola*, v.58, p.427-430, 2001.
- Feitosa, A. P.; Lopes, H. S. S.; Batista, R. O.; Costa, M. S.; Moura, F. N., Avaliação do desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro, *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v.8, p. 196-206, 2011.
- Gamri, S.; Soric, A.; Tomas, S.; Molle ,B.; Roche, N. Biofilm development in micro-irrigation emitters for wastewater reuse. *Irrigation Science*, v. 32, p. 77 - 85, 2014.
- Infante, P.; Dias, J. R. Carta X com Amostras de Tamanho Variável: Um Novo Procedimento Dinâmico. *Investigação Operacional*, Lisboa, v. 26, p.45-63, 2006.
- Li, Y. K.; Liu, Y. Z.; Li, G. B.; Xu, T. W.; Liu, H. S.; Ren, S. M.; Yan, D. Z.; Yang, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. *Irrigation Science*, v. 30, p. 43-56, 2012.
- Lima, A. A. N., Lima, J. R., Silva, J. L., Alencar, J. R. B. Soares Sobrinho, J. L., Lima, L.G., Rolim Neto, P. J. Aplicação do controle estatístico de processo na industria farmacêutica. *Revista Ciência Farmacêutica Básica Aplicada*, v. 27, p.177-187, 2006.
- Liu, H.; Huang, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 96, p.745-756, 2009.
- Martins, C. C.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Reis, E. F. Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubo gotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa utilizado na irrigação com água ferruginosa. *Maringá*, v. 32, p. 01 - 05, 2010.
- Michel, R. & Fogliatto, F. S. Projeto econômico de cartas adaptativas para monitoramento de processos. *Gestão e Produção*, v.9, p. 17-31, 2002.

- Milan, M., Fernandes, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo, *Scientia Agricola*, v.59, p.261-266, 2002.
- Miller, G. L.; Dukes, M. D.; Pressler, N. D. Golf Course Irrigation Systems' Distribution Uniformity Affects Soil Moisture Variability. *European Journal of Horticultural Science*, v. 79, p. 135 - 141, 2014.
- Montgomery, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.
- Moura, F. N.; Batista, R. O.; Silva, J. B. A.; Feitosa, A. P.; Costa, M. S. Desempenho de Sistema para Tratamento e Aproveitamento de Esgoto Doméstico em Áreas Rurais do Semiárido Brasileiro, *Engenharia Ambienta - Espírito Santo do Pinhal*, v.8, p.264-276, 2011.
- Muyen, Z.; Moore, G. A.; Wrigley, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*. V. 99, p 33-41, 2011.
- Patil, S. S.; Nimbalkar, P. T.; Joshi, A. Hydraulic Study, Design & Analysis of Different Geometries of Drip Irrigation Emitter Labyrinth. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, v. 2, p. 455 - 462. 2013.
- Pereira, B. F. F.; He, Z. L. ; Stoffella, P.J.; Melfi, A. J. Reclaimed wastewater: effects on citrus nutrition. *Agricultural Water Management*. v 98, p.1828-1833, 2011.
- Qadir, M.; Wichelns, D.; Raschid-Sally, L.; McCornick, P.G.; Drechsel, P.; Bahr, A.; Minhas, P.S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*, v. 97, p. 561–568, 2010.
- Ribeiro, P. A. A.; Coelho, R. D.; Teixeira, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.30, p.279-287, 2010.
- Ribeiro, P. A. A.; Teixeira, M. B.; Coelho, R. D.; Franco E. M.; Silva, N. F.; Carvalho, L. C. C.; Alves, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. *Irriga, Edição Especial*, p. 368 - 379, 2012.
- Roig, N., Sierra, J., Martí, E., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo J. L.. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 158, p. 41-48, 2012.

- Şahin, Ü.; Anapali, Ö.; Dönmez, M. F.; Şahin, F. Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *Journal of Environmental Management*, v.76, p.338-341, 2005.
- Silva, E. R.; Zanini, J. R.; Cazetta, J. O.; Ferraudo, A. S.; Lemos, Filho M. A. F. Uniformidade de distribuição de água em irrigação localizada com sistema de aeração, decantação e filtração. *Científica, Jaboticabal*, v.39, p.7-17, 2011.
- Silva, I. N.; Fontes, L. O.; Tavella, L. B.; Oliveira, J. B.; Oliveira, A. C. Qualidade de água na irrigação, *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.07, p.01-15, 2011.
- Silva, K. B.; Batista, R. O.; Silva, S. K. C.; Dias, N.S.; Costa, M. S.; Efeito de distintas pressões de serviço na determinação da vazão em sistemas de irrigação por gotejamento operando com efluente do processamento da castanha de caju. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.8, p. 89-96, 2012.
- Silva, L. P.; Silva, M. M.; Correa, M. M.; Souza, F. C. D.; Silva, Ê. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. v.16, p.480-486, 2012.
- Souza, J. A. A.; Batista, R. O.; Ramos, M. M.; Soares, A. A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Maringá*, v. 33, p. 05-08, 2011.
- Souza, J. A. R.; Moreira, D. A.; Efeitos da aplicação de esgoto sanitário submetidos a diferentes níveis de tratamento em sistemas de irrigação localizada. *Engenharia Ambiental -Espírito Santo do Pinhal*, v. 9 , p. 145-158, 2012.
- Teixeira, M. B.; Melo, F. R.; Coelho, R. D.; Neto, R. O.; Aguiar Ribeiro P. A. Tratamento para desentupimento de gotejadores convencionais. *Irriga, Botucatu*, v. 13, p. 235-248, 2008.
- Thebaldi, M. S.; Rocha, M. S.; Sandri, D.; Felisberto, A. B.; Neto, S. A. Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. *Irriga*, v. 18, p. 212-222, 2013.
- Von Sperling, M. Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Editora UFMG, Belo Horizonte, MG, ed. 3, 452p, 2005.
- Zhao, H.; Xu, D.; Gao, B. Uncertainty assessment of measurement in variation coefficient of drip irrigation emitters flow rate. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, v. 63, p. 805 - 812, 2014.

**CAPÍTULO 2. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE TUBOS
GOTEJADORES COM ÁGUA DE ABASTECIMENTO E ESGOTO
DOMÉSTICO TRATADO**

RESUMO: A escassez de água de boa qualidade em regiões áridas e semiáridas estimula a utilização de fontes hídricas alternativas para a irrigação, tais como a do esgoto doméstico tratado. Assim, buscou-se determinar as características hidráulicas de três tubos gotejadores do tipo labirinto, usados no Semiárido Brasileiro, com água de abastecimento (AB) e água residuária (AR) de esgoto doméstico tratado, seguindo a norma técnica Brasileira ABNT/NBR ISO 926:2006. As avaliações foram realizadas no Instituto Nacional do Semiárido na cidade de Campina Grande estado da Paraíba. Foi realizado um delineamento em esquema fatorial de desdobramento 2 x 3 x 6, fator água (AB e AR), fator tubo gotejador (G1, G2 e G3) e fator pressão com seis níveis, com três repetições. Foram calculadas as equações características dos emissores e o Coeficiente de Variação, esse por sua vez submetido à análise de variância e teste de comparação de médias Tukey. Não houve diferença nas características hidráulicas dos tubos gotejadores testados com AR e AB, sendo assim os dados fornecidos pelo fabricante podem ser considerado no dimensionamento de sistemas que operam com esgoto doméstico tratado. Não se houve diferença significativa entre as pressões utilizadas, logo, recomenda-se operação com pressões maiores visando reduzir o risco de entupimento.

PALAVRAS-CHAVE: curva característica, expoente de descarga, água residuária

**FEATURES PHYSICAL AND CHEMICAL AND MATERIAL
MICROBIOLOGICAL CAUSE OF OBSTRUCTION IN TUBES DRIPPERS**

ABSTRACT: Water is scarcity in arid and semiarid regions, than encourages the use of alternative water sources for irrigation, such as the treated sewage. Thus, the objective this work was to determine to the hydraulic characteristics of three dripline of the labyrinth, used in Brazilian semiarid, with water supply (AB) and wastewater (AR) of treated domestic sewage, following the Brazilian Technical Standard ABNT / ISO 926 : 2006. The evaluations were performed at the National Institute of Semiarid in the city of Campina Grande Paraíba state. This was a design with factorial arrangement of split 2 x

3 x 6, water factor (AB and AR), dripline factor (G1, G2 and G3) and pressure factor with six levels, with three replications. Were calculated the sender characteristic equation and the coefficient of variation, this in turn subjected to analysis of variance and mean comparison Tukey test. No there was differences in the hydraulic characteristics of the dripline tested with AR and AB, noting not influence the type of water, this way the use of data from manufacture can to be used to design working with wastewater. There was no significant difference between the pressures used, so higher pressures with less risk of clogging are recommended.

KEYWORDS: characteristic curve, discharge exponent, wastewater

INTRODUÇÃO

Nas regiões semiáridas a escassez de água estimula a busca por fontes hídricas alternativas, como as águas residuárias, as quais proporcionam melhorias ambientais e sendo apropriadas para a irrigação. Segundo Cirelli et al. (2009) a água residuária é um recurso valioso e abundante, e seu uso esta aumentando em regiões áridas e semiáricas com ou sem tratamento. O esgoto doméstico tem disponibilidade dia a dia, e após um tratamento prévio pode ser utilizado para fins agrícolas através da irrigação.

A reutilização de efluentes segundo Alobaidy et al. (2010) pode contribuir para suprir a demanda de água, principalmente em áreas semiáridas, todavia, ainda se faz necessário uma pesquisa mais intensiva sobre os constituintes orgânicos e tóxicos em águas residuais para recomendar sua utilização. Em relação ao uso de efluentes nos sistemas de irrigação, a problemática se encontra no risco de obstrução e modificações no desempenho hidráulico, comprometendo projetos, eficiência de aplicação e durabilidade dos equipamentos.

A água de má qualidade utilizada na irrigação refere-se a elementos e microrganismos de potencial elevado para a modificação das características de vazão de um emissor. Batista et al. (2011) comprova, em estudos realizados em irrigações com esgoto doméstico tratado, que o risco severo de obstrução de dá principalmente com a presença de coliformes totais e ferro, afetando a qualidade da irrigação.

O desempenho dos sistemas é afetado no decorrer do funcionamento com a ação dos microrganismos e o acúmulo de elementos químicos que agem no interior do emissor, comprometendo as características hidráulicas. Diferentes tempos de funcionamento foram estudados a fim de caracterizar a obstrução de diferentes tubos gotejadores.

Busato & Soares (2010) identificaram problemas com obstrução em 700h de funcionamento utilizando água com teores de ferro elevados na irrigação por gotejamento.

As características hidráulicas dos emissores na irrigação por gotejamento tem relação direta com a uniformidade de distribuição do sistema e a qualidade da irrigação. Segundo Patil et al. (2013) a qualidade do emissor tem efeito importante não só sobre a confiabilidade e a vida útil do sistema, como também sobre a complexa estrutura do canal condutor, na qual a alta pressão da água é dissipada e posteriormente flui pelo emissor. Portanto, a qualidade da irrigação de um sistema por gotejamento é verificada pelo desempenho hidráulico do emissor.

A aplicação de água residuárias na agricultura, principalmente de esgoto doméstico, tem maior utilização em sistemas de irrigação localizada, por se tratar de uma distribuição uniforme, com menores índices de contaminação da cultura e dos trabalhadores que manuseiam e controlam o sistema.

As características de vazão dos emissores devem ser estudadas com o objetivo de proporcionar garantia de dimensionamentos corretos e projetos bem efetuados. Dessa forma, a partir desses problemas, buscou-se a caracterizar a hidráulica de três tubos gotejadores com água de abastecimento (água de boa qualidade) e esgoto doméstico tratado.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O experimento foi realizado na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB (Figura 1), com coordenadas geográficas 7° 16' 20'' S e 35° 56' 29'' O, e uma altitude de 550 m. A Classificação de Koeppen para o clima da região, é tropical com chuvas de outono e períodos de seca no restante do ano, denominado *As*.

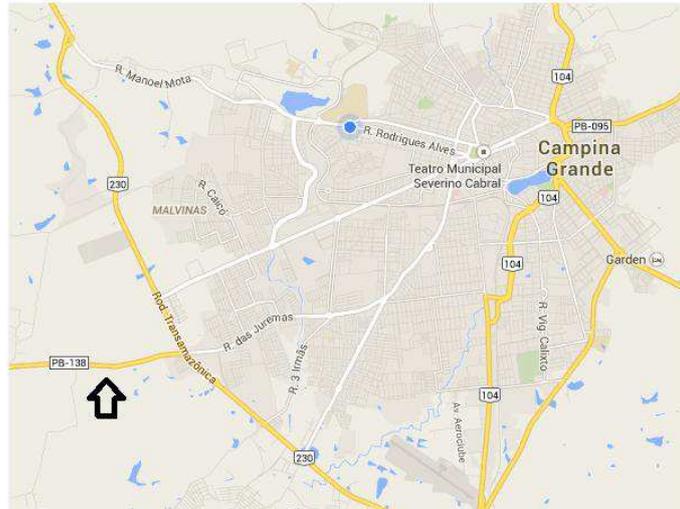


Figura 1. Localização do INSA na cidade de Campina Grande

A água de abastecimento (AB) utilizada foi a fornecida pela companhia de água e esgoto da Paraíba (CAGEPA). A água residuária (AR) utilizada decorre da estação de tratamento de esgoto (ETE) proveniente dos despejos de todo o instituto.

Fatores de estudo e delineamento experimental

O delineamento experimental consistiu em um esquema fatorial orientado de desdobramento com três fatores, fator água em dois níveis (AR e AB), fator tubo gotejador em três níveis e fator pressão com 7 níveis.

Em relação às pressões utilizadas, segundo a ABNT/NBR ISO 926:2006 elas não devem haver um intervalo superior a 50 kPa entre a pressão 0 até $1,2 P_{\text{máx}}$ (pressão máxima), sendo no mínimo quatro valores de vazão em quatro pressões.

Foram escolhidos sete pressões para cada tubo gotejador, sendo o intervalo entre as pressões equidistante entre $P_{\text{mín}}$ (Pressão mínima) e $1,2 P_{\text{máx}}$, porém incluindo a $P_{\text{máx}}$. No Tabela 1 as pressões utilizados para a obtenção da curva característica de cada tubo gotejador.

Tabela 6. Pressões utilizadas para a obtenção da curva característica dos três tubos gotejadores

Pressão	G1	G2	G3
	kPa		
P1	60	50	100
P2	70	100	140
P3	80	150	180
P4	90	200	220
P5	100*	250	260
P6	110	300*	300*
P7	120	360	360

* Pressão máxima

As variáveis resposta foram o Coeficiente de Variação de uso (CVq) Eq. 1, e a equação característica do emissor, Eq. 2.

Coeficiente de Variação de uso (CVq)

$$CVq = \frac{S_{usado}}{q_{usado}} 100 \quad (1)$$

Em que:

S_{usado} - Desvio padrão da vazão dos gotejadores quando usados, $L.h^{-1}$

q_{usado} - Vazão média dos gotejadores quando usados, $L.h^{-1}$.

A curva característica do emissor, ou também chamada de equação geral dos emissores, caracteriza o comportamento da vazão do emissor em função da pressão e do regime de escoamento caracterizado pelo expoente de descarga.

$$q = K . h^x \quad (2)$$

Em que:

q - Vazão ($L.h^{-1}$)

K - coeficiente de proporcionalidade

h - Pressão de Serviço (kPa)

x - expoente de descarga.

Para a variável resposta CV foi realizado análise de variância para três fatores (água, tubo gotejador e pressão de entrada) e conseqüentemente teste Tukey a 5% de significância. O software Minitab® 16 foi o utilizado para as análises estatísticas.

Descrição do experimento

Estação de tratamento

A água residuária (AR) originada do esgoto doméstico tratado (EDT) utilizado na experimentação advém de uma ETE em operação com o esgoto produzido no INSA.

A ETE é composta primeiramente por um tanque séptico, que são câmaras fechadas com o intuito de deter o esgoto por um período de tempo estabelecido, para sedimentar as partículas sólidas decantáveis naturalmente bem como o material graxo contido.

O filtro é formado por um leito de brita nº 5, contido um tanque de seção retangular, com fundo falso para facilitar o fluxo ascendente do efluente da unidade de tratamento anterior.

O processo de tratamento desenvolve-se pela atuação da camada biológica anaeróbia formada na superfície das pedras britadas. A percolação através dos espaços da “camada filtrante” permite que a matéria orgânica na forma coloidal seja “captada” pela massa de bactérias ancoradas na superfície da brita e seja transformada em material biodegradado, na forma inerte, mineral ou endógeno.

Tubos gotejadores

Para os ensaios foram utilizados três tubos gotejadores, com emissores do tipo labirinto não autocompensantes. Esse modelo de gotejador é ao entupimento devido ao longo percurso pelo qual o fluido passa, ocorrendo perdas de energia a fim de uniformizar a descarga.

Os tubos escolhidos foram o modelo Stremline 16080, marca Netafim, vazão nominal de $1,60 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa com espaçamento entre emissores de 0,30m, dimensões do labirinto de 0,66, 0,55 e 13 mm para largura, profundidade e comprimento respectivamente. Modelo taldrup, da marca Naadanjain $1,70 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,20 m. Modelo tiran 16010, marca Netafim $2,00 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,40 m, com labirinto de 0,76, 1,08 e 75 mm. Foram renomeados como G1, G2 e G3, são tubos gotejadores utilizados largamente no Semiárido Brasileiro.

Bancada de ensaios

A bancada de ensaios foi construída na parte superior da estação de tratamento, para facilitar o retorno da AR e AB através de calhas para o sistema de armazenagem do EDT localizadas em cotas abaixo da ETE e conseqüentemente da bancada de ensaios.

O sistema de armazenagem possuía reservatórios para AR e AB, por meio de combinação de registros o sistema de bombeamento pressurizava as águas no tubo gotejador em teste. O sistema possui um cabeçal de controle com filtro de disco 120 mesh, registro de abertura, hidrômetro, manômetro de glicerina e controlador de pressão para o controle da pressão de entrada.

A bancada possuía 10,00 m de comprimento, esse tamanho contemplava vinte e cinco emissores do tubo gotejador G3, que possui o maior espaçamento entre emissores. A largura era de 2,00 m, sendo que, para o experimento foi utilizada apenas a primeira ondulação da calha de retorno da AR, de 0,30 m. Na Figura 2 é possível observar o corte longitudinal da bancada, cabeçal de controle, sistema de bombeamento e reservatório armazenagem.

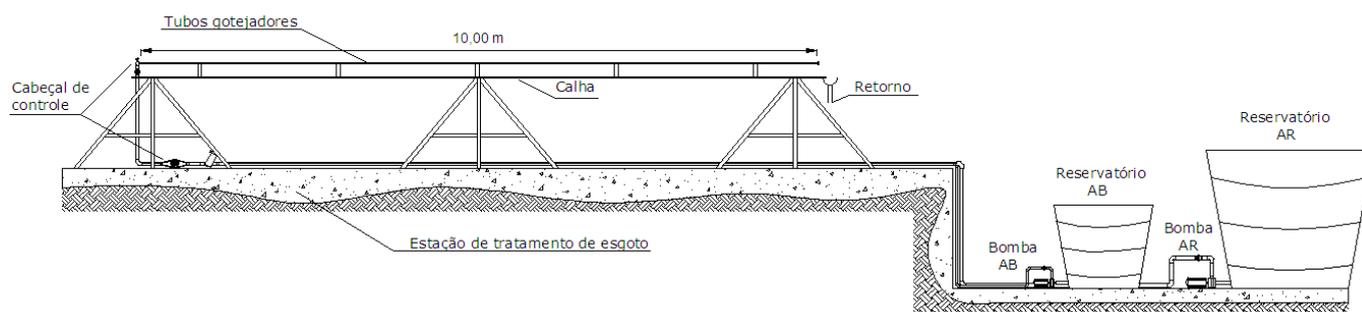


Figura 2. Corte longitudinal da bancada experimental, cabeçal de controle, sistema de armazenagem e bombeamento.

Condução do experimento

Os ensaios foram realizados entre os dias 23/04 a 30/04/2014, vazões no período noturno, devido à temperatura ambiente e da água registrada a campo durante o dia ser superior à determinada pela ABNT/NBR ISO 926:2006 para experimentos com emissores.

Segundo a NBR para ensaios de emissores, vazão em função da pressão de entrada, a temperatura de ar ambiente e da água deve estar entre 20 e 26 °C, o número de amostras deve ser no mínimo de 25 e o CV não pode exceder 7%.

Como preconiza a NBR, depois do alcance da pressão desejada deve-se medir (auxílio de proveta) o volume por um tempo mínimo de 3 min e posteriormente calcular vazão média em Lh^{-1} . Todos os ensaios realizados seguiram fielmente a resolução NBR, aumentando o tempo de coleta do volume para 4 min.

Como visto o tubo gotejador G3 tem vinte e cinco emissores em cada linha lateral na bancada de ensaios, considerando que esse número é o mínimo necessário para a realização do experimento, os demais tubos, G1 e G2, também foram observados vinte e cinco emissores ao longo da linha, escolhidos aleatoriamente.

Para a coleta do volume de água foram condicionados copos coletores em placas de poliestireno expandido (Isopor) no espaçamento de cada tubo gotejador. Com o deslocamento das placas na horizontal a água era retida nos coletores pelo tempo determinado, com o mesmo movimento de forma contrária os coletores se deslocavam fora da direção das gotas dos emissores (Figura 3).



Figura 3. Sistema de coleta dos volumes de água simultâneo em todos os gotejadores

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de vazão em função da pressão foram obtidas para cada tubo gotejador e tipo de água (Figura 4). A curva do emissor quando novo foi calculada a partir da equação característica fornecida pelo catálogo do fabricante. Para o tubo gotejador G2 em $1,2P_{máx}$ (360 kPa) houve a ruptura do tubo, obtendo dessa forma apenas seis níveis no teste de comparação de médias.

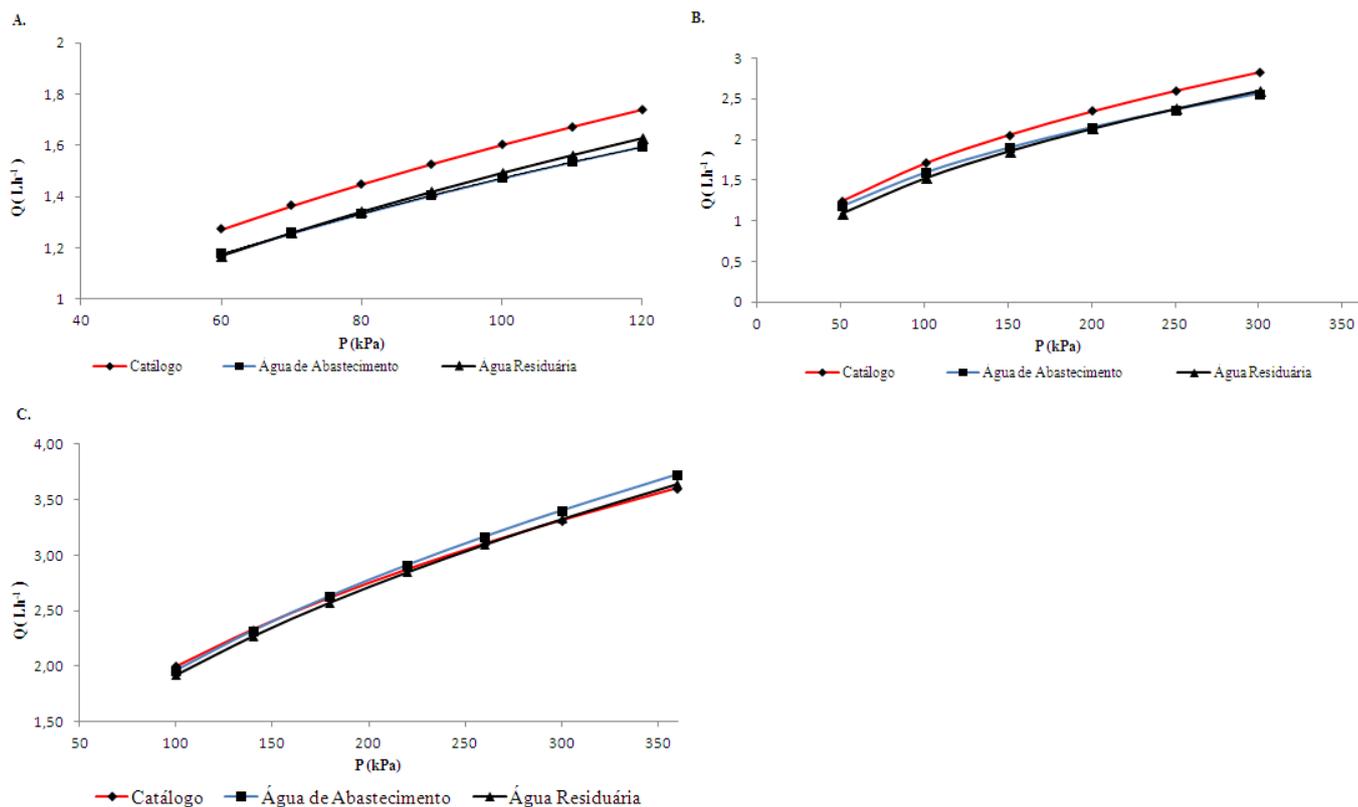


Figura 4. Curvas característica com AR, AB e a calculada pelo catálogo do fabricante para os tubos gotejadores G1(A), G2 (B) e G3 (C)

A equação característica obtida com as curvas obtiveram R^2 satisfatório, alcançando valores próximos de 1. Na Tabela 2 os elementos constituintes da equação característica.

Tabela 7. Elementos da equação característica para cada tubo gotejador e tipo de água, bem como o fornecido pelo fabricante

Tubo Gotejador	Água	K	x	R^2
G1	AB	0,1953	0,438	0,995
	AR	0,1654	0,478	0,993
	Catálogo	0,2015	0,450	1
G2	AB	0,2176	0,432	0,998
	AR	0,1618	0,486	0,998
	Catálogo	0,2046	0,460	1
G3	AB	0,1947	0,50	0,9995
	AR	0,1907	0,50	0,999
	Catálogo	0,2403	0,460	1

Nos estudos Pankaj Sharma (2013) com a curva característica de emissores in line obteve valores de R^2 a de 0,93 com água de boa qualidade e teste em campo.

Pela equação característica do emissor obtida nota-se variações em relação à equação fornecida pelo fabricante, sendo os maiores valores do expoente de descarga registrados pela utilização da AR. Segundo Yavuz et al. (2010) não há diferença estatística para o expoente de descarga em emissores com até dois anos de uso.

Em relação às vazões com AB identificou-se superioridade nas médias calculada pelo catálogo do fabricante para G1 e G2 em 8,0 e 7,4% respectivamente, para G3 as médias foram maiores em 1,1% para AB. Em relação a AR as vazões calculadas pelo catálogo foram superiores para todos os tubos gotejadores.

Em dimensionamentos realizados para irrigação localizada por gotejamento, leva-se em conta as características informada pelos catálogos, apesar das diferenças, pode-se afirmar que pequenas variações na vazão do emissor não interferem em projetos com AR. Segundo LI et al. (2006) pequenas variações na descarga dos emissores relacionadas a mudanças de pressão não são significativas, também relatam o aumento do expoente de descarga para pressões inferiores.

Os valores de CV foram submetidos à análise de variância ANOVA, sendo os três fatores em estudo o tipo de água, tubo gotejador e pressão de entrada (Tabela 3). O CV é o coeficiente limitante para as análises de distribuição segundo a ABNT/NBR ISO 926:2006, esse coeficiente não pode exceder 7% na variação da vazão média.

Tabela 8. ANOVA da variável resposta CV para os três fatores em estudo, água, tubo gotejador e pressão de entrada

Fator	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P-valor
Água	1	0,0123	0,0123	0,280	0,610 ^{ns}
Tubo Gotejador	2	4,28846	2,14423	48,370	0,000*
Pressão	5	0,73826	0,14765	3,330	0,050*
Água x Tubo Gotejador	2	0,03938	0,01969	0,440	0,653 ^{ns}
Água x Pressão	5	0,47979	0,09596	2,160	0,140 ^{ns}
Tubo Gotejador x Pressão	10	1,08238	0,10824	2,440	0,088 ^{ns}
Resíduo	10	0,44331	0,04433		
Total	35				

* Significativo a 5% de significância teste F, ^{ns} não significativo

A análise de variância indicou diferença significativa na variável resposta para o tipo de tubo gotejador e pressão de entrada. Não houve interação entre os fatores. Suliman & Amjad (2010) ao analisar os dados medidos em relação às perdas hidráulicas em emissores, identificaram que os emissores diferem ao outro e de um tubo para outro, apesar de toda a linha de emissores terem classificações padronizadas.

Não apontando diferença significativa para a variável resposta CV entre o tipo de água, pode-se constatar a não influência da AR para utilização em irrigação em termos de projeto, todavia análises de água periódicas devem ser feitas para a identificação de possíveis fatores de obstrução.

O teste Tukey de comparação de médias, identificou diferenças significativas a um nível de 5% de significância entre os tubos gotejadores utilizados e pressões de entrada (Tabela 4).

Tabela 9. Teste Tukey de comparação de média para os tubos gotejadores e as pressões de entrada

Tubo Gotejador	CV (%) - Média
G1	2,17 a
G2	1,35 b
G3	1,59 c
<hr/>	
Pressão	
P1	1,97 a
P2	1,59 a
P3	1,57 a
P4	1,76 a
P5	1,58 a
P6	1,76 a

O tubo gotejador G1 obteve o maior CV com 2,177 sendo diferente estatisticamente em relação ao G2 com a menor média de 1,35 e G3 com 1,59, porém todos estão entre o recomendado pela NBR. Mangrio et al. (2013) obtiveram CV a baixo de 7% utilizando tubos gotejadores compensadores e microtubos em todas as pressões utilizadas, estes por sua vez entre as pressões máximas e mínimas com um delay médio de 34 kPa. Prado et al. (2014) em ensaios com tubos gotejadores autocompensantes e não autocompensantes, foram observados valores inferiores a 5% de CV.

Apesar da análise de variância indicar diferença significativa nos valores de CV entre as pressões utilizadas, o teste Tukey classificou estatisticamente o CV como iguais, portanto, em dimensionamentos com os tubos gotejadores estudados na utilização de AR e AB, a pressão de entrada, estando nos limites inferiores e superiores de serviço especificado pelo fabricante, não há diferença.

Silva et al. (2012) utilizando efluente do processamento da castanha do caju, identificaram maior obstrução em pressões baixas, sendo 70 kPa o maior nível de

obstrução. Pode ser explicado pelo menor velocidade de escoamento internamente a tubulação em relação às pressões mais elevadas, como é o caso de 140 kPa.

A pressão adotada no dimensionamento é diretamente vinculada ao gasto de energia do projeto em funcionamento, a escolha requer uma análise técnica e econômica para avaliar as vantagens e desvantagens em relação ao uso das menores pressões de serviço e o risco de entupimento ou a utilização maiores pressões e o custo com energia. Questão ainda com poucas pesquisas relacionada.

CONCLUSÃO

Não houve diferença na variabilidade dos dados de vazão entre a água residuária proveniente de esgoto doméstico tratado e água de abastecimento, assim como nas características hidráulicas dos tubos gotejadores testados. O dimensionamento com a utilização de água residuária se dá da mesma forma que à água de boa qualidade.

O coeficiente de variação diferenciou entre os tubos gotejadores testados, porém não excedeu o recomendado pela NBR. Nas pressões avaliadas não houve diferença estatística, propondo para projetos a utilização de pressões próxima dos limites superiores de serviço a fim de garantir menor risco de entupimento.

Para o emissor G2 houve a ruptura para a pressão $1,2 P_{m\acute{a}x}$, pressão exigida para testes segundo NBR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada. São Paulo, p. 9, 2006.
- Alobaidy, H. M. J.; Al-sameraiy, M. A.; Kadhem, A. J.; Majeed, A. A. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. Journal of Environmental Protection, v.1. p.216-225, 2010.
- Batista, R. O. ; Soares, A. A.; Moreira, D. A.; Feitosa, A. P.; Bezerra, J. M. Influência de diferentes qualidades de esgoto doméstico na vazão de gotejadores. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, p. 128-134, 2011.
- Busato, C. C. M.; Soares, A. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. Biosci. J., Uberlândia, v. 26, p. 739-746, 2010.

- Cirelli, A. F.; Arumí J. L.; Rivera, D.; Boochs, P. W. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid. *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol. 69, P. 27 - 40, 2009.
- Li, Y.; Yang, P.; Ren, S. Hydraulic characterizations of tortuous flow in path drip irrigation emitter. *Journal of Hydrodynamics*, v.18, p. 449-457, 2006.
- Mangrio, A.G.; Asif, M.; Ahmed, E.; Sabir, M.W.; Khan, T.; Jahangir, I. Hydraulic performance evaluation of pressure compensating (pc) emitters and micro-tubing for drip irrigation system. *Science Technology and Development*, v.32, p. 290-298, 2013.
- Pankaj Sharma. Hydraulic Performance of Drip Emitters under Field Condition. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*. v. 2, p. 15 - 20, 2013.
- Patil, S. S.; Nimbalkar, P. T.; Joshia, J.; Hydraulic Study, Design & Analysis of Different Geometries of Drip Irrigation Emitter Labyrinth. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, v.2, p.455 - 462, 2013.
- Prado, G.; Nunes, L. H.; Tinos, A. C. Avaliação técnica de dois tipos de emissores empregados na irrigação localizada. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada* v.8, p. 12 - 25 , 2014.
- Silva, K. B.; Batista, R. O.; Silva, S. K. C.; Dias, N.S.; Costa, M. S.; Efeito de distintas pressões de serviço na determinação da vazão em sistemas de irrigação por gotejamento operando com efluente do processamento da castanha de caju. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.8, p 89-96, 2012.
- Suliman, A. & Amjad, S. The Effect of Emitters on Hydraulic Losses in Laterals Pipes. *Damascus University Journal*, v. 26, p 99 - 111, 2010.
- Yavuz, M. Y.; Demirel, K.; O. E.; Bahar, E.; Deveciler M. Emitter clogging and effects on drip irrigation systems performances. *African Journal of Agricultural Research*. v. 5, p. 532-538, 2010.

**CAPÍTULO 3. OBSTRUÇÃO TEMPORAL DE TUBOS GOTEJADORES
OPERADOS COM ÁGUA RESIDUÁRIA DE ESGOTO TRATADO E ÁGUA DE
ABASTECIMENTO.**

RESUMO: Em regiões semiáridas a irrigação possibilita a produção agrícola de qualidade, todavia, a água é fator limitante. Alternativamente, fontes hídricas como o esgoto doméstico tornam-se necessárias. A pesquisa direcionou-se para as características temporais da obstrução de tubos gotejadores operados com água residuária de esgoto doméstico tratado e água de abastecimento público. O experimento foi realizado no Instituto Nacional do Semiárido na cidade de Campina Grande - PB, em sistema de bancada instalado a campo. O delineamento experimental consistiu em um esquema fatorial de desdobramento orientado com três fatores, fator água com dois níveis, residuária e de abastecimento, fator tubo gotejador com três níveis e tempo de funcionamento com quatro, com vinte e cinco repetições. Não houve diferença de obstrução temporal do tubo gotejador G1 nas diferentes águas. O alto índice de população bacteriana da água residuária, aliada ao formato das canaletas e dimensões do labirinto dos gotejadores, proporciona a aderência e proliferação do biofilme obstruindo o emissor. Houve interação significativa entre os fatores tipo de água, tubo e tempo de funcionamento.

PALAVRAS-CHAVE: grau de entupimento, uniformidade estatística, irrigação, semiárido.

**OBSTRUCTION OF TUBES DRIPPERS OPERATED TIME WITH SEWAGE
WASTEWATER TREATY AND WATER SUPPLY.**

ABSTRACT: In semi-arid regions irrigation enables quality agricultural production, however, the water is a limiting factor. Alternatively, water sources such as sewage become necessary. Research directed to the temporal characteristics of obstruction operated drip irrigation system with wastewater treated domestic sewage and public water supply. The experiment was conducted at the National Institute for Semi-Arid in the city of Campina Grande - PB, bench system installed in the field. The experimental design consisted of a factorial arrangement of split oriented with three factors, water

factor with two levels, wastewater and supply, dripline factor with three levels and working time with four, twenty-five replications. There was no obstruction temporal difference of dripline G1 in different waters. The high bacterial population index of wastewater, combined with the shape of the channels and dimensions of the labyrinth of drippers, provides adhesion and proliferation of biofilm blocking the sender. There was a significant interaction between the factors type of water pipe and uptime.

KEY-WORDS: Degree of clogging, statistical uniformity, irrigation, semiarid region.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola é favorecida em quantidade e qualidade pela técnica da irrigação, através do controle hídrico aplicado na cultura. Segundo Fereres et al. (2011) a agricultura irrigada é essencial para atender a demanda futura de alimentos com a estratégia de melhor produtividade, porém, ao mesmo tempo, proporciona um maior potencial de rendimento, mas é um recurso limitado, necessitando sistemas agrícolas sustentáveis.

Em lugares de escassez de água, como é o caso do Semiárido Brasileiro (SAB), a agricultura é dependente deste recurso, mas secundária em relação ao consumo humano e animal. Complementarmente outras fontes hídricas se fazem necessárias para a irrigação, como é o caso da utilização do esgoto doméstico tratado, pois se trata de uma alternativa abundante e disponível o ano todo Roig et al. (2012).

A utilização de água residuária na agricultura irrigada é ampla em diversos países, tem como vantagem econômica a redução no uso de insumos como água e fertilizante. Pereira et al. (2011) observaram um aumento de macro e micronutrientes no solo irrigado com água residuária de esgoto doméstico. Outro benefício da utilização dessa fonte é ambiental, ocasionado pela diminuição da captação de águas subterrâneas e a redução de descarga de efluentes nos corpos hídricos (Muyen et al., 2011).

Segundo Bressan et al. (2012) a aplicação de águas residuárias pode ser feita com cinco sistemas de irrigação distintos: aspersão, sulcos, inundação, gotejamento e gotejamento subsuperficial. A irrigação por gotejamento é a recomendada, pois, a saúde dos trabalhadores e a segurança alimentar dos produtos são preservados na aplicação pontual e próxima a raiz da cultura, além de se obter melhores índices de distribuição.

Na irrigação por gotejamento a uniformidade de distribuição de água pela área é superior em comparação aos outros métodos. No entanto, esta uniformidade é afetada pela qualidade da água aplicada, cuja irrigação com água residuária implica o risco de obstrução dos emissores, dependente, então, do sistema de tratamento e filtragem do sistema.

A utilização de águas residuais como fonte hídrica há um elevado potencial de obstrução dos emissores e filtros, decorrente de elementos na composição, como sólidos suspensos relatados por Carpa e Scicolone (2007), e o biofilme, um resultante da interação entre colônias de bactérias e algas relatado por Batista et al. (2010).

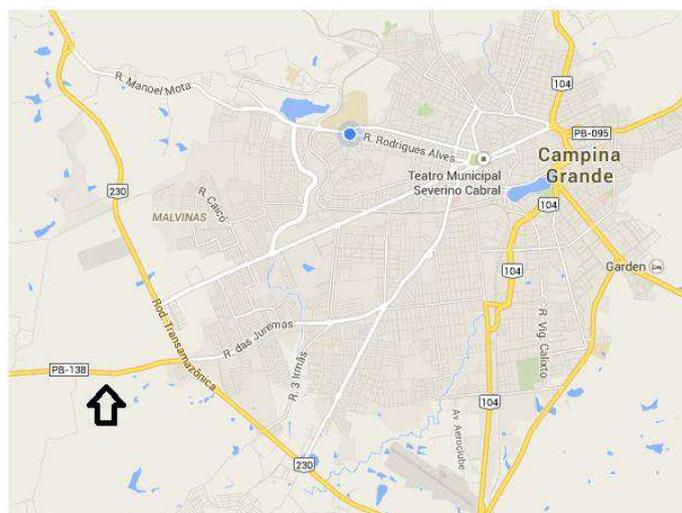
Além da qualidade da água, aspectos como o dimensionamento, topografia e tipo de gotejador pode ser fontes favorecedoras da obstrução. Silva et al. (2013) trabalharam com efluente da castanha de caju e constataram maiores índices de entupimento em emissores com maior comprimento de labirinto.

O entupimento dos emissores temporalmente é variável com a qualidade da água utilizada e as características do emissor, deste modo, monitorou-se a obstrução de três tubos gotejadores do tipo labirinto operados com água residuária (AR) de esgoto doméstico tratado (EDT) e água de abastecimento (AB), a fim de caracterizar a diminuição da qualidade de distribuição de água.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O experimento foi realizado na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas 7° 16' 20'' S e 35° 56' 29'' O, e uma altitude de 550 m. A Classificação de Koeppen para o clima da região, é tropical com chuvas de outono e períodos de seca no restante do ano, denominado *As* (Figura 1).



Fonte. Google Maps

Figura 5. Localização do experimento INSA, cidade de Campina Grande - PB.

A água de abastecimento (AB) utilizada foi a fornecida pela prestadora de serviço de água e esgoto do estado da Paraíba. A água residuária (AR) utilizada decorre da estação de tratamento de esgoto (ETE) proveniente dos despejos de todo o instituto.

Fatores de estudo e delineamento experimental

Foi realizado o cálculo do Coeficiente de Variação de uso dos gotejadores Eq. 1 (CVq), Coeficiente de Uniformidade estatístico Eq.2 (Us) e o grau de entupimento Eq. 3. (GE) para as duas águas e os três tubos, com posterior classificação do sistema segundo a uniformidade obtida.

$$CVq = \frac{S_{usado}}{q_{usado}} 100 \quad (1)$$

Em que:

CVq - Coeficiente de Variação de uso, %;

S_{usado} - Desvio padrão da vazão dos gotejadores quando usados, Lh^{-1} ;

q_{usado} - Vazão média dos gotejadores quando usados, Lh^{-1} ;

A classificação do CVq segundo a ASABE (2008) esta na Tabela 1. Para a ABNT/NBR ISO 926:2006 não são aceitos valores de CVq superiores a 7%.

Tabela 10. Classificação do sistema de irrigação para valores obtidos do CVq

Tipo de emissor	CV(%)	Classificação
	< 5	Excelente
	5 a 7	Médio
Emissores com saída pontual	7 a 11	Marginal
	11 a 15	Deficiente
	> 15	Inaceitável

$$U_s = 100 (1 - CVq) \quad (2)$$

Em que:

U_s - Uniformidade Estatística, %

A classificação do sistema para valores obtidos da U_s segundo Favetta & Brotel (2001) estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 11. Classificação do sistema a partir de valores obtidos da U_s

U_s (%)	Classificação
> 90	Excelente
80 a 90	Muito Bom
70 a 80	Regular
60 a 70	Péssimo
< 60	Inaceitável

$$GE = \left(1 - \frac{q_{usado}}{q_{inicial}}\right) 100 \quad (3)$$

Em que:

GE - Grau de Entupimento, %

q_{usado} - Vazão média dos gotejadores quando usados, Lh^{-1}

$q_{inicial}$ - Vazão média dos gotejadores quando novos, Lh^{-1}

O delineamento experimental consistiu em um esquema fatorial de desdobramento orientado com três fatores, fator água com dois níveis (AR e AB), fator tubo gotejador com três níveis (G1, G2 e G3) e tempo de funcionamento com quatro (T1, T2, T3 e T4), com 25 repetições, instalado em um delineamento inteiramente casualizado.

Foi realizada análise de variância (ANOVA) com posterior teste Tukey a 5% de significância como teste de comparação de médias para os fatores qualitativos e análise de regressão para o fator quantitativo, tendo como variável resposta o GE. O software Minitab 16 foi utilizado para as análises estatística e Microsoft Excel para análise e organização dos dados.

Descrição do experimento

Estação de tratamento

AR utilizado na experimentação advém de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) anaeróbia em operação com o esgoto produzido no INSA.

Antes de passar pela filtragem os despejos domésticos passam por um tanque séptico, são câmaras fechadas com o intuito de deter o esgoto por um período de tempo

estabelecido, para conter por sedimentação as partículas sólidas decantáveis naturalmente e o material graxo.

O filtro é formado por um leito de brita nº 5, contido um tanque de seção retangular, com fundo falso para facilitar o fluxo ascendente do efluente da unidade de tratamento anterior.

O processo desenvolve-se pela atuação da camada biológica anaeróbia formada na superfície das pedras britadas. A percolação através dos espaços da “camada filtrante” permite que a matéria orgânica na forma coloidal seja “captada” pela massa de bactérias ancoradas na superfície da brita e posteriormente transformada em material biodegradado, na forma inerte, mineral ou endógeno.

Tubos gotejadores

Foram utilizados três tubos gotejadores, com emissores do tipo labirinto não autocompensantes. Este tipo de emissor é susceptível ao entupimento pelo longo percurso percorrido pelo fluido realizando perdas de energia no labirinto a fim de uniformizar a descarga.

Os tubos escolhidos foram o modelo Stremline 16080, marca Netafim, vazão nominal de $1,60 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa com espaçamento entre emissores de 0,30m, dimensões do labirinto de 0,66, 0,55 e 13 mm para largura, profundidade e comprimento respectivamente. Modelo taldrup, da marca Naadanjain $1,70 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,20 m. Modelo tiran 16010, marca Netafim $2,00 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,40 m, com labirinto de 0,76, 1,08 e 75 mm. Foram renomeados como G1, G2 e G3, são tubos gotejadores utilizados largamente no Semiárido Brasileiro.

Bancada de ensaios

A bancada de ensaios foi construída sobre a estação de tratamento, para facilitar o retorno da AR e AB através de calhas para o sistema de armazenagem localizadas em cotas abaixo.

O sistema de armazenagem possui reservatórios independentes para AR e AB. Com uma combinação de registros o sistema de bombeamento pressuriza as águas nos tubos gotejadores em teste. O sistema de irrigação possui um cabeçal de controle com filtro de disco 120 mesh, registro de abertura, hidrômetro, manômetro de glicerina e controlador

de pressão para o controle da pressão de entrada em 100 kPa. Na Figura 2 o corte longitudinal da bancada, sistema de armazenagem e bombeamento.

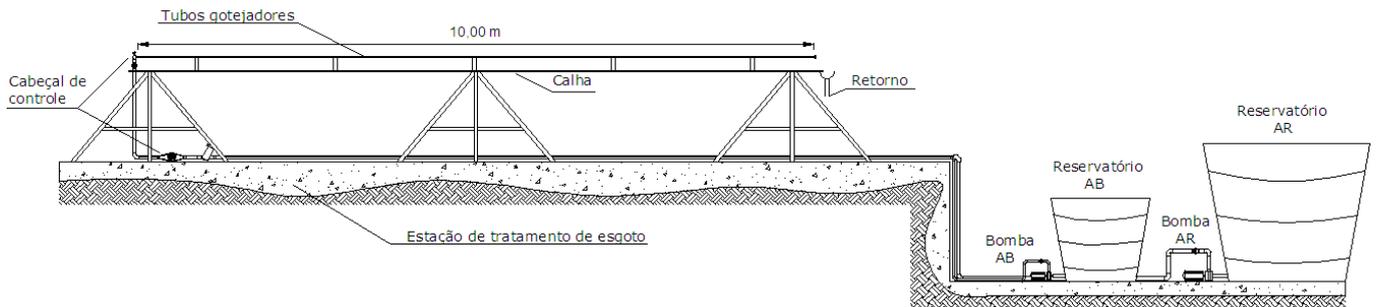


Figura 6. Corte longitudinal do sistema de bancada, cabeçal de controle, sistema de bombeamento e armazenagem de AR e AB

Foram utilizadas cinco tubos gotejadores por modelo para os testes com AR e separadamente para AB foram usadas um tubo gotejador de cada modelo.

Condução do experimento

O funcionamento do sistema iniciou-se no dia 26/06/2014 simultaneamente entre as águas, logo foi realizada a primeira avaliação com a obtenção das vazões em pontos na linha lateral. A coleta das vazões consistiu em coletar água por período de 4 min em cada ponto determinado com copos coletores, em seguida com uma proveta o volume foi contabilizado e transformado em valores de vazão (Lh^{-1}).

Para AR foi coletado o volume de água em pontos no sistema conforme recomendado por Deniculi (1980), consiste em indicar oito pontos de coleta ao longo da linha lateral, amostrando as vazões no primeiro gotejador, segundo a $1/7$ do numero de gotejadores, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$, e o último gotejador, obtendo oito repetições em cada linha, constituindo um montante de quarenta valores de vazões por tubos gotejadores avaliados. Para AB foi avaliado separadamente vinte e cinco pontos ao longo da linha lateral, escolhidos aleatoriamente.

As avaliações posteriores à primeira de caracterização foram a cada 36 h, sendo 12 horas de funcionamento por dia. O limite para o funcionamento do sistema foi um valor superior a 1000 h, tempo necessário para a provável obstrução severa dos gotejadores observado por Liu e Huang (2008).

A coleta do volume dos pontos amostrados foi realizada com copos coletores fixados em placas de poliestireno expandido (Isopor). As placas de isopor eram movimentadas

no sentido horizontal, posicionando os emissores sobre os coletores (Figura 3A e Figura 3B).

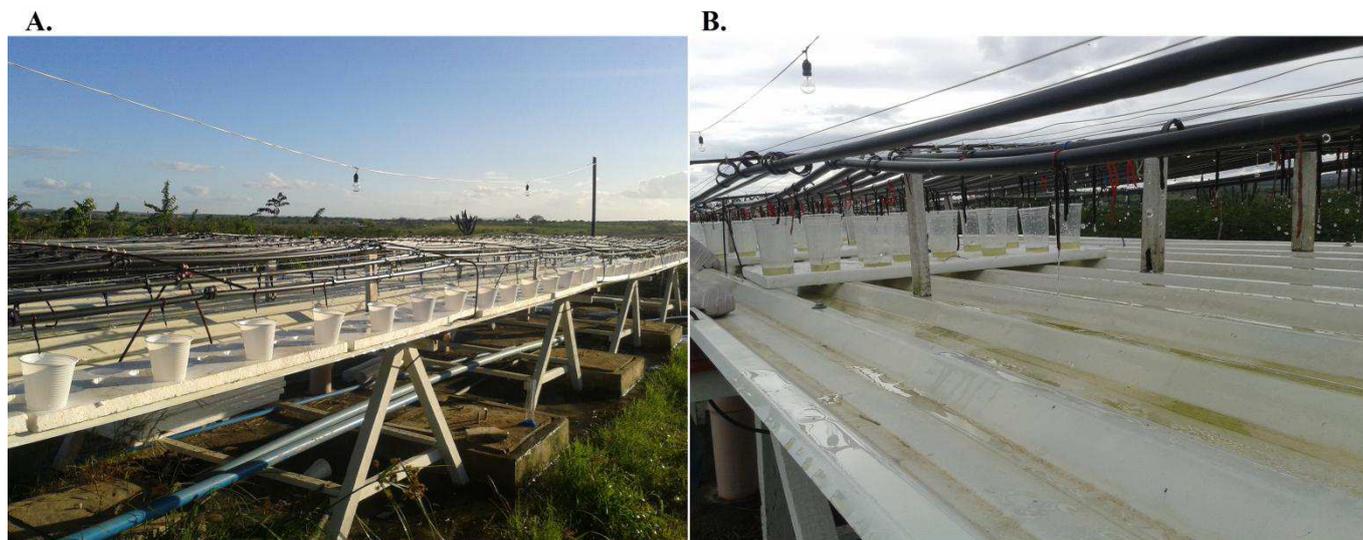


Figura 7. Coleta dos volumes de água na bancada de ensaios. (A) mecanismo de coleta do volume de água para AB, (B) mecanismo de coleta do volume de água para AR.

Foram feitas análises físico-química e biológica para caracterização inicial da AR e AB realizadas pelo laboratório de referência em dessalinização (LABDES).

Foram submetidas análise estatística a água em dois níveis (AR e AB), tubos gotejadores em três níveis (G1, G2 e G3) e tempo de funcionamento em quatro níveis (Tabela 3) com vinte e cinco repetições. O tempo inicial não foi utilizado devido o GE = 0 no início do funcionamento do sistema.

Tabela 12. Fator tempo de funcionamento em quatro níveis

Nomeação	Tempo de funcionamento (h)
T1	288
T2	576
T3	864
T4	1152

O intervalo entre os tempos foi o tempo de avaliação aproximado a 320h, segundo Morata et al. (2014) em 320h o uso de esgoto doméstico tratado não ocorre entupimento severo nos gotejadores testados.

Foi realizada análise de variância com três fatores e teste tukey a 5% de significância para comparação das médias e análise de regressão. Gráficos de interação foram confeccionados para auxiliar na visualização e interpretação dos resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade físico-químico e microbiológico

A qualidade de das águas foram verificadas através de análise física, química e microbiológicas, evidenciando os principais elementos de risco a obstrução. Os parâmetros de qualidade de água para irrigação foram estudados por Ayers & Westcot (1991), Capra & Scicolone, (1998) Nakayama et al. (2006). Na Tabela 4 estão os principais agentes de obstrução da qualidade da AR e AB com respectiva classificação pelo risco de entupimento.

Tabela 13. Análise físico-químico e microbiológica de caracterização para AB e AR, com classificação para o risco de entupimento segundo Ayers & Westcot (1991), Capra & Scicolone (1998) Nakayama et al. (2006), características analisadas condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C), pH, Cálcio (mgL⁻¹), Magnésio (mgL⁻¹), Potássio (mgL⁻¹), Ferro Total (mgL⁻¹), Cloreto (mgL⁻¹), Nitrato (mgL⁻¹), Nitrito (mgL⁻¹), carbonatos (mgL⁻¹), Bicarbonatos (mgL⁻¹), Sílica (mgL⁻¹) e Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mgL⁻¹)

Parâmetros físico-químicos	Resultados	
	AB	AR
Condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C)	1092 ** (a)	2139 ** (a)
pH	6,6 * (a)	7,6 * (a)
Cálcio (mg/L)	26,6 * (ab)	48 * (ab)
Magnésio (mg/L)	35 * (ac)	37,2 * (ac)
Potássio (mg/L)	5,3 *** (a)	60,6 *** (a)
Ferro Total (mg/L)	0,01 * (abc)	0,08 * (abc)
Cloreto (mg/L)	305,3 * (a)	388,7 * (a)
Nitrato (mg/L)	0,04 * (a)	0,66 * (a)
Nitrito (mg/L)	0,00	0,03 * (a)
Carbonatos (mg/L)	0,00	0,00
Bicarbonatos (mg/L)	84 * (a)	203,2 * (a)
Sílica (mg/L)	3,7 (a)	6,2 (a)
Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (STD) (mg/L)	662,4 ** (bc)	1160 ** (bc)
Parâmetro Microbiológico		
Coliformes Totais (UFC)	520* (ab)	10112** (ab)

* Menor risco de entupimento, ** Intermediário risco de entupimento, *** Elevado risco de entupimento, Classificação segundo: (a) Ayers & Westcot (1991), (b) Nakayama et al. (2006), (c) Capra & Scicolone (1998).

Todos os parâmetros físico-químicos foram classificados com o mesmo risco de entupimento para AR e AB, destacando risco elevado para o Potássio, e intermediário para condutividade elétrica e STD.

O parâmetro microbiológico de *coliformes totais* obteve menor risco de entupimento para AB e risco de entupimento intermediário para AR, evidenciando a carga bacteriana superior para AR.

Segundo Batista et al. (2011) as características dos esgotos domésticos primário (EDP), secundário (EDS) e terciário (EDT) representam risco severo de entupimento em relação às características ferro e coliformes totais. Para as características manganês total, cálcio e fósforo este risco de obstrução é baixo.

Uniformidade de distribuição temporal.

Foram realizadas 33 avaliações em 1188h de funcionamento do experimento para AR e AB. Os coeficientes de uniformidade, coeficiente de variação e grau de entupimento obtiveram variações ao decorrer do tempo.

O CV é uma medida de dispersão podendo ser interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média, quanto menor o seu valor os dados obtém melhores índices de homogeneidade. Na Figura 4 a variação do CV no tempo para as 33 avaliações realizadas para AR e AB.

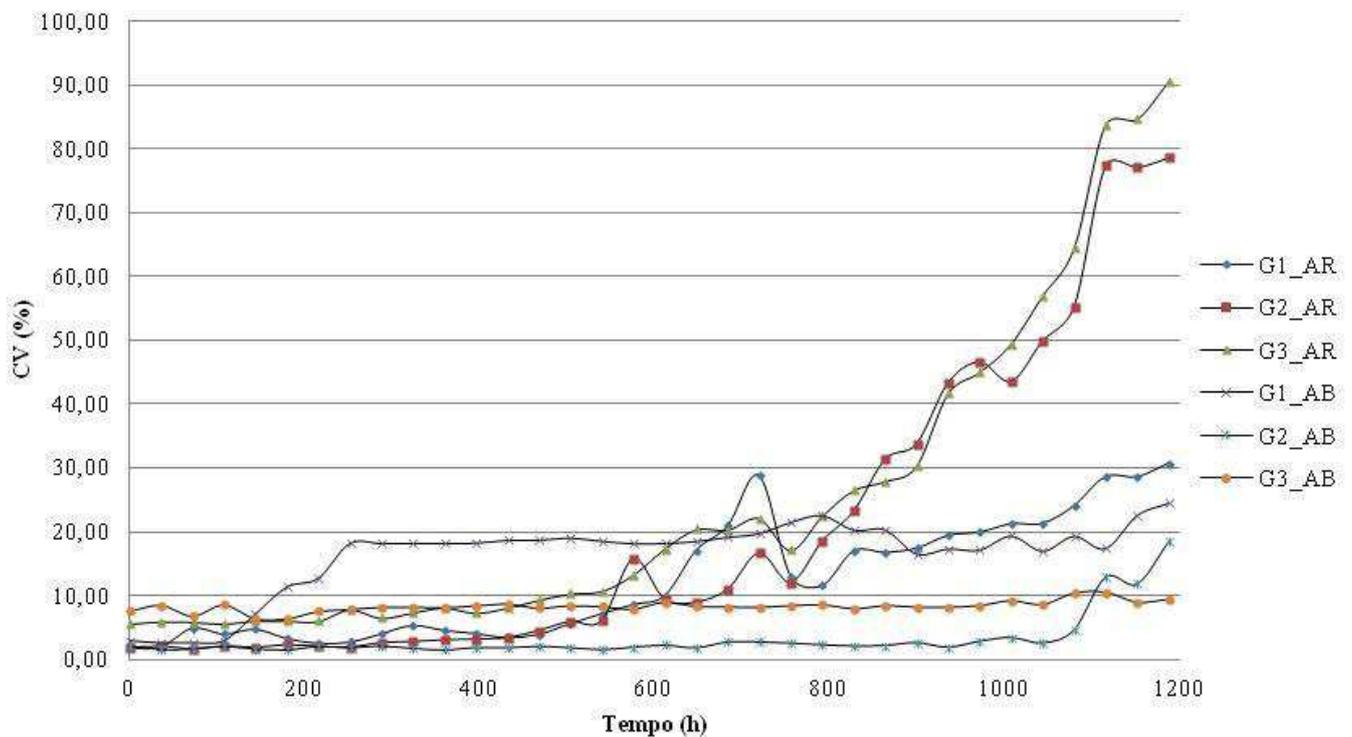


Figura 8. CV para os três modelos de tubos gotejadores ao decorrer do tempo de funcionamento sendo operados com AR e AB

O CV avaliações do sistema operados com AR obtiveram os maiores valores para os três tubos testados, finalizando com 30,59, 78,63 e 90,51% para os tubos G1, G2 e G3. Silva et al. (2013) constataram aumento do coeficiente de variação em unidades de irrigação operadas com água residuária do processamento da castanha do caju, na qual

possuía risco de obstrução com cálcio, magnésio, manganês, sólidos suspensos, sólidos totais e pH.

A ABNT/NBR ISO 926:2006 estabelece que o coeficiente de variação máximo permitido é de 7%. Os tubos G1, G2 e G3 para AR ultrapassaram valor de 7% de CV com 540, 576 e 324 horas de funcionamento respectivamente. Como recomendado pela ASABE (2008) até 7% o CV é classificado como médio, e inaceitável a partir de 15%, para AR os tubos gotejadores alcançaram valores superiores a 15% com 792, 720 e 612 h de funcionamento respectivamente para G1, G2 e G3. Pode-se notar uma suscetibilidade de entupimento maior do tubo G3 em relação o CV.

Para os tubos gotejadores operados com AB alcançaram o valor de 7% a partir de 144, 1116 e 216 h respectivamente para os tubos G1, G2 e G3, para CV de 15% 252 h e 1188 h para o tubo G1 e G2, G3 não chegou ao nível de 15% de CV.

A Us utiliza como medida de dispersão o desvio-padrão, e apresenta a uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação. Na Figura 5 os valores de Us ao transcorrer do funcionamento de cada tubo gotejador com AR e AB.

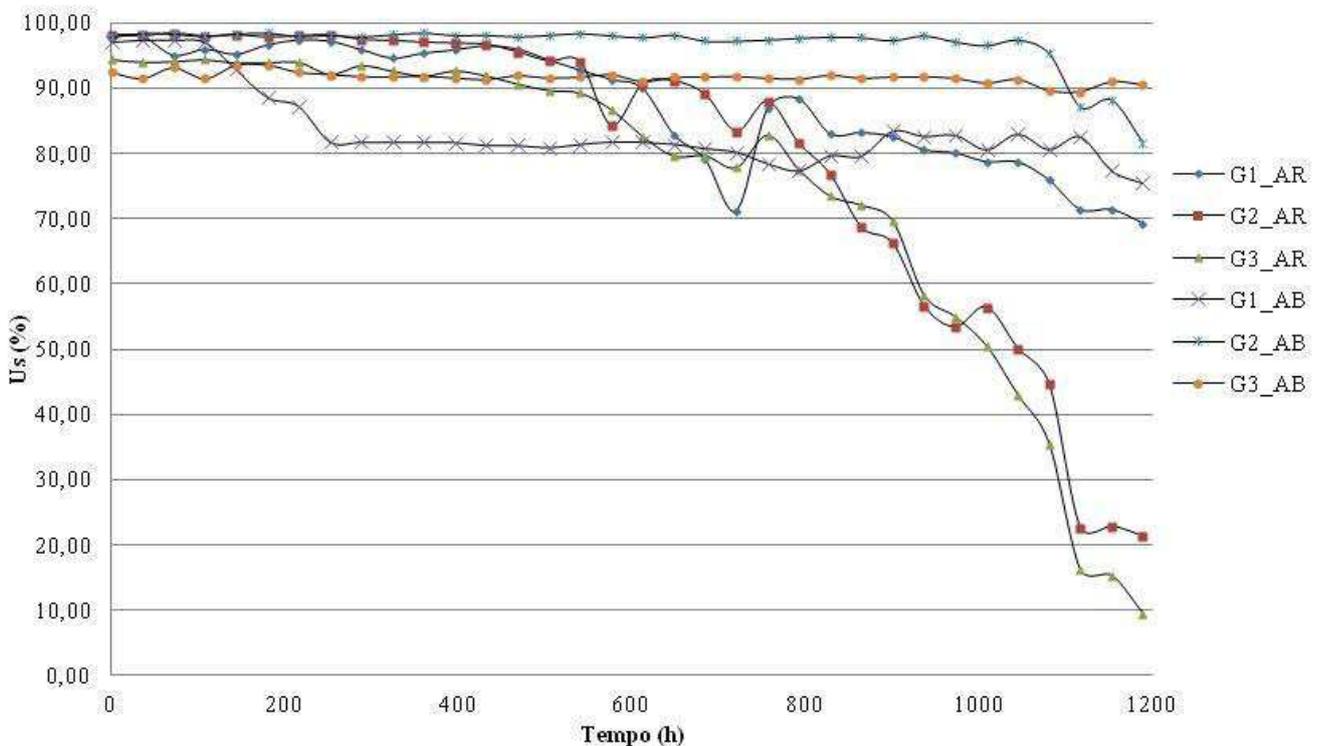


Figura 9. Us para os três modelos de tubos gotejadores ao decorrer do tempo de funcionamento sendo operados com AR e AB

Segundo a classificação recomendada por Faveta & Brotel (2001) valores de Us menores de 60% são inaceitáveis para a irrigação localizada, logo os tubos gotejadores G2 e G3 obtiveram valores inferiores à classificação de inaceitáveis a partir de 900 h de funcionamento com AR. Com a utilização de AB os mesmos tubos adquiriram as melhores Us, chegando a 1188 h com 81,62 e 90,59%, classificando o sistema em operação como muito bom e excelente respectivamente para G2 e G3.

Cunha et al. (2013) constatou a diminuição dos coeficientes de uniformidade durante longo período de funcionamento, inclusive o coeficiente de uniformidade estatística, enquanto o coeficiente de variação CVq aumenta.

Busato & Soares (2010) utilizaram água para caracterizar o desempenho dos gotejadores e encontraram nos padrões desejados, exceto para o elemento Ferro, o qual proporcionou reduções na Us de até 28,35% em 700h. Batista et al. (2011) constatou redução no Us de 54, 24 e 59%, respectivamente, para os sistemas de irrigação abastecidos com esgoto doméstico primário, secundário e terciário em 500 h de funcionamento.

O GE é a variação da vazão obtida em relação à aferida quando novo, expressa a porcentagem de diminuição de vazão do emissor, podendo ser problemas relacionados com a fabricação do emissor ou entupimentos de diversas formas, física, química ou biológica. Na Figura 6 está o GE dos tubos gotejadores ao longo do tempo de funcionamento com cada tipo de água.

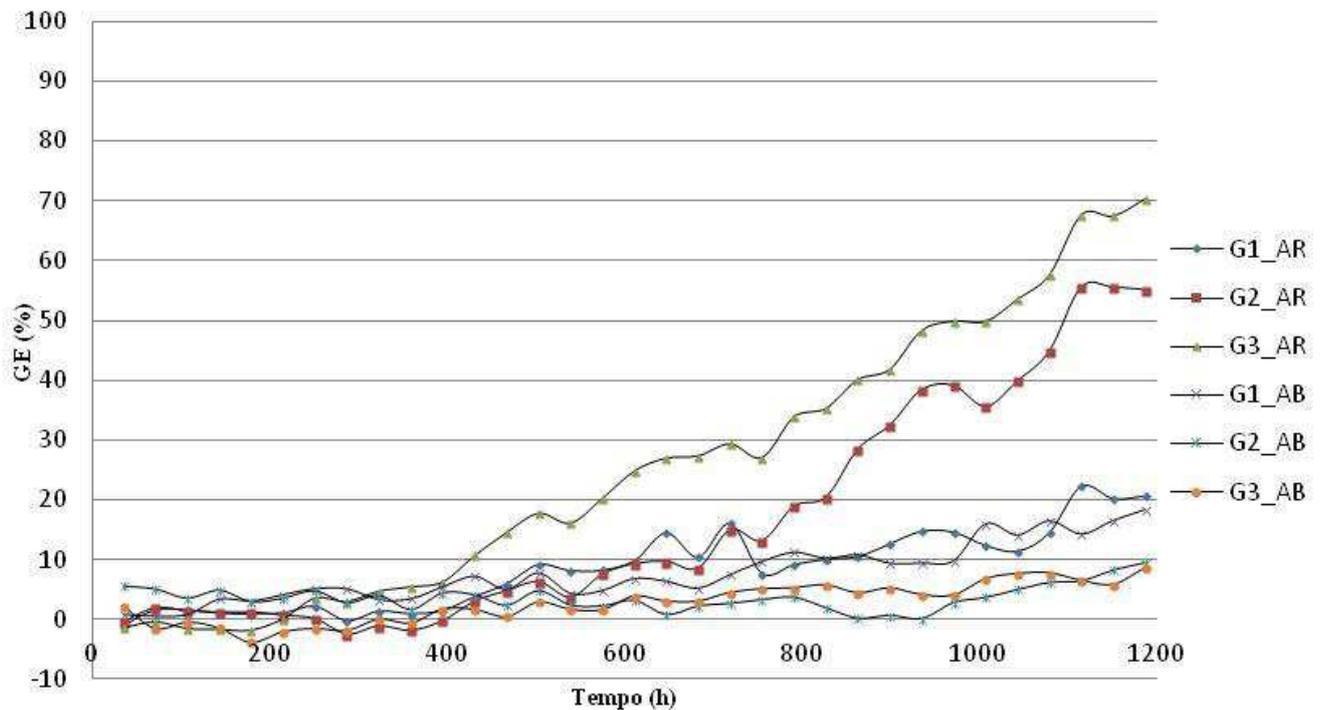


Figura 10. GE dos três modelos de tubos gotejadores utilizando AR e AB ao passar do tempo de funcionamento

Os tubos gotejadores submetidos a irrigação com AR obtiveram os maiores GE, chegando a valores de 20,74, 55,12 e 70,40% respectivamente para os tubos G1, G2 e G3 com 1188 horas de funcionamento. Para a aplicação de AB a maior grau foi obtido pelo G1 com 18,35%, seguido por G2 com 9,57% e G3 com 8,57%.

Para G1 e G3 na AR e G3 na AB houve nas observações iniciais um pequeno aumento em relação as vazões amostradas quando novo, obtendo valores negativos de GE, sendo a maior variação identificada no tubo G3 com AB com -3,86% em 180h de funcionamento. Essas variações são relacionadas a menor perda de carga no interior da tubulação, resultante de material orgânica aderido das paredes do tubo.

Análise estatística para os fatores água, tubo e tempo de funcionamento

A análise de variância ANOVA foi realizada para identificar a um nível de 95% de confiança a interferência de cada fator e a interação entre eles para a variável resposta GE. Na Tabela 5 pode ser visualizada a ANOVA, p-valor menores que 0,05 rejeita-se a hipótese nula e se aceita hipótese alternativa, indicando diferença significativa entre os fatores e a possibilidade de interação entre eles.

Tabela 14. ANOVA para os três fatores, tipo de água, modelo de tubo gotejador e tempo de funcionamento

Fator	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P-valor
Água	1	43200,3	43200,3	177,08	0,000
Tubo	2	6185,4	3092,7	12,68	0,000
Tempo	3	74395,4	24798,5	101,65	0,000
Água x Tubo	2	23370,2	11685,1	47,9	0,000
Água x Tempo	3	35189,3	11729,8	48,08	0,000
Tubo x Tempo	6	5478,3	913	3,74	0,001
Água x Tubo x Tempo	6	10128,8	1688,1	6,92	0,000
Resíduo	576	140523,9	244		
Total	599	338471,6			

A análise de variância constatou diferença significativa em todos os fatores e interações, com isso abrimos desdobramento para os fatores com interação, posteriormente o teste de comparação de médias e análise de regressão. A análise direta dos fatores individuais não se faz necessário, pois eles não atuam independentemente.

A interação entre o fator água e tubo foi realizada o desdobramento, análise de variância e teste de comparação de médias para cada fator e relação ao outro. Na tabela 6 houve o desdobramento da interação, obtendo a análise de variância para cada nível.

Tabela 15. Análise de variância individual para cada nível dos fatores da interação água AR e AB, tubos gotejadores G1, G2 e G3

G1					
Fator	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P-valor
Água	1	145	145	0,37	0,543
Resíduo	198	77514	391		
Total	199	77659			
G2					
Água	1	14333	14333	29,9	0,00
Resíduo	198	94922	479		
Total	199	109256			
G3					
Água	1	14333	14333	29,9	0,00
Resíduo	198	94922	479		
Total	199	109256			
AB					
Tubo	2	4496	2248	14,19	0,00
Resíduo	297	47034	158		
Total	299	51530			
AR					
Tubo	2	25060	12530	17,02	0,00
Resíduo	297	218682	736		
Total	299	243742			

Para o desdobramento referente ao tipo de água para o tubo gotejador G1, não há diferença significativa entre os níveis de água, inferindo a não influência do tipo de água para o tubo gotejador G1 que possui menor labirinto. Segundo Yan et al. (2009) emissores com caminho de fluxo menores possui maior capacidade de antientupimento.

Para as médias foram submetidas a teste tukey de comparação, a Tabela 7 indica a classificação das médias e o agrupamento para cada nível dos fatores.

Tabela 16. Teste de comparação de médias para o desdobramento da interação entre os fatores água e tubo

Fatores	G1	G2	G3
AR	12,85 aA	20,28 aA	34,85 aB
AB	11,15 aA	2,35 bB	2,58 bB

Pares seguidos pela mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, pares seguidos pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si Tukey a 5% de probabilidade.

Para o fator AR os modelos de tubos gotejadores G1 e G2 não houve diferença significativa, mas diferenciaram de G3 que obteve a maior média de obstrução com 34,85%. Para AB os tubos G2 e G3 não houve diferença significativa em relação a variável resposta GE, e diferiram do tubo G1 que obteve a maior média de 11,1%.

Entre os tubos gotejadores o tubo G1 não diferiu estatisticamente em relação ao tipo de água, os outros modelos de tubos gotejadores obtiveram diferença, sendo as maiores médias registradas pela AR para a variável resposta GE.

O desdobramento da interação dos fatores tubo e tempo, água e tempo foram realizadas regressão para identificar a relação entre eles. Através do teste hipótese F a 5% de significância, identificou-se o tipo regressão adequada para relacionar o variável independente tempo com a dependente GE.

Na Tabela 8 a regressão linear para cada tipo de água e tubo, evidenciadas pela equação de regressão e o coeficiente de determinação R^2 .

Tabela 17. Desdobramento da interação dos fatores água x tempo e tubo x tempo, sendo a equação e coeficiente de determinação R^2

Água	Equação	R^2
AR	$GE = 0,0577\text{tempo} - 18,905$	0,979
AB	$GE = 0,000013\text{tempo}^2 - 0,0089\text{tempo} + 3,7471$	0,999
Tubo		
G1	$GE = 0,023\text{tempo} - 4,5362$	0,982
G2	$GE = 0,0345\text{tempo} - 13,033$	0,925
G3	$GE = 0,0447\text{tempo} - 13,503$	0,987

Teste F de a 5% de significância

Todas as regressões obtiveram o coeficiente de determinação a cima de 0,9. Para AB a regressão adequada para o ajuste da curva foi quadrática, indicado pelo teste F de hipóteses a 5% de significância. Infere-se a interferência do tempo em relação ao fator água e tempo.

Para a interação entre os três fatores, foi confeccionado um gráfico de interação (Figura 7) para a interpretação dos resultados. A interação demonstra a dependência entre os fatores e seus níveis, ou seja, um fator depende do outro para a variável resposta GE.

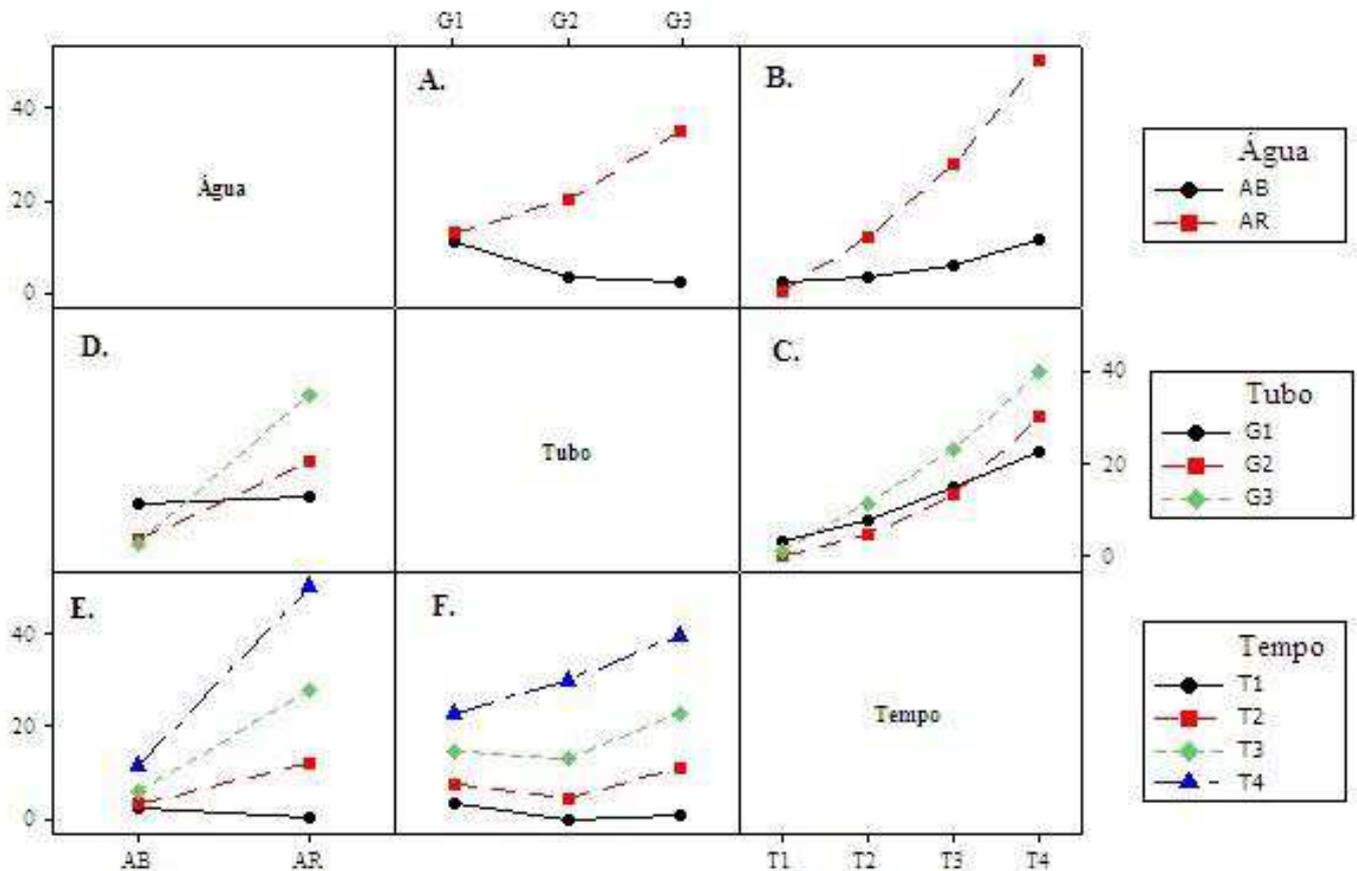


Figura 11. Gráfico de interação para os três fatores. (A)(D) tubo e água, (B)(E) tempo e água e (F)(C) tempo e tubo

Na Figura 7D o tubo G2 e G3 são inferiores para AB e superiores para AR em comparação com G1 na variável resposta GE, evidenciando a não interferência da água na irrigação por este tubo, mostrado também na Figura 7A, porém, na Figura 7B a partir do tempo T2 as águas se diferenciam chegando AR a valores superiores a 40% de GE, inferindo que características do tubo G1 mantém o GE inferior apesar da elevação que a água proporciona no tempo consequente da qualidade (Tabela 4).

Segundo Katz et al. (2014) os problemas de redução da vazão e aumento do coeficiente de variação, afunilam-se nos gotejadores, cujo estrutura espacial fornece um nicho favorável para a formação de biofilme, mesmo sob as condições ambientais de aplicação de tratamentos químicos de antientupimento. No fluxo de água pelo labirinto, há regiões de baixa velocidade próximo as paredes, propiciam o surgimento de um depósito de pequenas partículas, com isso a eliminação dessas regiões proporcionam melhor capacidade de autolimpeza (Li et al., 2008).

O GE diferencia em relação o fator água no tempo, evidenciado pela Figura 7E e Figura 7B, para os tempos há um acréscimo no GE, exceto para o T1, isto pode ser interpretado pela diminuição da perda de carga na tubulação devido à aglomeração de colônias bacterianas fixadas nas paredes do tubo. E posteriormente o acúmulo de material orgânico se eleva ocasionando o entupimento total ou parcial da tubulação. Busato & Soares (2010) encontraram incremento de 1% na vazão de um gotejador submetido à irrigação com água de baixa qualidade em 700h de uso.

A diferença nos tempos de obstrução, visualizada na Figura 7F e Figura 7C em relação ao fator tubo, e na Figura 7C e Figura 7F e relação ao fator água, demonstram valores baixos para T1, segundo Li et al. (2012) o entupimento de emissores operados com esgoto doméstico tratado é baixa nas primeiras 256 h de funcionamento, sendo T2 o limite de tempo para aplicação de agentes de desobstrução.

O variável quantitativo tempo sugere a realização de análise de regressão, sendo estas evidenciada na Tabela 9.

Tabela 18. Análise de regressão para a interação água, tubo e tempo, verificado pela equação e coeficiente de determinação R^2

Tubo/água	Equação	R^2
G3_AR	$GE = 0,0805\text{Tempo} - 23,131$	0,9789
G2_AR	$GE = 0,0626\text{Tempo} - 24,76$	0,964
G1_AR	$GE = 0,0301\text{Tempo} - 8,8249$	0,9947
G1_AB	$GE = 0,0158\text{Tempo} - 0,2476$	0,8861
G2_AB	$GE = 0,0065\text{Tempo} - 1,3061$	0,3676
G3_AB	$GE = 0,009\text{Tempo} - 3,875$	0,9714

Teste F a 5% significância

A regressão linear foi a de melhor ajuste, verificado pelo teste F a 5% para os fatores em interação, obtendo coeficiente de determinação R^2 próximo de 1, exceto para o tubo gotejador G2 e AB, indicando a não interferência do tempo para a variável resposta.

Pesquisas vinculadas ao entupimento dos gotejadores devem levar em conta, a qualidade de água como também as dimensões e formas do labirinto dos emissores.

CONCLUSÃO

Não houve diferença na obstrução temporal do tubo gotejador G1 entre as águas.

A baixa qualidade da água residuária em relação à população bacteriana, aliada ao formato das canaletas e dimensões do labirinto dos tubos gotejadores G2 e G3, proporciona maior aderência e proliferação do biofilme obstruindo o emissor.

Ha interação significativa entre os fatores tipo de água, tubo e tempos de funcionamento, indicando a dependência entre os fatores.

O grau de entupimento é menor para água residuária no T1 - 288 h, na qual propõe tomadas decisões para aplicação de produtos e processos de prevenção a obstrução dos gotejadores a partir de T2 - 576h.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada. São Paulo, p. 9, 2006.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Design and installation of micro irrigation systems. St. Joseph, 6 p. 2008.
- Ayers, R.S.; Westcot, D. N. - FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e alimentação – A qualidade da água na agricultura. Campina Grande – PB: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, n.29, revisado).
- Batista, R. O.; Costa, F. G. B.; Lopes, H. S. S.; Coelho, D. C. L.; Paiva, M. R. F. C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, p. 137-144, 2011.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. Revista Ceres, v.57, p. 18-22, 2010.
- Batista, R. O.; Costa, F. G. B.; Lopes, H. S. S.; Coelho, D. C. L.; Paiva, M. R. F. C. Efeito das características do esgoto doméstico na uniformidade de aplicação de sistemas de irrigação por gotejamento. Revista Caatinga, Mossoró, v. 24, p. 137-144, 2011.
- Bressan, D. F., Pereira, F. F. S., Ornellas, M., Alves, M. C. G., Lozano, M. R. L. O reuso de água na agricultura: teorias e práticas. In: Oliveira, E. L. Manual de

- utilização de águas residuárias em irrigação. ed. 1, Editora Fepaf, Botucatu, 2012. p. 120.
- Busato, C. C. M.; Soares, N. A. Desempenho de gotejadores, utilizando água de baixa qualidade química e biológica. *Biosci. J.*, v. 26, p. 739-746, 2010.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p. 355-365, 1998.
- Capra, A.; Scicolone, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 15, p.1529 - 1534, 2007.
- Cunha, F. N.; Oliveira, R. C.; Silva, N. F.; L. Moura, M. F.; Teixeira, M. B.; Filho, R. R. G. Variabilidade temporal da uniformidade de distribuição em sistema de gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 7, p. 248 - 257, 2013.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiébaud, J. T. L.; Sedyama, G.C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, p. 155-162, 1980.
- Favetta, G. M.; Botrel, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. *Scientia Agricola*, v.58, p.427-430, 2001.
- Fereres, E.; Organs, F.; Gonzalez-dugo, V. Reflections on food security under scarcity. *Journal of Experimental Botany*. Oxford, v. 62, p. 4079-4086, 2011.
- Haijun Liu & Guanhua Huang, Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural water management*, n. 96, p. 745 - 756, 2008.
- Katz, S.; Dosoretz, C.; Chen, Y.; Tarchitzky, J. Fouling formation and chemical control in drip irrigation systems using treated wastewater. *Irrigation Science*, v. 32, p. 459 - 469, 2014.
- Li, Y. K.; Liu, Y. Z.; Li, G. B.; Xu, T. W.; Liu, H. S.; Ren, S. M.; Yan, D. Z.; Yang P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. *Irrigation Science*, v.30, p. 43-56, 2012.
- Li, Y.; Yang, P.; Xu, T.; Ren, S.; Lin, X.; Wei, R.; Xu, H. CFD and digital particle tracking to assess flow characteristics in the labyrinth flow path of a drip irrigation emitter. *Irrigation Science*, v. 26, p. 427 - 438, 2008.

- Morata, G. T.; Dantas, G. F.; Dalri, A. B.; Palaretti, L. F.; Faria, R. T.; SANTOS G. O. Entupimento de gotejadores com uso de efluente de esgoto sob dois sistemas de filtragem. *Revista Brasileira Agricultura Irrigada*, v. 8, p. 86 - 97, 2014.
- Muyen, Z.; Moore, G. A.; Wrigley, R. J. Soil salinity and sodicity effects of wastewater irrigation in South East Australia. *Agricultural Water Management*, v. 99, p. 33-41, 2011.
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389-430.
- Pereira, B. F. F.; He, Z. L.; Stoffella, P. J.; Melfi, A. J. reclaimed wastewater: effects on citrus nutrition. *Agricultural Water Management*, v 98, p.1828-1833, 2011.
- Roig, N.; Sierra, J.; Martí, E.; Nadal, M.; Schuhmacher, M.; Domingo J. L. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 158, p. 41-48, 2012.
- Silva, K. B.; Silva Júnior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B.; Filho, S. B. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, v. 60, p. 339-346, 2013.
- Yan, D.; Bai, Z.; Mike, R.; Gu, L.; Ren, S.; Yang, P. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater, *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, p.834–841, 2009.

CAPÍTULO 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICAS DO MATERIAL CAUSADOR DA OBSTRUÇÃO EM TUBOS GOTEJADORES

RESUMO: O uso do esgoto doméstico tratado como fonte alternativa de recurso hídrico para a irrigação por gotejamento implica na utilização de água com baixa qualidade e alta variabilidade temporal de suas características, por conseguinte, a identificação das causas do entupimento para posterior desobstrução se torna complexa. O objetivo da pesquisa foi caracterizar os agentes de obstrução na irrigação por gotejamento operado com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento. O experimento consistiu na operação de três tubos gotejadores por 1188 h de funcionamento monitorados através do coeficiente de uniformidade de distribuição, uniformidade estatística e análises físico-química e microbiológica, e ao final do funcionamento a realização da microscopia óptica com identificação, microscopia eletrônica de varredura e análise do detector energia de raios-x dispersiva. As características de coliformes totais, manganês e ferro do esgoto doméstico tratado reduziram a concentração após passar pelo emissor, inferindo a aderência e acúmulo no interior do tubo gotejador. Constatou pela análise microscópica de varredura uma espécie de cobertura feita pelo biofilme por toda canaleta do labirinto, esse por sua vez é o principal agente causador da redução da uniformidade do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: biofilme, água residuária, irrigação por gotejamento

PHYSICO-CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL CAUSE OF OBSTRUCTION OF THE MATERIAL IN TUBES DRIPPERS

ABSTRACT: The use of treated sewage as an alternative source of water resources in drip irrigation involves the use of water with low quality and high temporal variability, so the identification of the causes of clogging for further clearance becomes complex. With this approach aimed to characterize the blocking agents in drip irrigation operated with treated sewage and water supply. The experiment consisted of the operation of three dripline 1188 hours of operation monitored through the distribution uniformity coefficient, statistical uniformity and physical-chemical and microbiological analyzes, and the end of the operation the realization of optical microscopy with identification,

scanning electron microscopy and analyzing the detector energy dispersive x-ray. The characteristics of coliforms, manganese and iron concentration reduced after analysis transmitter, inferring the adhesion and accumulation inside the emitter tube. Observed on microscopic examination a kind of scanning coverage of the biofilm throughout labyrinth channel, this in turn is the main causative agent for reducing the uniformity of the system.

KEY-WORDS: biofilm, wastewater, drip irrigation

INTRODUÇÃO

A irrigação com águas residuárias é uma realidade na agricultura, seja para benefício ambiental ou como alternativa de fonte hídrica, como é o caso de regiões com escassez de água. Segundo Cirelli et al. (2009) a utilização de águas residuais, com ou sem tratamento esta aumentando em regiões áridas e semiáridas, ele se trata de um recurso valioso, porém os efeitos ambientais do uso em irrigação tem que ser tida em conta.

A reutilização de efluentes segundo Alobaidy et al. (2010) pode efetivamente contribuir para preencher a lacuna crescente entre a demanda de água e a disponibilidade, principalmente em áreas semiáridas, mas se faz necessário uma pesquisa intensiva sobre os constituintes orgânicos e tóxicos em águas residuais. Ainda destacam a realização de um monitoramento periódico da qualidade da água residuária para garantir sucesso de utilização em longo prazo.

Para a aplicação de águas residuárias pela irrigação, a localizada por gotejamento proporciona melhores índices de uniformidade de distribuição, além de minimizar a contaminação da parte aérea da planta e dos colaboradores de campo. O maior problema com o uso da irrigação por gotejamento é o entupimento do emissor (Ahmed et al., 2007).

A qualidade da água influencia diretamente no processo de obstrução de emissores na irrigação por gotejamento, Silva et al. (2013) utilizaram efluente gerado no processamento da castanha de caju e constataram risco de obstrução de gotejadores em relação as características de pH, cálcio, magnésio, manganês, sólidos suspensos e sólidos totais. Batista et al. (2013) utilizaram na água residuária de suinocultura, e as características de ferro total e população bacteriana, caracterizam risco severo de entupimento de gotejadores.

Souza & Moreira (2012) concluíram que a formação de biofilme foi a principal causa de obstrução de gotejadores nos conjuntos de irrigação abastecidos com esgoto sanitário primário (ESP), secundária (ESS) e terciário (EST).

O princípio de funcionamento da microscopia eletrônica de varredura é a partir da emissão de feixes de elétrons que caracterizam a superfície da amostra, ponto a ponto, e transmitir o sinal do detector a uma tela catódica cuja varredura está perfeitamente sincronizada com aquela do feixe incidente. Por um sistema de bobinas de deflexão, o feixe pode ser guiado de modo a varrer a superfície da amostra segundo uma malha retangular. O sinal de imagem resulta da interação do feixe incidente com a superfície da amostra. O sinal recolhido pelo detector é utilizado para modular o brilho do monitor, permitindo a observação (Dedavid et al., 2007).

Yan et al. (2009) utilizando microscopia de varredura revelou a estrutura da matriz do biofilme formada de polissacarídeos extracelulares acoplados e sedimentos, desenvolvida no caminho de fluxo do emissor, e a existência de correlação da biomassa do biofilme e a redução na descarga após 360 h de funcionamento com efluente de esgoto tratado.

A formação de incrustações na tubulação proporcionam mudanças na vazão e no coeficiente de variação da vazão dos gotejadores Katz et al. (2014). Com tais modificações no fluxo de saída dos emissores, a uniformidade de aplicação é afetada, e consequentemente a produção agrícola.

Além da qualidade da água residuária aplicada, características de projeto, posicionamento e dimensões dos emissores contribuem para o acúmulo de elementos químicos e a aderência de colônias bacterianas. Gotejadores com maior comprimento de labirinto foram os mais suscetíveis ao entupimento quando da aplicação de esgoto sanitário tratado (Batista et al. 2008). Ribeiro et al. (2012) a arquitetura interna dos gotejadores foi o fator determinante no entupimento.

Dentre várias águas residuárias disponíveis para utilização da agricultura, o esgoto doméstico é abundante e de regime permanente nas regiões urbanas, porém há o risco de entupimento quando aplicado via irrigação por gotejamento. Neste contexto objetivou-se caracterizar os agentes de obstrução originados pela aplicação de esgoto doméstico tratado e água de abastecimento em três modelos de tubos gotejadores do tipo labirinto, através da uniformidade de distribuição, análise físico-química e microbiológica, análises por microscopia eletrônica de varredura e microscopia óptica.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O experimento foi realizado na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas 7° 16' 20'' S e 35° 56' 29'' O, e uma altitude de 550 m. A Classificação de Koeppen para o clima da região, é tropical com chuvas de outono e períodos de seca no restante do ano, denominado *As*.

A água de abastecimento (AB) utilizada foi a fornecida pela companhia de água e esgoto da Paraíba (CAGEPA). A água residuária (AR) utilizada decorre da estação de tratamento de esgoto (ETE) proveniente dos despejos de todo o instituto.

Tubos gotejadores

Para os ensaios foram utilizados três modelos de tubos gotejadores, todos com emissores do tipo labirinto não autocompensantes. Esses modelos são susceptíveis ao entupimento devido sua configuração ou características de fabricação, o qual a água deve passar por um longo percurso para perder energia a fim de uniformizar a descarga.

Os modelos de tubos escolhidos foram: Stremline 16080 da marca Netafim, com vazão nominal de 1,60 Lh⁻¹ a 100 kPa com espaçamento entre emissores de 0,30m, dimensões do labirinto de 0,66, 0,55 e 13 mm para largura, profundidade e comprimento respectivamente; Taldrip da marca Naadanjain com vazão nominal de 1,70 Lh⁻¹ a 100 kPa e espaçamento de 0,20 m; Tiran 16010 da marca Netafim, com vazão nominal de 2,00 Lh⁻¹ a 100 kPa e espaçamento de 0,40 m, com labirinto de 0,76, 1,08 e 75 mm.

Os modelos dos tubos gotejadores foram renomeados como G1 para Stremline 16080 Netafim, G2 para Taldrip Naadanjain e G3 para Tiran 16010 Netafim. Esses tubos gotejadores são utilizados largamente no Semiárido Brasileiro.

Foram utilizados cinco tubos gotejadores de cada modelo para os testes com AR e um tubo gotejador de cada modelo para os testes com AB.

Monitoramento da obstrução dos tubos gotejadores

Para a realização do experimento foi construída uma bancada de ensaios próxima a estação de tratamento de esgoto do INSA, a campo, permitindo a influência das características do clima.

A bancada possuía 10,00 m de comprimento, 2,00 m de largura e 1,50 m de altura (Figura 1). O sistema instalado possui um cabeçal de controle com filtro de disco 120 mesh, registro de abertura, hidrômetro, manômetro de glicerina e controlador de pressão para o controle da pressão de entrada em 100 kPa.

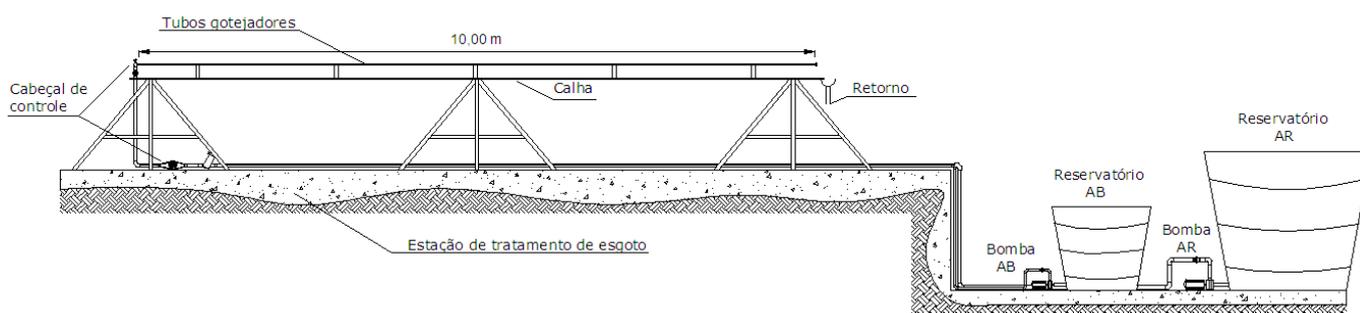


Figura 12. Corte longitudinal do sistema instalado em bancada, cabeçal de controle, sistema de armazenagem e bombeamento

O funcionamento do sistema iniciou-se no dia 26/06/2014 simultaneamente entre as águas, logo foi realizada a primeira avaliação com a obtenção das vazões em pontos na linha lateral. A coleta das vazões consistiu em coletar água por período de 4 min em cada ponto determinado com copos coletores, em seguida com uma proveta o volume foi contabilizado e transformado em valores de vazão (Lh^{-1}).

Para AR foi coletado o volume de água em pontos no sistema conforme recomendado por Deniculi (1980), consiste em indicar oito pontos de coleta ao longo da linha lateral, amostrando as vazões no primeiro gotejador, segundo a $1/7$ do número de gotejadores, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$, e o último gotejador, obtendo oito repetições em cada linha, constituindo um montante de quarenta valores de vazões por tubos gotejadores avaliados. Para AB foi avaliado separadamente vinte e cinco pontos ao longo da linha lateral, escolhidos aleatoriamente.

As avaliações posteriores à primeira de caracterização foram a cada 36 h, sendo 12 horas de funcionamento por dia. O limite para o funcionamento do sistema foi um valor superior a 1000 h, tempo necessário para a provável obstrução severa dos gotejadores observado por Liu e Huang (2008).

Com os dados de vazão foi realizado o cálculo do Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) Eq. 1, e coeficiente de uniformidade estatístico (Us) Eq. 2, com posterior classificação do sistema.

$$CUD = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

q_n - vazão média das 25% menores descargas dos emissores Lh^{-1} ;

q_a - vazão média dos emissores Lh^{-1} ;

Na Tabela 1 a classificação do sistema segundo os valores obtidos do CUD segundo ASABE (1996).

Tabela 19. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD

CUD (%)	Classificação
> 90	Excelente
75-90	Bom
62-75	Regular
50-62	Ruim
< 50	Inaceitável

Eq. 2. Uniformidade Estatística (Us).

$$Us = 100 (1 - CVq) \quad (2)$$

A classificação do sistema para valores obtidos da Us segundo Favetta & Brotel (2001) estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 20. Classificação o sistema referente ao valor obtido de Us

Us (%)	Classificação
> 90	Excelente
80 a 90	Muito Bom
70 a 80	Regular
60 a 70	Péssimo
< 60	Inaceitável

Foi realizada análise estatística de regressão utilizando o software Minitab® 16 e Microsoft Excel para análise e organização dos dados.

Qualidade físico-química e microbiológica

As análises físico-química e microbiológica foram feitas do início do experimento como caracterização para AR e AB, posteriormente devido à variabilidade das características da água foram realizadas a cada quinze dias para AR, sendo uma amostra retirada na parte mediana do reservatório de bombeamento, com auxílio de um dispositivo sifão para a coleta. Outra amostra foi coletada na saída dos emissores, aleatoriamente entre os tubos gotejadores por todo o comprimento.

As análises foram realizadas pelo laboratório de referência em dessalinização (LABDES) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como também as análises microbiológicas da AR durante o experimento. As demais análises físico-químicas da AR foram realizadas pelo laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) e ao Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) localizados na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA).

Os tempos de funcionamento para cada coleta de água para análise pode ser visualizada na Tabela 3.

Tabela 21. Tempo de funcionamento do sistema para a amostragem de AR para análise físico-química e microbiológica

Amostra	Horas de funcionamento
R1 e G1	108
R2 e G2	324
R3 e G3	504
R4 e G4	648
R5 e G5	828
R6 e G6	1044
R7 e G7	1188

R - nomeação da amostra referente à coleta realizada no reservatório, TG - nomeação da amostra referente a coleta realizada pós emissor

As amostras microbiológicas foram acondicionadas e identificadas em recipientes autoclavados, em seguida despachadas diretamente para o laboratório, sendo analisado o número de *coliformes totais* em unidades formadoras de colônia (UFC) da amostra.

As amostras físico-químicas foram acondicionadas e identificadas em garrafas plástica de 2 L, posteriormente foram armazenadas em congeladores para serem despachadas para análise. Foram analisadas no decorrer da obstrução o potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE), potássio (K), sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Cloreto (Cl), carbonato, bicarbonato, sólidos suspensos (SS), sólidos dissolvidos (SD), ferro total (Fe) e Manganês (Mn), Sendo classificados segundo o

preconizado por Ayers, R, S; Westcot (1991), (b) Nakayama et al, (2006), (c) Capra & Scicolone, (1998).

Microscopia eletrônica de varredura

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento principalmente utilizado na engenharia, capaz de produzir imagens de alta ampliação e resolução. Pode fornecer rapidamente informações sobre a morfologia e identificação de elementos químicos de uma amostra sólida. O MEV utilizado para a obtenção das imagens e análise de EDS (detector energia de raios-x dispersiva) é da marca Shimadzu Corporation® - Superscan SSX-550.

Para as análises no MEV foram cortadas e retiradas uma canaleta do labirinto de fluxo do emissor de cada modelo de tubo gotejador nos dois tipos de água ao final do experimento, totalizando seis amostras.

Para melhorar o nível de emissão de elétrons as amostras foram submetidas a um processo de metalização com íons metálicos de ouro, onde são colocadas em uma câmara com pressão em torno de 0,1 a 0,05 mbar. O alvo metálico é bombardeado com átomos de gás inerte, com isso os átomos do alvo são depositados sobre a amostra.

A análise por EDS permite identificar a composição da amostra em pontos na imagem, informando o percentual de tal elemento. É um sistema XRF (fluorescência de raios-X), que utiliza sinais de raios-X para excitar uma amostra. Os elementos presentes na amostra emitem seus raios-X característicos, a EDS detecta estes raios-X e, qualitativamente, determina quais elementos estão presentes no material.

Identificação microbiológica

Amostras de AB e AR foram coletadas e acondicionadas conforme as normas da NBR 9898/85 para identificação taxonômica dos organismos presentes nas duas águas.

As amostras do biofilme de AR e AB, retiradas do interior dos tubos gotejadores foram acondicionadas em recipientes plásticos e retiradas para avaliação microscópica utilizando pipeta simples e lâmina de microscopia óptica, o procedimento consistiu em:

1 - Foi pipetada em pipeta simples uma quantidade de amostra equivalente a 1 ml e recolocado tal volume sobre a lâmina de microscopia utilizando a técnica de esfregação, que consiste em espalhar com uma espátula em sentido único a água sobre a lâmina.

Nessa técnica foram feitas três repetições tanto para água residuária quanto para água de abastecimento.

2 - Além da técnica de esfregaço, também foram feitas triplicatas para os dois tipos de água, utilizando a técnica de lâmina simples aquecida em Bico de Bunsen até total evaporação da água sobre a lâmina. Não foram utilizados corantes e substâncias de neutralização ou fixação.

Após o preparo e identificação das lâminas, foi utilizado um microscópio óptico de marca Leica® para visualização de todas as lâminas nos aumentos de 4X, 10X e 40X e 100X. A técnica de visualização foi a de leitura de transectos do início ao fim da amostra em todas as triplicatas para os dois tipos de água.

No decorrer da avaliação microscópica foram realizadas fotografias digitais para o registro das principais visualizações de colônias bacterianas, bactérias isoladas e demais microorganismos identificados.

Para a identificação em escala de gênero foi utilizada a técnica de chave taxonômica e posterior quadro comparativo de imagens.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uniformidade de aplicação com AR e AB

Os tubos gotejadores foram submetidos a 1188 horas de funcionamento, na Figura 2 são apresentados o CUD para cada qualidade de água e modelo de tubo gotejador ao longo do tempo. Segundo Souza et al. (2006) CUD é um coeficiente sensível a pequenas variações na distribuição de água de um sistema de irrigação, para Cunha et al. (2009) o CUD penaliza o sistema, pois emissores pontuais com 100% de entupimento impulsionam o CUD para valores muito baixos, por se tratar da relação entre o menor quartil dos dados analisados pela média.

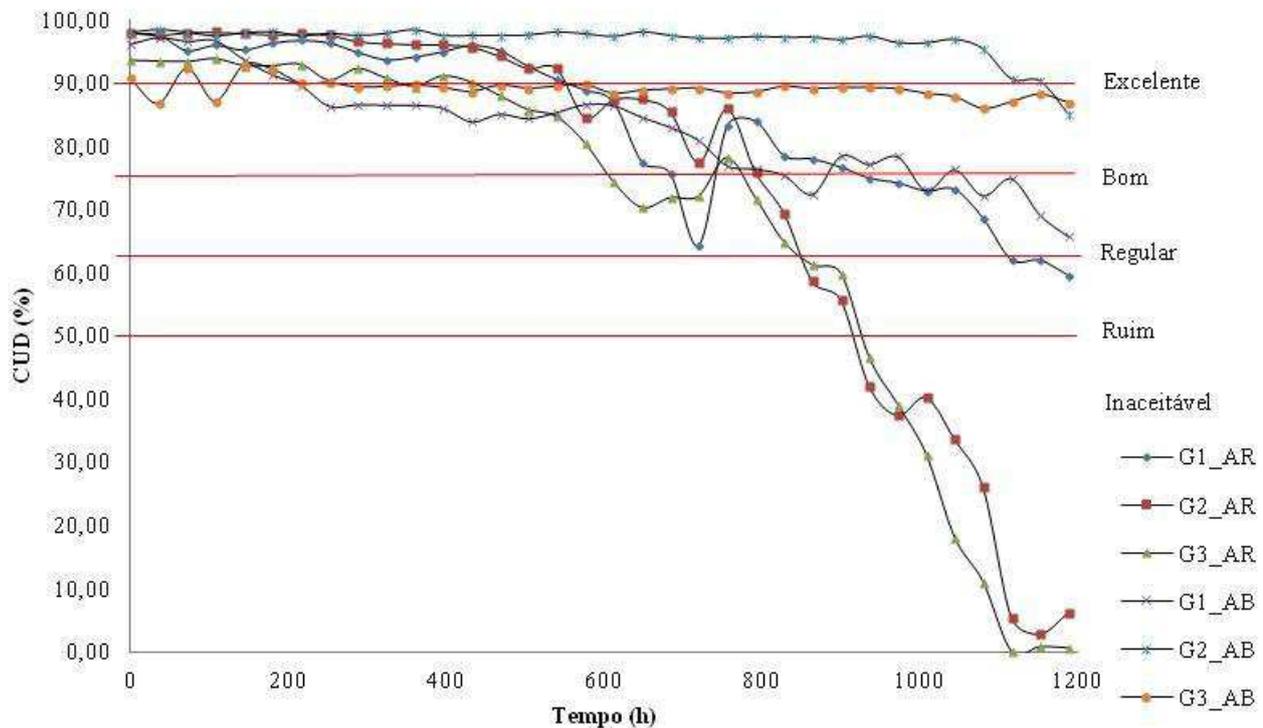


Figura 13. Coeficiente de uniformidade de distribuição para a AR e AB e os modelos de tubos gotejadores G1, G2 e G3 ao longo do tempo de funcionamento

Para AR ao final das 1188 horas de funcionamento os tubos gotejadores G2 e G3 obtiveram a classificação “inaceitável”, e G1 foi classificado como “ruim”. Considerando a classificação do sistema como bom para o limite da uniformidade para a aplicação de processos ou produtos contra a obstrução, os tubos gotejadores ultrapassaram esse limite com 936, 828 e 792 h para G1, G2 e G3 respectivamente.

A AB obteve ao final de 1188 h classificação como “bom” para G2 e G3, sendo G1 classificado como “regular”, passando a faixa da classificação de bom com 1080 horas de funcionamento. Observou-se maior número de emissores com 100% de entupimento, afetando diretamente o CUD.

No que se refere aos sistemas de irrigação localizada, o coeficiente de uniformidade de distribuição não difere dos valores encontrados quando se utiliza o coeficiente de uniformidade de Hart e a eficiência padrão da HSPA (Cunha et al, 2009). O CUD leva as menores uniformidades tubos gotejadores com maior número de emissores com 100% de entupimento.

Na Tabela 4 a análise de regressão para o CUD para cada água e os tubos gotejadores, em relação ao tempo de funcionamento. As análises de regressão foram submetidas análise de variância e teste F para obter o melhor ajuste.

Tabela 22. Análise de regressão para o CUD em função ao tempo de funcionamento com a equação e coeficiente de determinação R^2 para cada água e tubo gotejador

Água	Tubo	Equação	R^2
AR	G1	$CUD = 98,32 - 0,007318 \text{ Tempo} - 0,000020 \text{ Tempo}^2$	0,87
	G2	$CUD = 89,94 + 0,07107 \text{ Tempo} - 0,000123 \text{ Tempo}^2$	0,97
	G3	$CUD = 85,63 + 0,06374 \text{ Tempo} - 0,000117 \text{ Tempo}^2$	0,96
AB	G1	$CUD = 95,92 - 0,02182 \text{ Tempo}$	0,89
	G2	$CUD = 99,92 - 0,02237 \text{ Tempo} + 0,000055 \text{ Tempo}^2$	0,83
	G3	$CUD = 89,76 + 0,000944 \text{ Tempo} - 0,000003 \text{ Tempo}^2$	0,31

Teste F significativo a nível 5% para todas as equações

As regressões que melhor se ajustaram foram à quadrática, exceto para AB G1, nesta a regressão linear melhor se ajustou aos dados. Para AB G3 o coeficiente de determinação R^2 foi inferior aos demais, apesar da significância adquirida não obteve um bom índice de relação.

A U_s é um coeficiente de uniformidade que utiliza como medida de dispersão o coeficiente de variação (CV), ou seja, a variação do desvio-padrão existente em relação a média. Ao longo do tempo de funcionamento a um aumento da dispersão dos dados, aumentando o CV e conseqüentemente diminuindo U_s . Na Figura 3 a variação do U_s no tempo de funcionamento.

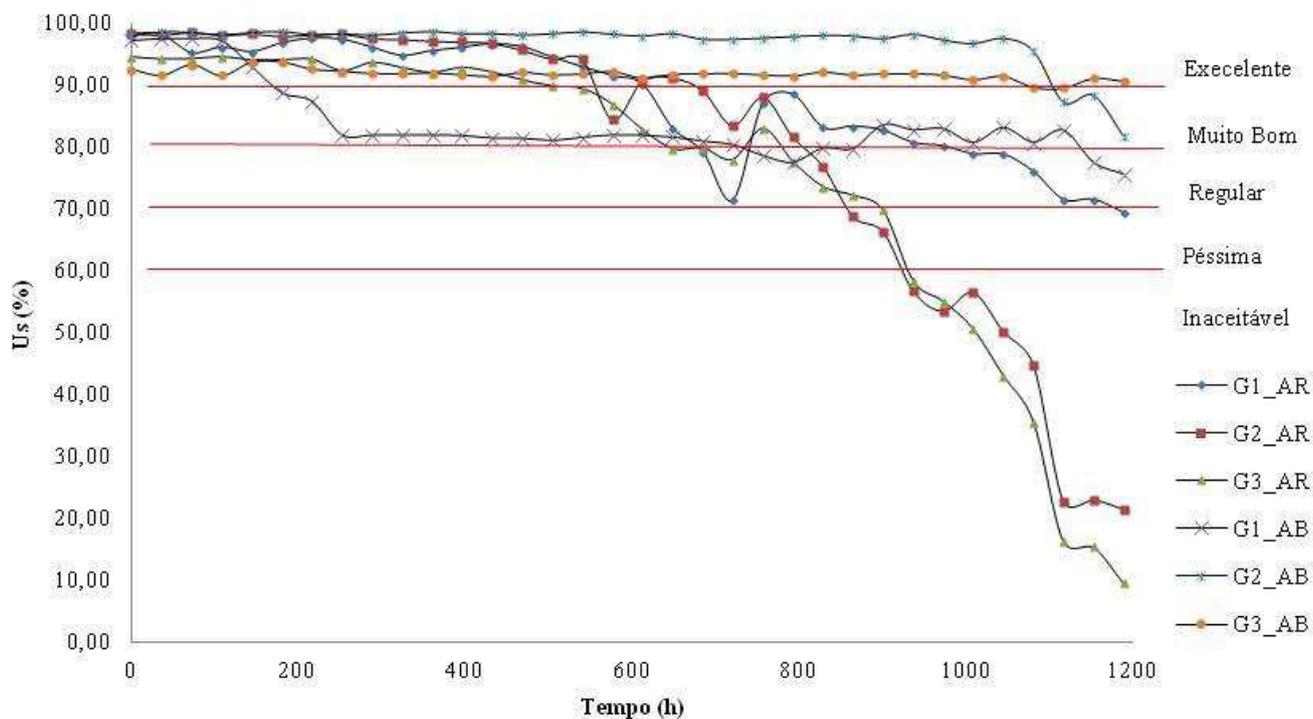


Figura 14. Uniformidade estatística U_s para as águas e tubos gotejadores em relação ao tempo de funcionamento, evidenciando a classificação adotada

AR obteve a Us inferiores ao final de 1188 h de funcionamento, chegando a 21,37 e 9,49% para G2 e G3 classificando os tubos gotejadores como irrigação inaceitável, Para G1 ao final do experimento obteve 69,31% adquirindo a classificação de péssimo. Considerando a classificação de regular para aplicação de processos e produtos de desobstrução os tubos gotejadores G1, G2 e G3 alcançaram tal classificação na marca de 1152, 828 e 756 h.

A análise de regressão relacionando Us e o tempo de funcionamento (Tabela 5). Foram submetidas a teste F com nível de 5% de significância.

Tabela 23. A análise de regressão para a variável Us em função do tempo de funcionamento, com equação e coeficiente de determinação R^2 para cada água e tubo gotejador

Água	Tubo	Equação	R
AR	G1	$Us = 98,14 - 0,005419 \text{ Tempo} - 0,000015 \text{ Tempo}^2$	0,84
	G2	$Us = 91,07 + 0,06054 \text{ Tempo} - 0,000100 \text{ Tempo}^2$	0,97
	G3	$Us = 85,48 + 0,06750 \text{ Tempo} - 0,000106 \text{ Tempo}^2$	0,96
AB	G1	$Us = 96,54 - 0,04255 \text{ Tempo} + 0,000026 \text{ Tempo}^2$	0,72
	G2	$Us = 95,84 + 0,01634 \text{ Tempo} - 0,000018 \text{ Tempo}^2$	0,62
	G3	$Us = 92,69 - 0,001659 \text{ Tempo}$	0,46

Teste F significativo a nível 5%

A regressão que melhor se ajustou aos dados foi à quadrática, tendo os melhores coeficientes de determinação R^2 para AR. Para AB G3 a equação linear que se adequou aos dados, porem o R^2 foi baixo inferindo a baixa relação entre as variáveis.

A vazão dos tubos gotejadores reduziram ao final do tempo de funcionamento, 20,74, 55,12 e 70,40% para G1, G2 e G3 operando com AR. Para os tubos gotejadores em funcionamento com AB e redução foi de 18,35, 9,57 e 8,57% respectivamente para G1, G2 e G3.

Obstrução físico-química e microbiológica

As análises de caracterização da AR e AB estão demonstradas na Tabela 6. Por se tratar de AR de esgoto doméstico e suas características apresentam altos índices de variabilidade e alto potencial de obstrução, as demais análises de água durante o experimento foi realizado para AR.

Tabela 24. Caracterização da AB e AR anterior ao início do experimento com condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C), pH, Cálcio (mgL⁻¹), Magnésio (mgL⁻¹), Potássio (mgL⁻¹), Ferro Total (mgL⁻¹), Cloreto (mgL⁻¹), Nitrato (mgL⁻¹), Nitrito (mgL⁻¹), carbonatos (mgL⁻¹), Bicarbonatos (mgL⁻¹), Sílica (mgL⁻¹) e Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mgL⁻¹)

Parâmetros físico-químicos	Resultados	
	AB	AR
Condutividade Elétrica (mmho/cm a 25°C)	1092 ** (a)	2139 ** (a)
pH	6,6 * (a)	7,6 * (a)
Cálcio (mgL ⁻¹)	26,6 * (ab)	48 * (ab)
Magnésio (mgL ⁻¹)	35 * (ac)	37,2 * (ac)
Potássio (mgL ⁻¹)	5,3 *** (a)	60,6 *** (a)
Ferro Total (mgL ⁻¹)	0,01 * (abc)	0,08 * (abc)
Cloreto (mgL ⁻¹)	305,3 * (a)	388,7 * (a)
Nitrato (mgL ⁻¹)	0,04 * (a)	0,66 * (a)
Nitrito (mgL ⁻¹)	0,00	0,03 * (a)
Carbonatos (mgL ⁻¹)	0,00	0,00
Bicarbonatos (mgL ⁻¹)	84 * (a)	203,2 * (a)
Sílica (mgL ⁻¹)	3,7 (a)	6,2 (a)
Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C (mgL-1)	662,4 ** (bc)	1160 ** (bc)
Parâmetro Microbiológico		
Coliformes Totais (UFC)	520* (ab)	10112** (ab)

* Menor risco de entupimento, ** Intermediário risco de entupimento, *** Elevado risco de entupimento.

Classificação segundo: (a) Ayers & Westcot (1991), (b) Nakayama et al. (2006), (c) Capra & Scicolone (1998).

Todos os parâmetros físico-químicos foram classificados com o mesmo risco de obstrução para AR como para AB, destacando risco elevado para o Potássio, e intermediário para condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos (STD). O parâmetro microbiológico de *coliformes totais* obteve menor risco para AB e intermediário para AR, evidenciando a carga bacteriana superior para AR.

As análises no decorrer do experimento estão apresentadas na Tabela 7. Os elementos analisados foram classificados pelo risco de obstrução segundo Ayers & Westcot (1991), Nakayama et al. (2006) e Capra & Scicolone (1998).

Tabela 25. Análise da AR nos sete tempos de funcionamento, sendo a amostragem realizada no reservatório com as características de condutividade Elétrica (dS/m), pH, Cálcio (mmolcL⁻¹), Magnésio (mmolcL⁻¹), Potássio (mmolcL⁻¹), Sódio (mmolcL⁻¹), Ferro Total (mgL⁻¹), Cloreto (mgL⁻¹), Manganês (mgL⁻¹), Sólidos dissolvidos (mgL⁻¹), Sólidos Suspensos (mgL⁻¹), População bacteriana (UFC)

	Análise Reservatório							
	108	324	504	648	828	1044	1188	
Condutividade Elétrica (dS/m)	1,22*	1,22*	1,23*	0,94*	1,55*	0,53*	0,57*	a
pH	8,10***	7,80***	7,10**	7,00**	6,6*	7,80***	7,40**	b
Cálcio (mmolcL ⁻¹)	2,70*	3,50*	3,10*	3,40*	2,70*	1,70*	1,40*	c
Magnésio (mmolcL ⁻¹)	2,90**	2,50**	2,30**	2,60**	3,20**	2,40**	1,40**	c
Potássio (mmolcL ⁻¹)	1,21***	1,33***	1,10***	0,92***	1,13***	0,64***	0,85***	a
Sódio (mmolcL ⁻¹)	7,62*	8,33*	7,44*	6,61*	6,65*	3,31*	3,05*	a
Ferro Total (mgL ⁻¹)	0,02**	0,02**	0,03**	0,03**	0,02**	0,018*	0,08**	b
Cloreto (mgL ⁻¹)	8,80*	10,80*	9,00*	9,40*	9,20*	8,20*	7,20*	a
Manganês (mgL ⁻¹)	0,014*	0,028*	0,015*	0,023*	0,019*	0,052*	0,248**	b
Sólidos dissolvidos (mgL ⁻¹)	804**	740**	816**	818**	842**	846**	710**	bc
Sólidos Suspensos (mgL ⁻¹)	80**	100**	40*	30*	50*	110***	70**	b
População bacteriana (UFC)	66530***	101120***	101120***	101100***	1101000***	1101000***	101120***	ab

* Menor restrição ao uso, ** Intermediária restrição, *** Elevada restrição.

Classificação segundo: (a) Ayers, R, S; Westcot (1991), (b) Nakayama et al, (2006), (c) Capra & Scicolone, (1998),

A análise de AR em todos os tempos de funcionamento obteve a classificação de elevada restrição ao uso para irrigação para o potássio e a população bacteriana.

As restrições para o potássio está relacionada principalmente ao uso em solo e na nutrição das culturas. Em seus estudos Ribeiro et al. (2010) não observaram elevado entupimento com aplicação de fontes de potássio, principalmente dos cloretos de potássio branco e vermelho, porém ressalva a importância de não conter outros elementos na composição de tais fontes.

Batista et al. (2008) constataram na aplicação de esgoto doméstico tratado em sistemas de irrigação por gotejamento, risco de obstrução do emissores nas propriedades dos sólidos suspensos, manganês, ferro e coliformes totais. Na AR analisada o manganês e o ferro foram classificados com intermediária restrição na utilização na irrigação, para os sólidos suspensos a restrição foi elevada em 1044 h de funcionamento.

As análises físico-químico e microbiológica da AR depois da passagem pelo sistema de bombeamento, recalque e emissor em teste, estão na Tabela 8.

Tabela 26. Análise da AR nos sete tempos de funcionamento, da amostragem realizada depois da passagem pelo emissor com as características de condutividade Elétrica (dS/m), pH, Cálcio (mmolcL⁻¹), Magnésio (mmolcL⁻¹), Potássio (mmolcL⁻¹), Sódio (mmolcL⁻¹), Ferro Total (mgL⁻¹), Cloreto (mgL⁻¹), Manganês (mgL⁻¹), Sólidos dissolvidos (mgL⁻¹), Sólidos Suspensos (mgL⁻¹), População bacteriana (UFC)

	Tempo de funcionamento (h)							
	108	324	504	648	828	1044	1188	
Condutividade Elétrica (dS/m)	1,35*	1,17*	1,19*	1,03*	1,71*	1,05*	1,41*	a
pH	7,60***	7,80***	6,70*	6,70*	7,40**	7,5**	7,60***	b
Cálcio (mmolcL ⁻¹)	4,10*	2,70*	2,90*	2,50*	2,70*	1,80*	2,10*	c
Magnésio (mmolcL ⁻¹)	2,40**	2,40**	2,90**	2,30**	3,60**	2,40**	2,10**	c
Potássio (mmolcL ⁻¹)	1,36***	1,02***	0,91***	0,82***	1,39***	0,99***	1,6***	a
Sódio (mmolcL ⁻¹)	8,55*	6,48*	6,95*	6,10*	7,83*	4,13*	5,90*	a
Ferro Total (mgL ⁻¹)	0,009*	0,01*	0,008*	0,015*	0,016*	0,02*	0,08**	b
Cloreto (mgL ⁻¹)	10,00*	8,20*	9,00*	8,40*	10,40*	8,60*	7,20*	a
Manganês (mgL ⁻¹)	0,035*	0,034*	0,03*	0,034*	0,078*	0,048*	0,12*	b
Sólidos dissolvidos (mgL ⁻¹)	694**	828**	840**	750**	926**	804**	682**	bc
Sólidos Suspensos (mgL ⁻¹)	110***	100**	80**	50**	70**	100**	110***	b
População bacteriana (UFC)	48215**	8704*	87040***	101100***	658000***	1101000***	79150***	ab

* Menor risco de entupimento, ** Intermediário risco de entupimento, *** Elevado risco de entupimento.

Classificação segundo: (a) Ayers & Westcot (1991), (b) Nakayama et al. (2006), (c) Capra & Scicolone. (1998).

As análises de AR após passagem pelos emissores apresentaram redução do ferro total, manganês e população bacteriana em de 35,89, 5,01 e 22,06% em relação as análises das amostras coletadas no reservatório. Infere-se a redução de tais parâmetros o depósito e aderência nas tubulações e emissores, conseqüentemente a redução na vazão e uniformidade.

Para esses parâmetros foi realizada análise de regressão múltipla, com teste t a 5% de significância, se significativos fazem parte do modelo. Na Tabela 9 são apresentados regressão múltipla para ferro, manganês e população bacteriana em relação à vazão dos três modelos de tubos para AR na amostragem realizada depois do emissor.

Tabela 27. Regressão linear múltipla relacionando a vazão média dos gotejadores em um função teor de ferro e *coliformes totais*

Tubo	Equação	R ²
G1	-	-
G2	Q= 1,65 - 11,3 Fe - 0,0000001 Coliformes Totais	0,98
G3	Q= 0,76 + 834 Fe + 0,000033 Coliformes Totais	0,92

Teste t significativo a 5% para todas as equações

Para os tubos gotejadores G2 e G3 as características de ferro e coliformes totais foram significativas e fizeram parte do modelo de regressão, obtendo um coeficiente de determinação R^2 de 0,98 e 0,92 respectivamente, valores próximos de 1 indicando a relação entre as variáveis.

Para G1 nenhuma das características foi significativa a 5% para o teste t, assim como o manganês para os tubos G2 e G3. Demonstra a correlação com tubos gotejadores que possuem maiores índices de entupimento e menor uniformidade no decorrer do tempo, Menores percentagens de redução dos elementos também não tem significância.

As características de ferro, manganês e coliformes totais não foram significativas para o modelo de regressão múltipla nas amostragens realizadas no reservatório, como também não houve significância em regressões realizadas com a diferença entre as amostragem no reservatório e pós-emissor.

Identificação microbiológica do biofilme formado pela aplicação de AB e AR.

A análise de microscopia óptica proporcionou a identificação dos principais componentes microbiológicos existentes na AB, podendo ser visualizada na Figura 4.

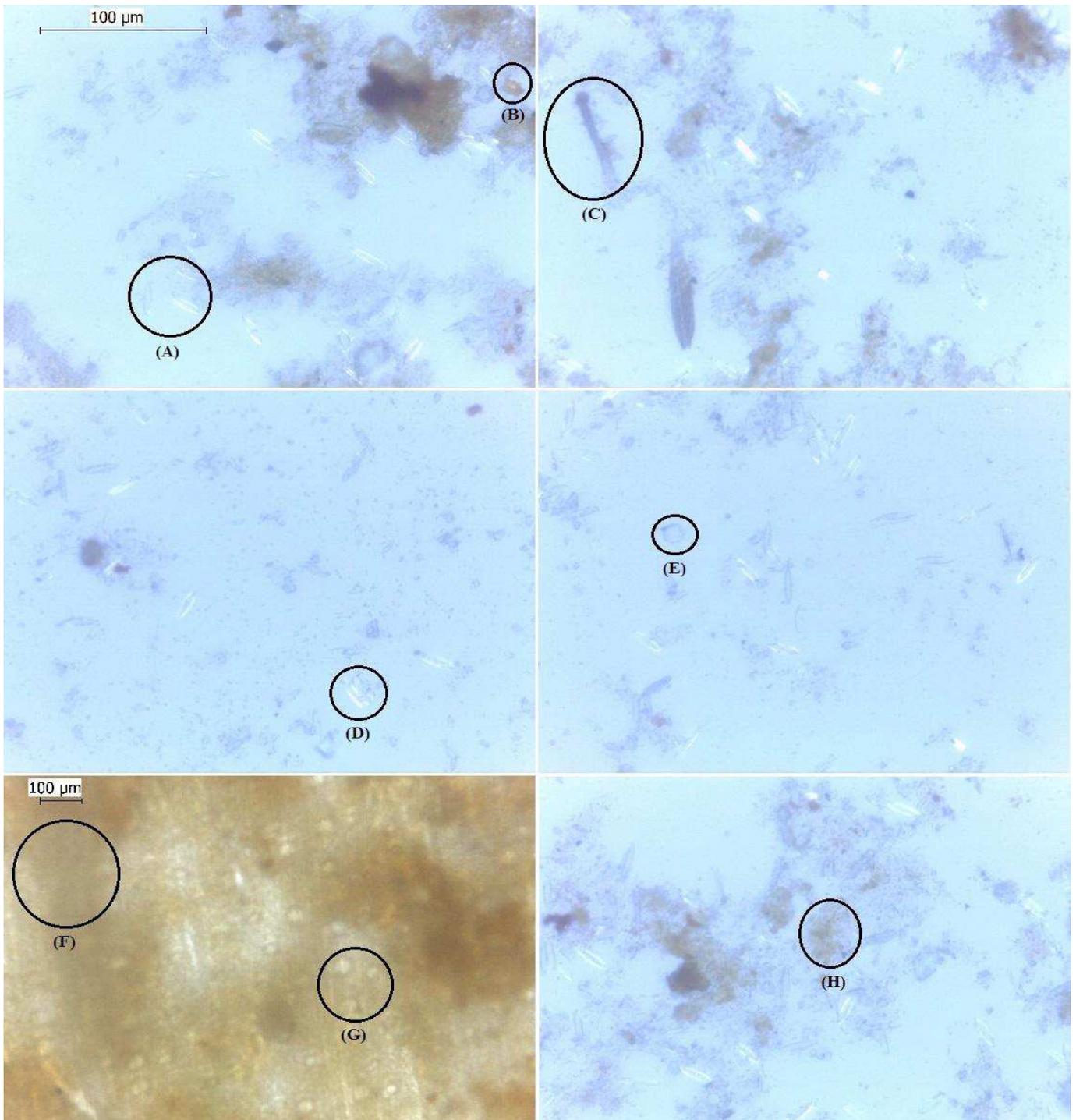


Figura 15. Identificação dos principais componentes microbiológicos existente no biofilme da AB: (A) Diatomáceas sugestivo de *Gomphonema sp.*; (B) *Coliformes fecais*; (C) Alga clorofilada sugestivo de *Espirogira sp.*; (D) Reprodução assexuada do tipo duplicação em bactéria de forma bacilar; (E) Sugestivo de ovo de *Ascaris lumbricoides*; (F) Formação de biofilme; (G) Sugestivo de bactérias de formas cocos; (H) Colônia de *Microcystis aeruginosa*.

Na identificação de microscopia óptica para amostra de biofilme formado utilizando de AB, foi possível classificar os organismos como algas unicelulares, algas pluricelulares, cianobactérias e bactérias.

Foram encontradas Diatomáceas, sugestivo de serem do gênero *Gomphonema sp.* (A), Coliformes fecais em pequena quantidade (B), alga clorofilada do gênero *Espirogira* (C), além de identificados organismos sugestivos de serem ovos de Helmintos (E) e bactérias bacilares (D).

Também foi possível identificar a formação de Biofilme (F), bactérias de forma coccus ecologia bacteriana de *Microcystis aeruginosa* formadora de biofilme.

Na amostra de biofilme formado com água de abastecimento observou-se presença inferior de *Coliformes fecais* quando comparado com a amostra de biofilme proveniente de água residuária.

Na Figura 5 estão a identificação realizada por microscopia óptica para amostra do biofilme formado utilizando AR.

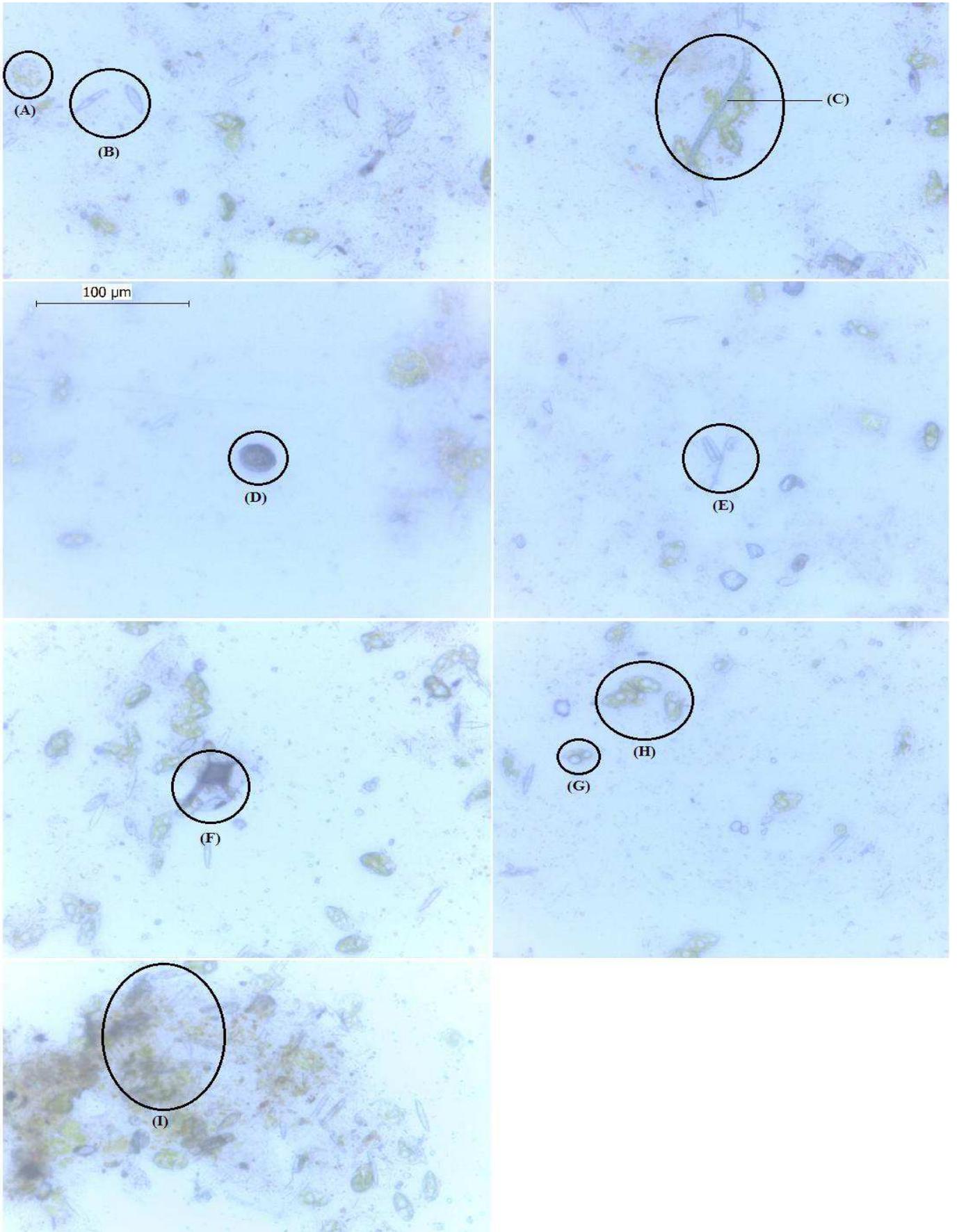


Figura 16. Identificação dos principais componentes microbiológicos existente no biofilme da AR: (A) Colônia de *Microcystis aeruginosa*; (B) Diatomáceas sugestivo de *Gomphonema sp.*; (C); Alga clorofilada sugestivo de *Espirogira sp.*; (D) Ovo de *Ascaris lumbricoides*; (E) Reprodução assexuada do tipo duplicação em bactéria de forma bacilar; (F) Alga clorofilada sugestivo de Dinoflagelada; (G) Bactéria de forma cocos; (H) *Coliformes fecais*; (I) Formação de biofilme.

Na identificação de microscopia óptica para amostra de AR, foi possível classificar os organismos como algas unicelulares, algas pluricelulares, cianobactérias e bactérias. Na Figura 5, foram encontradas colônias de cianobactéria do tipo *Microcystis aeruginosa* (A) com capacidade de formar biofilme (I) através da utilização dos substratos existentes, conforme Bicudo & Menezes (2010).

Outro grupo identificado foram as algas do tipo Diatomácea, sugestivo de serem do gênero *Gomphonema sp.* (B) e do grupo das Dinoflageladas (F). Tais algas apresentam em sua composição a sílica que pode reagir quimicamente com demais substâncias da água provocando encrustações. Outro microorganismo clorofilado encontrado foi do gênero *Espirogira* (C) de acordo com Menezes & Bicudo (2010).

Dos organismos do reino Monera também foram identificados bactérias em forma de cocos, bacilos e *Coliformes fecais*. Verificou-se a presença em maior número de bactérias do tipo *Coliformes fecais*, seguido de algas do tipo Diatomáceas.

Microscopia eletrônica de varredura e análise de EDS para os tubos gotejadores obstruídos com AB e AR.

As imagens de alta resolução fornecida pelo MEV mostra o biofilme formado nas paredes do labirinto (Figura 6). Segundo Batista et al, (2010) a obstrução de gotejadores operados com esgoto doméstico tratado é causada pelo biofilme, um resultante da interação entre colônias de bactérias e algas ocasionando entupimento parcial ou total dos emissores, Na Figura 6 são apresentadas as imagens realizadas pelo MEV, mostrando o labirinto de cada gotejador e as colônias bacterianas aderidas.

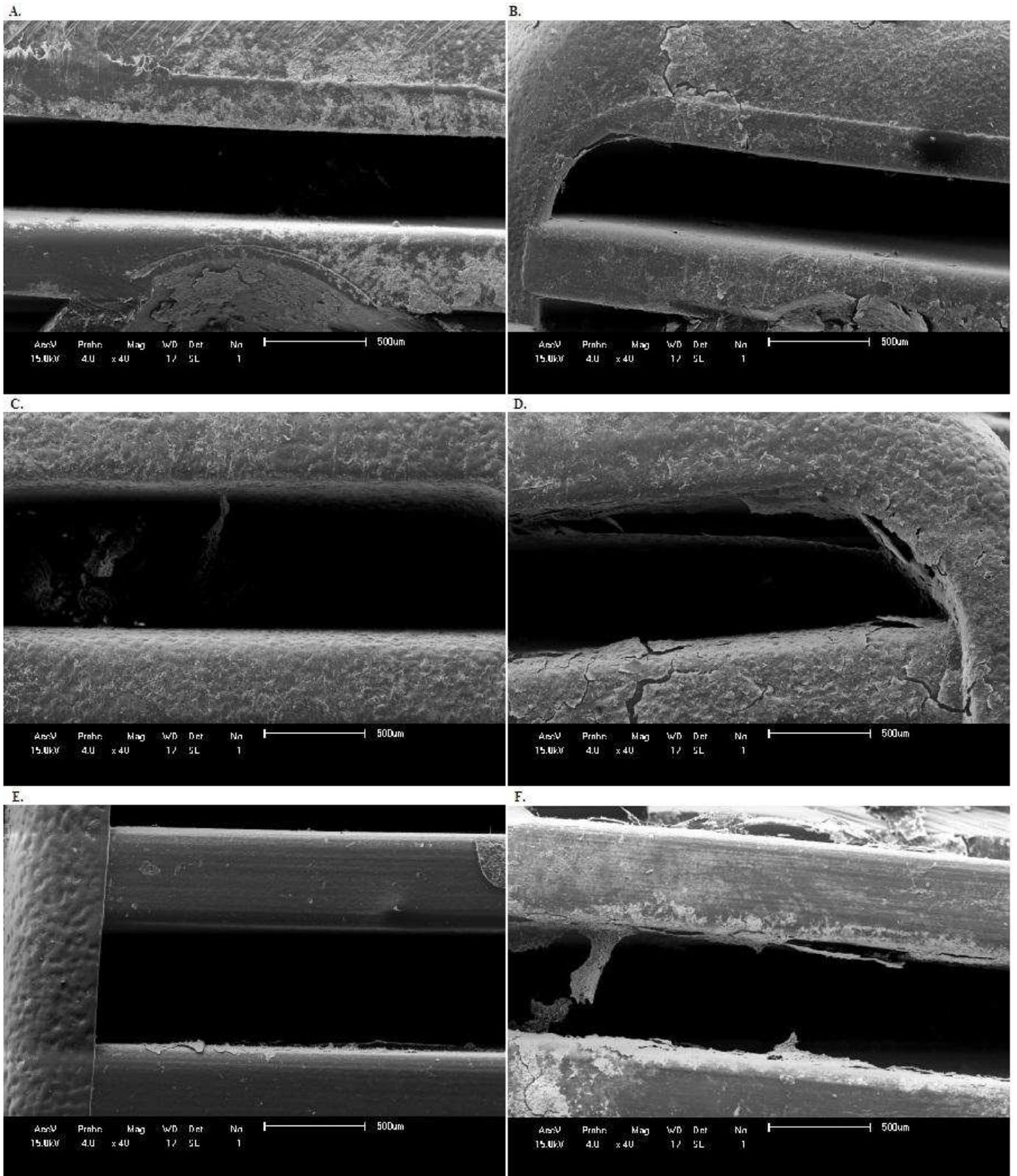


Figura 17. Imagens do biofilme aderido às paredes do labirinto dos emissores aumentadas 40x fornecidas pelo microscópio eletrônico de varredura, (A) G1 AB, (B) G1 AR, (C) G2 AB, (D) G2 AR, (E) G3 AB, (F) G3 AR

As interações de colônias bacterianas formam uma cobertura por todo o labirinto, impedindo o fluxo de água e acarretando diminuição na vazão dos emissores, consequentemente a uniformidade baixa de aplicação. Li et al. (2012) utilizaram MEV e visualizaram o biofilme depositado de forma contínua na entrada e na saída do caminho labirinto, resultando no principal motivo para o entupimento emissor.

Para as análises do MEV as amostras devem estar sem umidade, completamente secas, com isso há uma redução no biofilme ocasionando uma menor observação do entupimento causado na canaleta do labirinto e abertura de falhas e trincas (Figura 6D).

As imagens originadas dos tubos gotejadores operados com AR, Figura 6b, Figura 6D e Figura 6F, evidenciam uma cobertura superior de biofilme em relação aos tubos operados com AB Figura 6A, Figura 6C e Figura 6E. Para o tubo AR G3, Figura 6F, destaca-se o desprendimento do material biológico, oferecendo risco maior de entupimento no decorrer da linha lateral.

Os tubos gotejadores operados com AB, as imagens retratam o início de colônias bacterianas aderindo às paredes do labirinto. Visualmente o tubo G1, Figura 6A, possui evidências da formação de biofilme superior aos tubos G2 e G3. Para AR o tubo G1, Figura 6B, visualmente possui formação de biofilme inferior a G2 e G3. Tais inferências seguem a uniformidade de distribuição ao final de 1188 horas de funcionamento.

As análises de EDS destacadas na Tabela 10 demonstram a composição química do biofilme aderido no labirinto, como também os valores percentuais de cada elemento.

Tabela 28. Análise de EDS para os tubos gotejadores operados com AR e AB, com a quantidade em porcentagens do carbono (C), oxigênio (O), flúor (F), sódio (Na), magnésio (Mg), alumínio (Al), silício (Si), cloro (Cl), cálcio (Ca) e ferro (Fe).

Elementos	AB			AR		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
C (%)	37,90	54,78	39,91	43,52	57,51	53,23
O (%)	36,17	31,17	35,10	35,52	29,96	32,92
F (%)	-	-	-	6,09	7,04	5,36
Na (%)	4,02	4,66	5,03	2,94	2,65	2,38
Mg (%)	2,25	2,01	2,34	1,53	1,68	1,12
Al (%)	3,59	1,54	2,44	1,69	1,13	1,30
Si (%)	5,52	1,45	4,64	6,04	-	3,68
Cl (%)	3,33	2,81	3,13	1,24	-	-
Ca (%)	2,16	1,55	0,93	1,40	-	-
Fe (%)	4,99	-	6,46	-	-	-

Segundo Albuquerque et al. (2014) a matriz extracelular do biofilme é produzido pelos próprios microrganismos, esta matriz polimérica é conhecida como Extracellular Polymeric Substance (EPS), constituído por polissacarídeos, proteínas, exoenzimas, ácidos nucleicos e lípidos, que permitem imobilizar as células do biofilme, mantendo o biofilme coesivo. A base da composição do biofilme são as ligações relacionadas com C e O, maiores percentuais verificados, principalmente para os tubos gotejadores operados com AR.

Tarchitzky et al. (2013) analisaram incrustações em sistemas por gotejamento sob uma variedade de condições climáticas e qualidade de águas residuais tratadas, encontraram alto teor de matéria orgânica. Revelaram também considerável semelhança entre as propriedades do material da incrustação, sendo a maior quantidade de C e O, seguido por Ca, Si, Fe, Al, Mg e em menores teores P e S.

CONCLUSÃO

O CUD é inversamente proporcional ao número de emissores totalmente obstruídos. Para AR o tubo G2 e G3 obtiveram uniformidades inferiores a G1 e AB, indicando um número maior de emissores com 100% de entupimento.

A concentração de *Coliformes totais*, manganês e ferro foram menores nas análises da AR pós emissor em relação a análise da AR no reservatório, inferindo a aderência e acúmulo no interior do tubo gotejador. *Coliformes totais* e ferro obtiveram correlação na regressão múltipla em relação a vazão dos tubos gotejadores.

Identificaram na microscopia óptica os organismos como algas unicelulares, algas pluricelulares, cianobactérias e bactérias, para AB e AR, constatando carga superior para AR.

Constatou pela análise microscópica de varredura uma espécie de cobertura feita pelo biofilme por toda canaleta do labirinto, sendo maior para AR, na qual a uniformidade de distribuição foi menor ao final de 1088 horas de funcionamento.

A análise de EDS demonstra os elementos constituintes do biofilme, sendo maiores valores para Carbono e Oxigênio.

As análises físico-químicas, microbiológica, microscopia óptica, microscopia eletrônica de varredura e EDS, evidencia a formação do biofilme como principal agente causador da redução da uniformidade do sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, B. A. O.; Yamamoto, T.; Fujiyama, H.; Miyamoto, K. Assessment of emitter discharge in microirrigation system as affected by polluted water. *Irrigation Drainage System*, v. 21, p. 97-107, 2007.
- Albuquerque, A. C.; Andrade, C.; Neves, B. Biocorrosão – da integridade do biofilme à integridade do material. *Corrosão e Protecção de Materiais*, v. 33, p. 18 - 23, 2014.
- Alobaidy, H. M. J.; Al-sameraiy, M. A.; Kadhem, A. J.; Majeed, A. A. Evaluation of Treated Municipal Wastewater Quality for Irrigation. *Journal of Environmental Protection*, v.1. p.216-225, 2010.
- American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, p. 792-7. 1996.
- Ayers, R.S.; Westcot, D. N. - FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e alimentação – A qualidade da água na agricultura. Campina Grande – PB: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO irrigação e drenagem, n.29, revisado).
- Batista, R. O.; Soares, A. A.; Souza, J. A. R.; Batista, R. O., Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado, *Engenharia na Agricultura*, v,16, p. 369 - 377, 2008.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. *Revista Ceres*, v.57, p. 18 - 22, 2010.
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A.; Santos, D. B.; Oliveira, A. F. M.; Azevedo, C. A. V.; Medeiros, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.17, p. 698 - 705, 2013.
- Cem, B. & Menezes, M. In: As algas do Brasil. In: FORZZA, RC., org., et al. Instituto de pesquisas jardim botânico do rio de janeiro. Catálogo de plantas e fungos do Brasil [online]. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio: Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2010. v. 1. p. 49-60.
- Capra, A.; Scicolone, B. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.70, p. 355-365, 1998.
- Cirelli, A. F.; Arumí J. L.; Rivera D.; Boochs P. W. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid. *Chilean journal of agricultural research*, v. 69, p. 27 - 40, 2009.

- Cunha, F. F.; Alencar, C. A. B.; Vicente, M. R.; Batista, R. O.; Souza, J. A. R. Comparação de equações para cálculo da uniformidade de aplicação de água para diferentes sistemas de irrigação. *Engenharia na agricultura*, v.17, p. 404 - 417, 2009.
- Dedavid, B. A.; Gomes C. I.; Machado, G, *Microscopia eletrônica de varredura microscopia eletrônica de varredura - Aplicações e preparação de amostras*, Porto Alegre, EDIPUCRS, p. 60, 2007.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiébaud, J. T. L.; Sedyama, G. C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, p. 155-162, 1980.
- Favetta, G, M.; Botrel, T, A, Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. *Scientia Agricola*, v.58, p. 427 - 430, 2001.
- Haijun Liu & Guanhua Huang, Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural water management*, v. 96, p. 745 - 756, 2008.
- Katz, S.; Dosoretz C.; Chen, Y.; Tarchitzky, J. Fouling formation and chemical control in drip irrigation systems using treated wastewater. *Irrigation Science*, v. 32, p. 459 - 469, 2014.
- Li, Y. K.; Liu, Y. Z.; Li, G. B.; Xu, T. W.; Liu, H. S.; Ren, S. M.; Yan, D. Z.; Yang, P. L. Surface topographic characteristics of suspended particulates in reclaimed wastewater and effects on clogging in labyrinth drip irrigation emitters. *Irrigation Science*, v.30, p. 43-56, 2012.
- Menezes, M., and Bicudo, CEM., coords. Lista de espécies: algas. In: Forzza, rc., org., et al. instituto de pesquisas jardim botânico do Rio de Janeiro. *Catálogo de plantas e fungos do Brasil* [online]. Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, v.1, 2010. p. 262-451.
- Nakayama, F. S.; Boman, B. J.; Pitts, D. Maintenance. In: Lamm, F. R.; Ayars, J. E.; Nakayama, F. S. *Microirrigation for crop production: Design, Operation, and Management*. Amsterdam: Elsevier, 2006, cap. 11, p. 389-430.
- Ribeiro, P. A. A.; Coelho. R, D.; Teixeira, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água, *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, p. 279-287, 2010.
- Ribeiro, P. A. A.; Teixeira, M. B.; Coelho, R. D.; Franco, E. M.; Silva, N. F.; Carvalho, L. C. C.; Alves, M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. *Irriga, Edição Especial*, p. 368 - 379, 2012.

- Silva, K. B.; Silva Junior, M. J.; Batista, R. O.; Santos, D. B.; Filho, S. B. Desempenho de gotejadores operando com efluente da castanha de caju sob distintas pressões de serviço. *Revista Ceres*, v. 60, p. 339-346, 2013.
- Souza, J. A. R.; Moreira, D. A. Efeitos da aplicação de esgoto sanitário submetidos a diferentes níveis de tratamento em sistemas de irrigação localizada. *Engenharia Ambiental -Espírito Santo do Pinhal*, v. 9, p. 145-158, 2012.
- Souza, L,O,C; Mantovani, E,C; Soares, A,A; Ramos, M,M; Freitas, P,S,L, Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p. 541–548, 2006.
- Tarchitzky, J.; Rimon, A.; Kenig, E.; Dosoretz, C. G.; Chen, Y. Biological and chemical fouling in drip irrigation systems utilizing treated wastewater. *Irrigation Science*, v.31, p. 1277 - 1288, 2013.
- Yan, D.; Bai, Z.; Mike, R.; Gu L.; Ren, S.; Yang, P. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, v. 21, p.834–841, 2009.

CAPÍTULO 5. ÍNDICE DE CAPACIDADE DO PROCESSO NA OBSTRUÇÃO DE TUBOS GOTEJADORES

RESUMO: Na aplicação de água com baixa qualidade, como o esgoto doméstico tratado, a irrigação por gotejamento corre risco de obstrução. Para monitorar o sistema de irrigação alguns coeficientes de uniformidade são utilizados, no entanto, não leva em consideração a vazão especificada em projeto. Desta forma a estatística de controle de qualidade pode monitorar e estabelecer a qualidade da irrigação a partir de especificações estabelecidas. Utilizou-se a estatística de controle de qualidade, através do índice de capacidade do processo, para verificar o processo de obstrução de tubos gotejadores com esgoto doméstico tratado e água de abastecimento. O experimento foi realizado o Instituto Nacional do Semiárido na cidade de Campina Grande - PB. O delineamento experimental consistiu em um esquema fatorial de desdobramento orientado com dois fatores, fator água com dois níveis e fator tubo gotejador com três níveis com trinta e quatro repetições, instalado em um delineamento inteiramente casualizado. O índice de capacidade do processo não houve diferença significativa para o tubo G1 operado com água residuária e de abastecimento. As maiores médias foram para os tubos G2 e G3 para água de abastecimento. O índice de capacidade do processo consegue monitorar não apenas a variabilidade na amostragem, como também reduções na vazão aplicada através de limites superior e inferior de especificação na irrigação por gotejamento.

PALAVRAS-CHAVE: coeficiente de uniformidade, vazão dos emissores, esgoto doméstico tratado

INDEX PROCESS CAPACITY IN TUBES DRIPPERS OBSTRUCTION

ABSTRACT: In the application of water with low quality, such as treated sewage, drip irrigation at risk of obstruction. To monitor the irrigation system some uniformity coefficients are used, however, does not take into account the rate specified in the project. Thus the quality control statistics can monitor and establish the quality of irrigation from established specifications. We used the statistical quality control, through the process capability index, to check the dripline of obstruction process with treated sewage and water supply. The experiment was conducted the National Institute

for Semi-Arid in the city of Campina Grande - PB. The experimental design consisted of a factorial arrangement of split-oriented two-factor, water factor with two levels and dripline factor with three levels with thirty-four repetitions, installed in a completely randomized design. The process capability index did not differ for the G1 tube operated with wastewater and supply. The highest means were for G2 and G3 pipes for water supply. The process capability index can monitor not only the variability in the sample, as well as reductions in flow applied through upper and lower specification limits in drip irrigation.

KEY-WORDS: uniformity coefficient, flow of issuers, treated sewage

INTRODUÇÃO

A aplicação de água de baixa qualidade na irrigação por gotejamento implica o risco eminente de entupimento dos emissores no decorrer do tempo de funcionamento, assim a utilização de águas residuárias pode acarretar problemas de distribuição, seja de ordem físico-química, tais como altas concentrações de sólidos solúveis, íons ferro e manganês (Silva et al., 2011), ou microbiológica como o caso da formação de biofilme (Souza & Moreira, 2012).

Diversas águas residuárias são utilizadas por proporcionar aporte de nutrientes no solo, benefícios ambientais e em regiões com escassez de água, como o Semiárido Brasileiro, alternativa de fonte hídrica abundante e perene, em cujo contexto o esgoto doméstico se destaca. Dentre as águas residuárias, estudadas na irrigação por gotejamento, tem-se: Batista et al. (2010) utilizaram o esgoto doméstico tratado, Batista et al. (2013) usaram efluente de suinocultura, Silva et al. (2012) utilizaram efluente do processamento da castanha do caju, Thebaldi et al. (2013) com efluente de abate bovino.

A averiguação das condições de distribuição de água do sistema de irrigação deve ser realizado periodicamente, a fim de monitorar possíveis obstruções no decorrer do tempo. A uniformidade de distribuição é fundamental na avaliação do desempenho de sistemas de irrigação, sendo que a utilização do coeficiente correto, torna-se fator decisivo (Cunha et al., 2014).

Uma forma de monitoramento é a utilização da estatística de controle de qualidade, utilizada principalmente em indústrias para estabelecer qualidade nos produtos fabricados. Montgomery (2009) reforça que o gráfico de controle estatístico é uma técnica de monitoramento do processo muito útil, na qual fontes usuais de variabilidade

estão presentes. Caracteriza-se a partir das médias amostrais plotadas fora dos limites de controle, ou seja, há a necessidade de investigação do processo e de medidas para a remoção dessas fontes de variabilidade.

A estatística de controle de qualidade é utilizada principalmente na indústria, todavia, pode ser empregada em outros setores. Lima et al. (2006) trabalharam na indústria farmacêutica e constataram que é uma das mais poderosas ferramentas desenvolvida visando auxiliar no controle eficaz da qualidade. Kahraman & Kaya (2009), por sua vez, utilizaram-na para o controle de pH, temperatura e oxigênio dissolvido na água de barragem para irrigação. Milan e Fernandes (2002) concluíram que essa estatística tem grande potencial de utilização na agropecuária.

O índice de capacidade de processo (C_p) é um parâmetro adimensional que indiretamente mede o quanto o processo consegue atender às especificações, sendo que quanto maior o seu valor, melhor o processo consegue atender às exigências. Depende principalmente das próprias especificações e da variabilidade do processo. A falta de estabilidade do processo reduz sua capacidade e aumenta o número de itens não produzidos em conformidade (Costa et al., 2004).

Um processo com valor de C_{pk} igual ou superior a 1 é um bom processo, uma vez que respeita consistentemente as especificações de qualidade do produto. Por outro lado, valores de C_{pk} inferiores a 1, especialmente os negativos, representam processos inadequados (Montgomery, 2004).

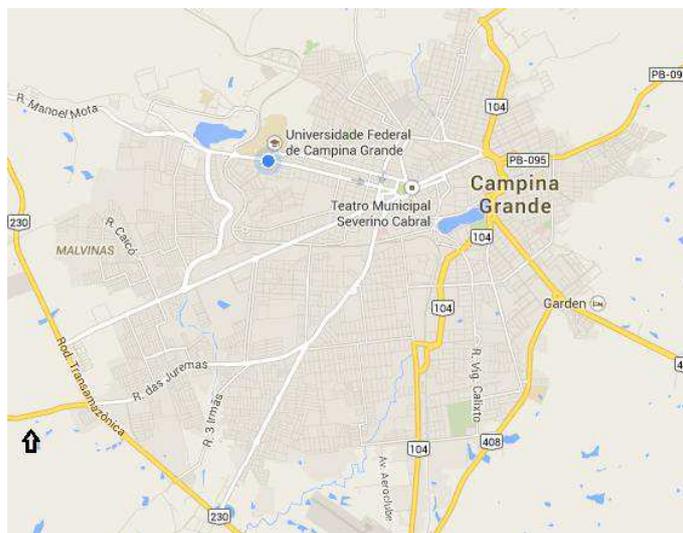
A irrigação por gotejamento com esgoto doméstico tratado tem risco de obstrução dos tubos gotejadores, referente à qualidade da água inferior. Para o monitoramento dos sistemas são utilizados coeficientes de uniformidade de distribuição, na qual leva em consideração a variabilidade das vazões no sistema. Com isso objetivou-se o monitoramento da obstrução de tubos gotejadores operados com esgoto doméstico tratado, utilizando a estatística de controle de qualidade através do cálculo do índice de capacidade do processo, utilizando limites de especificação estabelecidos.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização

O experimento foi realizado na sede do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande – PB (Figura 1), com coordenadas geográficas 7° 16' 20'' S e 35° 56' 29'' O, e uma altitude de 550 m. A Classificação de

Koeppen para o clima da região, é tropical com chuvas de outono e períodos de seca no restante do ano, denominado As.



Fonte. Google Maps

Figura 18. Indicação do INSA na cidade de Campina Grande

A água de abastecimento (AB) utilizada foi a fornecida pela prestadora de serviço de água e esgoto do estado da Paraíba. A água residuária (AR) utilizada decorre da estação de tratamento de esgoto (ETE) proveniente dos despejos de todo o instituto.

Tubos gotejadores

Para os ensaios foram utilizados três tubos gotejadores, com emissores do tipo labirinto não autocompensantes, por sua vez este modelo é susceptível ao entupimento pelo longo percurso percorrido pelo fluido, realizando perdas de energia a fim de uniformizar a descarga.

Os tubos escolhidos foram o Stremline 16080 Netafim vazão nominal de $1,60 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa com espaçamento entre emissores de 0,30m, dimensões do labirinto de 0,66, 0,55 e 13 mm para largura, profundidade e comprimento respectivamente. Taldrip Naadanjain $1,70 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,20 m. Tiran 16010 Netafim $2,00 \text{ Lh}^{-1}$ a 100 kPa e espaçamento de 0,40 m, com labirinto de 0,76, 1,08 e 75 mm. Foram renomeados como G1, G2 e G3, são tubos gotejadores utilizados largamente no Semiárido Brasileiro.

Monitoramento da obstrução dos tubos gotejadores

Para a realização do experimento foi construída uma bancada de ensaios próxima a estação de tratamento de esgoto do INSA, a campo, permitindo a influência das características do clima.

A bancada possui 10 m de comprimento e largura de 2 m (Figura 1). O sistema instalado possui um cabeçal de controle com filtro de disco 120 mesh, registro de abertura, hidrômetro, manômetro de glicerina e controlador de pressão para o controle da pressão de entrada em 100 kPa.

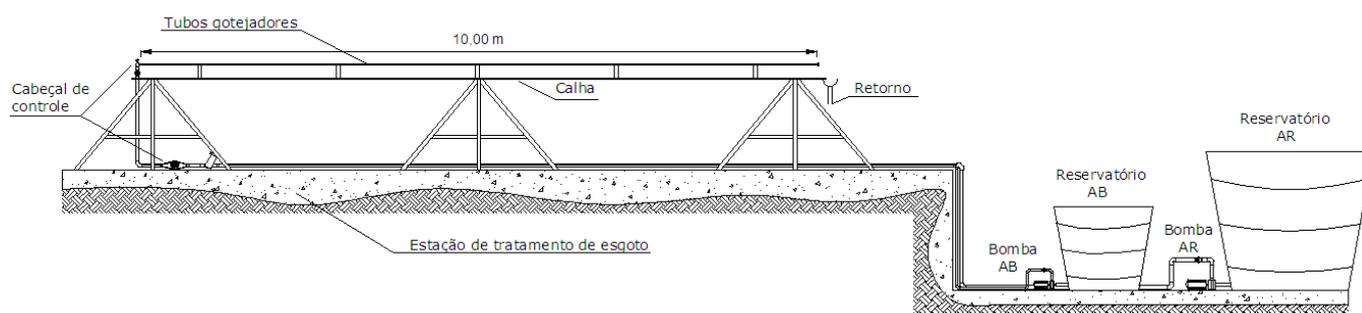


Figura 19. Corte transversal do sistema instalado em bancada a campo

AR utilizada na experimentação é proveniente do esgoto doméstico tratado, produto de uma estação de tratamento de esgoto anaeróbica em operação com o esgoto produzido no INSA. AB é fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA).

O funcionamento do sistema iniciou-se no dia 26/06/2014 simultaneamente entre as águas, logo foi realizada a primeira avaliação com a obtenção das vazões em pontos na linha lateral. A coleta das vazões consistiu em coletar água por período de 4 min em cada ponto determinado com copos coletores, em seguida com uma proveta o volume foi contabilizado e transformado em valores de vazão (Lh^{-1}).

Para AR foi coletado o volume de água em pontos no sistema conforme recomendado por Deniculi (1980), consiste em indicar oito pontos de coleta ao longo da linha lateral, amostrando as vazões no primeiro gotejador, segundo a $1/7$ do número de gotejadores, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$, e o último gotejador, obtendo oito repetições em cada linha, constituindo um montante de quarenta valores de vazões por tubos gotejadores avaliados. Para AB foi avaliado separadamente vinte e cinco pontos ao longo da linha lateral, escolhidos aleatoriamente.

As avaliações posteriores à primeira de caracterização foram a cada 36 h, sendo 12 horas de funcionamento por dia. O limite para o funcionamento do sistema foi um valor

superior a 1000 h, tempo necessário para a provável obstrução severa dos gotejadores observado por Liu e Huang (2008).

Com os dados de vazão foi realizado o cálculo do Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) Eq. 1, com posterior classificação do sistema.

$$CUD = \frac{q_n}{q_a} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

q_n - vazão média das 25% menores descargas dos emissores Lh^{-1} ;

q_a - vazão média dos emissores Lh^{-1} ;

Na Tabela 1 a classificação do sistema segundo os valores obtidos do CUD segundo ASABE (1996).

Tabela 29. Classificação do sistema para os valores obtidos do CUD

CUD (%)	Classificação
> 90	Excelente
75-90	Bom
62-75	Regular
50-62	Ruim
< 50	Inaceitável

Índice de capacidade do processo

O índice de capacidade do processo (C_p) não leva em consideração onde a média do processo está localizada, com isso a amostragem em relação ao sistema de irrigação no tempo de funcionamento, há um deslocamento da média em função da obstrução do sistema, portanto o índice de capacidade do processo que deve ser utilizado é o índice de capacidade do processo unilateral para o limite de especificação mais próximo da média do processo (C_{pk}).

Com os dados de vazão do sistema, para cada avaliação, foi obtido o C_{pk} , Eq. 2, é calculado a partir do menor valor para o C_p unilateral, entre índice de capacidade do processo superior (C_{ps}) e índice de capacidade do processo inferior (C_{pi}). Foi calculado para cada avaliação nas 1188 h de funcionamento, obtendo um montante de trinta e quatro valores de C_{pk} durante o experimento.

$$C_{pk} = \min \left(C_{ps} = \frac{LSE - x}{3\sigma}, C_{pi} = \frac{x - LIE}{3\sigma} \right) \quad (2)$$

Em que:

C_{ps} - Índice de capacidade de processo superior;

C_{pi} - Índice de capacidade de processo inferior;

LSE - Limite superior de especificação da vazão, Lh^{-1} ;

LIE - Limite inferior de especificação da vazão, Lh^{-1} ;

\bar{x} - Média da vazão, Lh^{-1} ;

σ - Desvio padrão amostral.

Os limites de especificação para o C_{pk} utilizando os valores de vazão foi o delimitado pela ABNT/NBR ISO 926:2006 em relação ao coeficiente de variação, na qual não pode exceder 7%. Com a primeira avaliação com água de boa qualidade e os tubos gotejadores novos, foi estabelecido à vazão inicial para cada tubo que foi submetido às duas águas, a partir disso foi realizado o cálculo dos limites de especificação, estabelecido na Tabela 2.

Tabela 30. Limites superior e inferior de especificação para cada modelo de tubo gotejador que foi utilizado na AB e AR.

Água	Tubo	Vazão inicial (Lh^{-1})	LSE (Lh^{-1})	LIE (Lh^{-1})
AB	G1	1,39	1,48	1,30
	G2	1,54	1,64	1,44
	G3	1,78	1,90	1,66
AR	G1	1,44	1,54	1,35
	G2	1,57	1,67	1,46
	G3	1,90	2,03	1,77

O C_{pk} é determinado tendo como base série de dados que seguem a distribuição normal, com isso os dados de vazão foram submetidos aos teste de Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov para a comprovação da normalidade. Em avaliações que foram constatados a não normalidade, realizou-se a transformação Box Cox.

Para a realização do cálculo do C_{pk} o processo deve estar estável, ou seja, em controle estatístico de qualidade, dentre os limites inferior e superior de controle, entretanto, para monitorar o desempenho do C_{pk} no decorrer do funcionamento e na obstrução do sistema, foram calculados em processos estáveis e instáveis.

Obviamente, é desejável ter C_p tão grande quanto possível; pequenos valores de C_p não seriam aceitáveis, uma vez que isso indica que o nível natural de variação do

processo não cabe dentro da faixa de tolerância (Tsai & Chen, 2006). Conforme Tabela 31 classificação do processo conforme o C_p calculado.

Tabela 31. Condição de qualidade do processo conforme C_p calculado segundo Tsai & Chen (2006)

Condição de qualidade	Valor C_p
Super Excelente	$2,00 < C_p$
Excelente	$1,67 < C_p < 2,00$
Satisfatório	$1,33 < C_p < 1,67$
Capaz	$1,00 < C_p < 1,33$
Insuficiente	$0,67 < C_p < 1,00$
Pobre	$C_p > 0,67$

Segundo Gonzalez & Werner (2009) as interpretações do índice C_{pk} podem ser feitas pela regra mostrada para o índice C_p , já que a análise da capacidade do processo é feita usando estes dois índices em conjunto.

Foi realizada análise de variância ANOVA para dois fatores, tipo de água com dois níveis AR e AB e tubo gotejador com três níveis G1, G2 e G3, com trinta e quatro repetições. Os valores de C_{pk} foram a variável resposta para a ANOVA e teste Tukey a 5% de significância.

Análise de regressão foi realizada para a variável resposta C_{pk} em função do tempo de funcionamento e coeficiente de distribuição. Teste F identificou o ajuste da análise de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Uniformidade de distribuição

No decorrer do tempo de funcionamento foi realizado para cada avaliação o cálculo do CUD e C_{pk} , na Figura 3 pode-se visualizar o CUD nas trinta e quatro avaliações. O CUD é um coeficiente sensível a emissores obstruídos 100%, por se tratar da relação do menor quartil e a média. Para Cunha et al. (2009) o CUD penaliza o sistema em função dos emissores totalmente obstruídos.

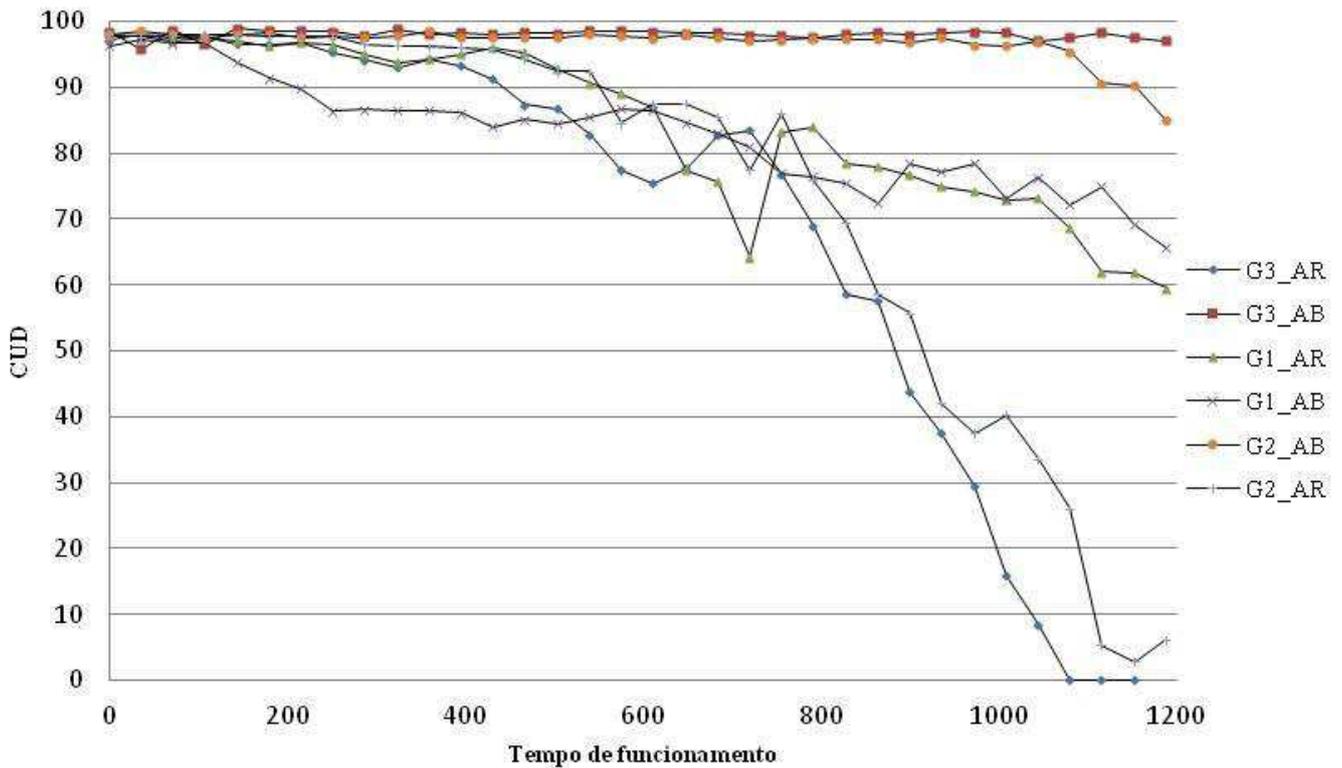


Figura 20. CUD no decorrer do tempo de funcionamento para AR e AB em cada tubo gotejador.

No final de 1188 h de funcionamento o CUD da AR obteve as menores valores, chegando a zero para G3 AR, seguido de G2 e G1 com 6,19 e 59,48% respectivamente. Na classificação adotada o sistema foi classificado como ruim para G1 e inaceitável para os demais tubos.

Para AB o CUD obteve valores de 65,69, 85,06 e 96,16% para os tubos G1, G2 e G3, inferindo a uniformidade elevada para AB, classificando o sistema como Regular, Bom e Excelente respectivamente.

A carga microbiológica superior do AR aliada as características do emissor proporcionou a proliferação de microorganismos e depósitos de elementos químicos, oscilando a descarga do emissor, afetando diretamente a uniformidade de aplicação.

A análise de regressão indica a relação entre duas variáveis, sendo uma dependente e outra independente. Na Tabela 4 análise de regressão do CUD em relação ao tempo de funcionamento para AR e AB e os tubos gotejadores.

Tabela 32. Análise de regressão para tubo e água com equação e coeficiente de determinação R²

Água	Tubo	Equação	R ²
AB	G1	CUD = 95,95 - 0,02186Tempo	0,9
	G2	CUD = 99,19 - 0,01784Tempo + 0,000047Tempo ²	0,82
	G3	-	-
AR	G1	CUD = 99,00 - 0,009914Tempo - 0,000019Tempo ²	0,88
	G2	CUD = 91,85 + 0,06473Tempo - 0,000119Tempo ²	0,97
	G3	CUD = 90,60 + 0,06319Tempo - 0,000121Tempo ²	0,96

Teste F a 5% de significância

Para o CUD em função do tempo de funcionamento a regressão do tipo quadrática foi a que melhor se adequou aos dados, exceto para AB G1, na qual a forma linear melhor se ajustou.

Para o tubo G3 na AB, nenhuma regressão se ajustou aos dados, indicando baixa relação entre o coeficiente de uniformidade e o tempo de funcionamento. A isenção de variabilidade na vazão do emissor proporciona maior uniformidade, sugere a não relação entre o variável tempo.

Índice de capacidade de processo para água residuária e de abastecimento na obstrução de tubos gotejadores

A capacidade do processo foi realizada para cada avaliação, trinta e quatro, durante as 1188 horas de funcionamento. Os dados foram submetidos à análise de regressão em função do tempo, realizando o teste F para ajustar a melhor reta no gráfico de dispersão. Na Tabela 5 estão descritos o melhor ajuste aos dados da regressão do C_{pk} em função ao tempo de funcionamento, submetidos ao teste F a 5% de significância.

Tabela 33. Análise de regressão do C_{pk} em função do tempo de funcionamento para os fatores água e tubo, evidenciando a equação e o coeficiente de determinação R².

Água	Tubo	Equação	R ²
AB	G1	Cpk = 0,6048 - 0,000882 Tempo	0,80
	G2	-	-
	G3	-	-
AR	G1	Cpk = 0,9840 - 0,002240 Tempo + 0,000001 Tempo ²	0,80
	G2	Cpk = 1,483 - 0,003225 Tempo + 0,000001 Tempo ²	0,90
	G3	Cpk = 1,300 - 0,004779 Tempo + 0,000003 Tempo ²	0,90

Teste F a 5% de significância

A equação de melhor ajuste para C_{pk} em função do tempo de funcionamento para AR foi o quadrático, obtendo um coeficiente de determinação R^2 de 0,80, 0,90 e 0,90 respectivamente para G1, G2 e G3. Para AB somente G1 obteve ajuste em relação C_{pk} no tempo, obtendo R^2 para regressão linear.

Para a regressão entre a variável independente CUD e C_{pk} com 5% de significância pelo teste F, a correlação entre as variáveis foram apenas para AR, sendo maior coeficiente de determinação R^2 para a regressão cúbica do tubo G1, com 0,83. Sendo assim pode-se inferir a pouca relação explicativa da variável independente CUD em função do C_{pk} na irrigação por gotejamento. Para irrigação por aspersão Justi et al. (2010) obtiveram R^2 de 0,78 na regressão linear entre o Coeficiente de uniformidade de Christianse (CUC) e o índice de capacidade do processo unilateral.

A análise de variância (ANOVA) para dois fatores água e tubo, como variável resposta o C_{pk} estão na Tabela 6, utilizando teste F a 5% de significância.

Tabela 34. ANOVA para fator água, tubo e interação entre os fatores com teste F a 5% de significância.

Fator	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P-valor
Água	1	7,1944	7,19443	32,79	0,00
Tubo	2	2,3078	1,15392	5,26	0,01
Interação	2	7,8961	3,94804	17,99	0,00
Resíduo	198	43,4418	0,2194		
Total	203	60,8401			

Teste F a 5% de significância

Os fatores individuais e a interação foram significativos, requerendo o desdobramento da interação e posterior teste Tukey. Os fatores individuais são descartados, já que um fator é dependente do outro para explicar a variável resposta C_{pk} .

A interação consiste no desdobramento da análise de variância para os níveis de um fator internamente ao outro. Na Tabela 7 o desdobramento da interação do fator água e tubo.

Tabela 35. ANOVA para o desdobramento da interação, nível AR e AB em relação aos tubos gotejadores G1, G2 e G3, e nível tubo G1, G2 e G3 em relação ao nível água AR e AB.

G1					
Fator	Graus de Liberdade	Somas dos Quadrados	Quadrado Médio	F	P-valor
Água	1	0,266	0,266	1,98	0,164
Resíduo	65	8,746	0,135		
Total	66	9,012			
G2					
Água	1	2,417	2,417	8,53	0,01
Resíduo	66	18,704	0,283		
Total	67	21,121			
G3					
Água	1	12,479	12,479	52,85	0,00
Resíduo	66	15,584	0,236		
Total	67	28,063			
AB					
Tubo	2	7,687	3,843	29,21	0,00
Resíduo	99	13,026	0,132		
Total	101	20,713			
AR					
Tubo	2	2,517	1,259	4,1	0,02
Resíduo	99	30,415	0,307		
Total	101	32,933			

Com o desdobramento da interação pode-se realizar o teste Tukey de comparação de médias para as variável. Na Tabela 8 teste Tukey a 5% de significância com agrupamento das médias significativas.

Tabela 36. Teste tukey para o desdobramento da interação com as médias e agrupamento

Fatores	G1	G2	G3
AR	0,18 aA	0,20 aA	- 0,13 aB
AB	0,08 aB	0,58 bA	0,72 bA

Pares seguidos pela mesma letra minúscula em coluna não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, pares seguidos pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%

Para G1 as águas não diferenciaram em relação a variável resposta C_{pk} , obtendo a maior média para AR. Em relação aos outros tubos igualou estatisticamente a G2, esse por sua vez obteve a maior média em relação a AR com $C_{pk} = 0,20$. A igualdade em relação às águas indica, sobretudo, as características dimensionais do emissor foram determinantes para a obstrução. Segundo Ribeiro et al. (2012) a arquitetura interna dos gotejadores é fator determinante na caracterização do processo de entupimento.

Para G3 o C_{pk} diferenciou estatisticamente em relação à água, obtendo o maior valor 0,72 para AB, classificado como insuficiente, em relação aos tubos o G3 igualou estatisticamente com G2. Apesar da superioridade da AB, o C_{pk} obteve valores baixos

indicando a classificação de um processo pobre. Os menores índices C_{pk} estão diretamente relacionados a processos ineficientes em atender as especificações (Takahashi et al., 2011).

Na fertirrigação por gotejamento com águas agroindustriais Juchen et al. (2013) concluíram que a metodologia de controle estatístico de processos mostrou ser um método adequado para avaliar a qualidade do sistema de fertirrigação. Todavia o C_{pk} para a irrigação por gotejamento mostra-se ser muito rígido em relação à variabilidade amostral e variação em função dos limites especificados. A alteração para limites mais toleráveis ocorre mudanças no C_{pk} modificando a classificação do processo.

Em relação a AR o tubo gotejador G3 obteve as médias mais baixas, inferindo a capacidade reduzida de se manter entre os limites de especificação. Para AB o tubo gotejador G1 não conseguiu atender as exigências de vazão. Nesse contexto foi demonstrada na Figura 4 a distribuição do C_{pk} no tempo de funcionamento para cada tubo gotejador.

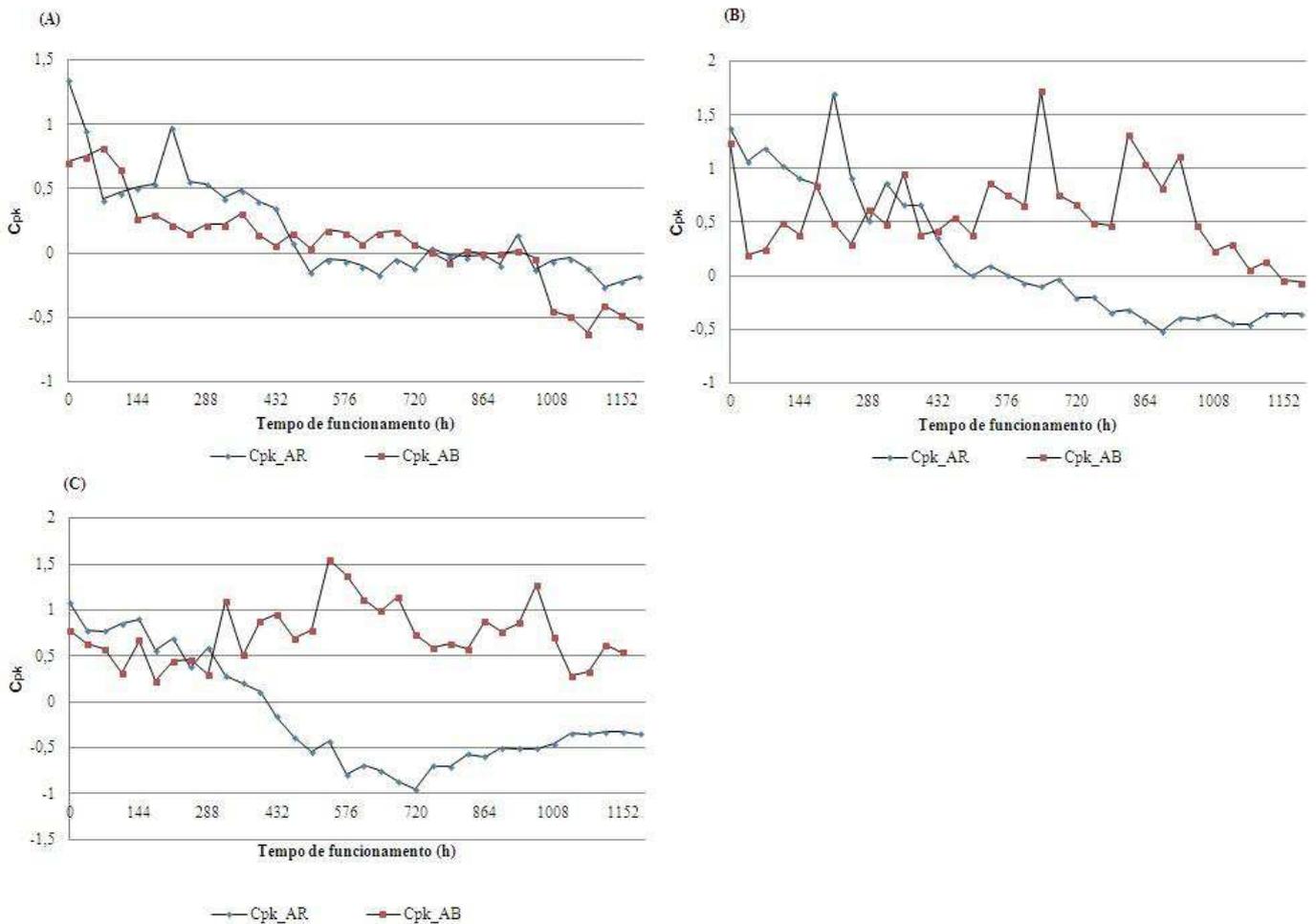


Figura 21. C_{pk} para AR e AB no tempo de funcionamento, (A) G1, (B) G2 e (C) G3

Nota-se superioridade nos valores de G2 e G3 para AB, inferindo a melhor aplicação em relação aos limites de especificação atribuídos.

De forma analógica o CUD foi classificado como excelente (Figura 3) até os tempos de funcionamento 540, 540 e 432 h para AR respectivamente para G1, G2 e G3. Para AB manteve como excelente com 180, 1152 e 432 h respectivamente para G1, G2 e G3. Para o C_{pk} apenas pontos isolados obtiveram valores superiores a 1, de forma capaz, inferindo a baixa capacidade do processo em atender as exigências.

A capacidade de o sistema obstruir uniformemente não é reconhecida pelos coeficientes de uniformidade, e sim a variabilidade entre a amostragem. O grau de entupimento que é uma relação entre a vazão inicial quando novo e as cosequentes, demonstram a variação da vazão. Entretanto o C_{pk} propicia verificar a variação da vazão aplicada e a variabilidade da amostragem, concluindo se o processo de irrigação é capaz de atender as exigências que foram concedidas em projeto.

Chen (2007) utilizou cartas de controle com índices de capacidade de processos unilaterais, e constataram a viabilidade de monitorar não somente a qualidade do processo, como também a sua estabilidade. Nota-se na aplicação temporal do C_{pk} a instabilidade do coeficiente decorrente da obstrução dos tubos gotejadores.

O controle estatístico de qualidade, através do índice de qualidade do processo se mostra uma forma promissora de monitoramento da distribuição de água em sistemas de irrigação por gotejamento. Entretanto pesquisas devem ser realizadas para obter classificações do C_{pk} e limites de especificação de maior influência.

CONCLUSÃO

O índice de capacidade do processo consegue monitorar não apenas a variabilidade na amostragem, como também reduções na lâmina aplicada através de limites superior e inferior de vazão na irrigação por gotejamento.

No monitoramento da obstrução de tubos gotejadores o índice de capacidade é rígido dependente dos limites especificados.

Melhores índices foram encontrados com sistema operado com água de abastecimento, porém a igualdade das águas em relação ao tubo gotejador G1 indica a relação com as características dimensionais do emissor.

As melhores médias do índice de capacidade do processo foram obtidas para o tubo gotejador G2 e G3 operados com água de abastecimento, 0,58 e 0,72 respectivamente, em 1188 h de funcionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Agricultural and Biological Engineers – ASABE. Field evaluation of micro irrigation systems. St. Joseph, p. 792-7. 1996.
- Batista, R. O.; Oliveira, R. A.; Santos, D. B.; Oliveira, A. F. M.; Azevedo, C. A. V.; Medeiros, S. S. Obstrução e uniformidade de aplicação em sistemas de irrigação por gotejamento aplicando-se efluente da suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.17, p.698–705, 2013.
- Batista, R. O.; Souza, J. A. R.; Ferreira, D. C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. *Revista Ceres*, v.57, p. 018-022, 2010.
- Chen, K. S.; Huang, H. L.; Huang, C. T. Control Charts for One-sided Capability Indices. *Quality & Quantity*, v. 41, p. 413 - 427, 2007.
- Costa, A. F. B.; Epprescht, E. K.; Carpinetti, L. C. R. *Controle estatístico de qualidade*. São Paulo: Atlas, 2004.
- Cunha F. N.; Silva N. F.; Teixeira M. B.; Carvalho J. J.; Moura L. M. F.; Santos C. C. Coeficientes de uniformidade em sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, p. 444 - 454, 2014.
- Denículi, W.; Bernardo, S.; Thiébaud, J. T. L.; Sedyama, G.C. Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo num sistema de irrigação por gotejamento. *Revista Ceres*, v. 27, p. 155-162, 1980.
- Gonçalez P. U. & Werner L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. *Gestão & Produção*, v. 16, p. 121-132, 2009.
- Juchen, C. R.; Suszek, F. L.; Boas, M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. *Irriga*, v. 18, p. 243 - 256, 2013.
- Juchen, C. R.; Suszek, F. L.; Boas, M. A. V. Irrigação por gotejamento para produção de alface fertirrigada com águas residuárias agroindustriais. *Irriga*, v. 18, p. 243 - 256, 2013.
- Justi, A. L.; M. Boas, A. V.; Sampaio, S. C. Índice de capacidade do processo na avaliação da irrigação por aspersão. *Engenharia Agrícola*, v.30, p.264-270, 2010.

- Kahraman, C. & Kaya, I. Fuzzy process capability indices for quality control of irrigation water. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. v. 23, p. 451 - 462, 2009.
- Lima, A. A. N., Lima, J. R., Silva, J. L., Alencar, J. R. B. Soares Sobrinho, J. L., Lima, L.G., Rolim Neto, P. J. Aplicação do controle estatístico de processo na industria farmacêutica. *Rev. Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 27, p.177-187, 2006.
- Liu, H.; Huang, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 96, p.745-756, 2009.
- Milan, M., Fernandes, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agricola*, v.59, p.261-266, 2002.
- Montgomery, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004.
- Montgomery, D. C. Introdução ao controle estatístico da qualidade. Tradução: Farias, A. M. L., Flores, V. R. L. F., Laurencel, L. C. 4. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.
- Ribeiro, P. A. A.; Teixeira, M. B.; Coelho, R. D.; Franco, E. M.; Silva, N. F.; Carvalho L. C. C.; Alves M. E. B. Gotejadores submetidos a condições críticas de qualidade da água. *Irriga, Edição Especial*, p. 368 - 379, 2012.
- Silva, I. N.; Fontes, L. O.; Tavella, L. B.; Oliveira, J. B.; Oliveira, A. C. Qualidade de água na irrigação. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.07, p.01-15, 2011.
- Silva, L. P.; Silva, M. M.; Correa, M. M.; Souza, F. C. D.; Silva, Ê. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. v.16, p.480-486, 2012.
- Souza, J. A. R.; Moreira, D. A.; Efeitos da aplicação de esgoto sanitário submetidos a diferentes níveis de tratamento em sistemas de irrigação localizada. *Engenharia Ambiental -Espírito Santo do Pinhal*, v. 9, p. 145-158, 2012.
- Takahashi, F. H.; Cassoli, L. D.; Machado, P. F. Utilização do controle estatístico de processos (cep) como indicador de violação em programas de pagamento do leite pela qualidade. *Ciência Animal Brasileira*, v.12, p. 661 – 669, 2011.

- Thebaldi, M. S.; Rocha, M. S.; Sandri, D.; Felisberto, A. B.; Neto, S. A., Diferentes tipos de água e seu efeito na uniformidade de gotejadores na cultura de tomate. Irriga, v. 18, p.212-222, 2013.
- Tsai, C. C. & Chen, C. C. Making decision to evaluate process capability index C_p with fuzzy numbers. international Journal of Advanced Manufacturing Technology, v. 30, p.334 - 339, 2006.