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

**“Proposta de Norma Técnica de Ensaio para Tubogotejadores de Irrigação:
Resistência ao Entupimento por Particulados Sólidos em Suspensão”**

Lucas do Amaral Faria

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

**Piracicaba
2013**

Lucas do Amaral Faria
Engenheiro Agrícola

**“Proposta de Norma Técnica de Ensaio para Tubogotejadores de Irrigação:
Resistência ao Entupimento por Particulados Sólidos em Suspensão”**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

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

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

**Piracicaba
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Faria, Lucas do Amaral

"Proposta de Norma Técnica de Ensaio para Tubogotejadores de Irrigação:
Resistência ao Entupimento por Particulados Sólidos em Suspensão" / Lucas do
Amaral Faria .- - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2013.
129 p: il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Entupimento 2. Gotejadores 3. Irrigação localizada 4. Normas técnicas
5. Particulados suspensão I. Título

CDD 631.7
F224p

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

DEDICATÓRIA

A minha querida esposa Alice,
A todos os meus amigos e parentes,
Aos meus segundos pais o S. Marcelo e a D. Mara,
A minha irmã Janaina e o meu cunhado Carlos e a princesa Luiza,
A minha madrinha Tia Eurides e a Tia Dirce e primos,
Aos meus tios Carlinhos e Claudia e primos,
Aos meus tios Faria e Ângela e as primas Dominique, Mariana e Monise,
Ao meu pai Farião,
In memoriam a minha mãe D. Lucia e a minha avó D. Tereza,

Agradeço pelo incentivo, apoio e a amizade sincera de todos,
Dedico.

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho,

Pela orientação, paciência, os ensinamentos, exemplo de profissional e como pessoa.
Meus sinceros agradecimentos.

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor Dr. Rubens Duarte Coelho, pela orientação, ensinamentos, oportunidade concedida e apoio.

A (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo fornecida durante o curso.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem: Dr. José Antônio Frizzzone, Dr. Sérgio Nascimento Duarte, Dr. Tarlei Arriel Botrel, pelos ensinamentos.

Aos fabricantes de equipamentos de irrigação que doaram os materiais de irrigação localizada para a realização dos ensaios, aos Eng^o Luiz Carlos e Laércio Miranda da Drip plan e ao Eng^o Antonio Alfredo T. Mendes da NaanDanJain.

Primeiramente agradeço a todos os meus amigos, o pessoal de Campinas Fernando, Marcos, Rafael e Samuel, ao pessoal do Departamento de Irrigação e Drenagem ESALQ em especial a Everaldo Moreira, Carlos, Rafael Maschio, Renato Moreira (Goiano) e Acácio Perbone (Catarina), sem ajuda destes dois últimos, eu não conseguiria obter êxito na realização deste trabalho.

Aos funcionários Sr. Antonio, Áureo Santana, Luis e Gilmar, sempre dispostos a ajudar e com respeito.

As secretárias do Departamento de Engenharia de Biossistemas, a Beatriz, a Sandra, Davilmar e a Ângela, pelo auxílio no dia a dia do departamento de PG.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1 Irrigação Localizada.....	19
2.2 Susceptibilidade dos emissores ao entupimento.....	20
2.3 Arquitetura dos emissores autocompensantes.....	22
2.4 Qualidade da água para irrigação.....	22
2.5 Cinética dos particulados em suspensão.....	23
2.6 Particulados Sólidos em Suspensão.....	25
2.7 Sistemas de Filtragem.....	26
2.8 <i>Mainfold</i>	28
2.9 Avaliação do Sistema de Irrigação Localizada.....	29
2.9.1 Coeficiente de Variação de Fabricação e Uniformidade.....	29
2.10 Dióxido de silício.....	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Localização do experimento.....	33
3.2 Entupimento por particulados sólidos em suspensão.....	33
3.3 Condução e Monitoramento.....	36
3.4 Bancada de Testes.....	36
3.5 Delineamento experimental	40
3.6 Dispositivos de medição.....	40
3.7 Procedimento para o condicionamento dos tubogotejadores.....	40
3.8 Aplicação do Dióxido de Silício.....	42
3.9 Solução de Particulados em Suspensão.....	43
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	45
4.1 <i>Mainfold</i>	46
4.2 Avaliações dos tubos emissores.....	46
4.2.1 Avaliação do tubo emissor A.....	46
4.2.2 Avaliação do tubo emissor C.....	50
4.2.3 Avaliação do tubo emissor I	53
4.2.4 Avaliação do tubo emissor B.....	55
4.2.4.1 Avaliação do tubo emissor B para baixo.....	57
4.2.4.2 Avaliação do tubo emissor B para cima.....	58
4.2.5 Avaliação do tubo emissor D.....	60
4.2.5.1 Avaliação do tubo emissor D para baixo.....	62
4.2.5.2 Avaliação do tubo emissor D para cima.....	63
4.2.6 Avaliação do tubo emissor E.....	64
4.2.6.1 Avaliação do tubo emissor E para baixo.....	66
4.2.6.2 Avaliação do tubo emissor E para cima.....	67
4.2.7 Avaliação do tubo emissor F.....	67
4.2.7.1 Avaliação do tubo emissor F para baixo.....	70
4.2.7.2 Avaliação do tubo emissor F para cima.....	71
4.2.8 Avaliação do tubo emissor G.....	72
4.2.8.1 Avaliação do tubo emissor G para baixo.....	74
4.2.8.2 Avaliação do tubo emissor G para cima.....	75
4.2.9 Avaliação do tubo emissor H.....	76
4.2.9.1 Avaliação do tubo emissor H para baixo.....	78

4.2.9.2 Avaliação do tubo emissor H para cima.....	79
4.2.10 Avaliação do tubo emissor J.....	80
4.2.10.1 Avaliação do tubo emissor J para baixo.....	82
4.2.10.2 Avaliação do tubo emissor J para cima	83
4.2.11 Avaliação do tubo emissor K	84
4.2.11.1 Avaliação do tubo emissor K para baixo.....	86
4.2.11.2 Avaliação do tubo emissor K para cima	87
4.2.12 Avaliação do tubo emissor L	88
4.2.12.1 Avaliação do tubo emissor L para baixo.....	90
4.2.12.2 Avaliação do tubo emissor L para cima	91
4.3 Análise por blocos	91
4.4 Posicionamento dos emissores pastilha	93
4.5 Avaliação dos tubos emissores em relação ao Tempo	94
5 CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	101
6 CONCLUSÕES.....	103
REFERÊNCIAS	105
ANEXOS	111

SIMBOLOGIA

A_e	– Área Efetiva, (m ²);
A_t	– Área Total, (m ²);
CU_c	– Coeficiente de Uniformidade, (%);
CV_f	– Coeficiente de variação de fabricação, (%);
D	– Diâmetro das partículas em micrometros;
D_p	– Diâmetro das partículas (mm);
dr	– Densidade real das partículas, (g.cm ⁻³);
dw	– Densidade da água, (g.cm ⁻³);
N	– Número de emissores do conjunto;
p	– Porcentagem da Área dos Orifícios, (%);
q	– Vazão média dos emissores, (L.h ⁻¹);
q_i	– Vazão do emissor, (L.h ⁻¹);
q_m	– Vazão média dos emissores, (L.h ⁻¹);
q_{var}	– Vazão variável, (%);
$q_{máx}$	– Vazão máxima dos emissores, (L.h ⁻¹);
q_{min}	– Vazão mínima dos emissores, (L.h ⁻¹);
Q_r	– Vazão Relativa, (%);
$q_{média}$	– Vazão média dos emissores, (L.h ⁻¹);
$q_{nominal}$	– Vazão nominal dos emissores, (L.h ⁻¹);
s	– Desvio padrão da vazão média do emissor, (L.h ⁻¹);
V	– Velocidade de Sedimentação, (cm.s ⁻¹);
V_s	– Velocidade de Sedimentação, (cm.min ⁻¹);
μ	– Viscosidade cinemática, (g.cm ⁻¹ . s ⁻¹);

RESUMO

“Proposta de Norma Técnica de Ensaio para Tubogotejadores de Irrigação: Resistência ao Entupimento por Particulados Sólidos em Suspensão”

No mercado nacional de irrigação localizada, a indústria de gotejamento disponibiliza uma ampla gama de emissores, cujas tecnologias são provenientes de diferentes países: Israel, Espanha, EUA, Grécia, Índia, etc. Aos projetistas, técnicos e agricultores irrigantes que atuam no Brasil, cabem à árdua tarefa de selecionar os tipos de emissores mais adequados na implantação dos projetos. Este trabalho teve por objetivo apresentar uma proposta de Norma Técnica para ensaios de tubogotejadores, em função da presença de partículas sólidas em suspensão na água de irrigação. Avaliar o desempenho dos tubos emissores é algo bastante desejado, pois torna a escolha dos emissores mais técnica e segura. Propostas de normas técnicas devem focar a princípio em ensaios de grande porte com a análise de vários emissores simultaneamente, durante a fase inicial de criação do banco de dados. Estudou-se neste trabalho o posicionamento dos emissores tipo pastilha, com os orifícios direcionados para cima e para baixo durante os ensaios, assim como a distribuição do fluxo de água por meio do *mainfold* de alimentação dos tubogotejadores na bancada e sua influência no caminhar seletivo de partículas sólidas nos ensaios de grande porte. O experimento foi conduzido em três fases distintas, utilizando-se duas faixas granulométricas de dióxido de silício (SiO_2) na água bombeada (areia muito fina e areia média), com as seguintes características: a) partículas com diâmetros de 0,053 a 0,103 mm nas primeiras 80 horas; b) Partículas com diâmetros de 0,103 a 0,250 mm entre 80 a 160 horas e c) Partículas com diâmetros de 0,250 a 0,500 mm entre 160 a 240 horas de ensaio. As fases foram baseadas em duas concentrações de partículas em suspensão, com 125 ppm e 500 ppm para um tempo total de ensaio de 480 horas. Para testar a hipótese de que um mesmo tubogotejador poderia apresentar comportamento diferenciado de resistência ao entupimento em função da posição de entrada do tubogotejador no *mainfold*, utilizou-se um delineamento em blocos não casualizados e para a comparação das médias de vazões relativas o teste Scott Knott com significância de 5% na análise de variância. Constataram-se diferenças significativas de vazões relativas nos tratamentos de posição dos emissores pastilhas, de tipos de emissores, e posições no *mainfold* confirmando as hipóteses iniciais do trabalho. Em função dos resultados obtidos sugere-se uma proposta de norma técnica para este tipo de ensaio de resistência ao entupimento de tubogotejadores.

Palavras - Chave: Ensaio; Tubogotejadores; Irrigação Localizada; Entupimento; Particulados Suspensão

ABSTRACT

"Proposed Technical Standard Testing dripline (Irrigation): Resistance to clogging by particulates in Suspension "

In the market for drip irrigation, drip provides a wide range of issuers, whose technologies are coming from different countries: Israel, Spain, USA, Greece, India, etc.. To designers, technicians and farmers irrigators operating in Brazil, fit the arduous task of selecting the appropriate type of transmitter in deployment projects. The study aimed to propose a Technical Standard for testing large, due to the presence of suspended solids in the irrigation water conducted from August 2010 to June 2012. Evaluate performance of the tubes emitters is quite desired, as it makes the choice of emitters safer and should focus on the large test - analyzing large amounts of both issuers / initial phase of creating the database. We studied also the positioning of the emitters type wafer with holes directed upwards and downwards. The main detail analysis was performed for the distribution of water flow through "mainfold" Feed the dripline on the bench and their influence on selective traversal of solid particles in the test large. The experiment was conducted in three distinct stages, using two particle sizes of silicon dioxide (SiO₂) in water pumped from very fine sand and medium sand, described below: a) particles with diameters of 0.053 to 0.103 mm in the first 80 hours, b) particles with diameters from .103 to .250 mm 80 to 160 hours and c) Particle diameter 0.250 to 0.500 mm between 160 to 240 hours of testing. The phases are performed in two concentrations of particles in suspension with 125 ppm, and then with 500 ppm of the total time test at 480 hours. To test the hypothesis that the same behavior tubogotejador could present different resistance to clogging as a function of input position with the tubogotejador "mainfold", used a non-randomized block design, and the Scott test, with significance of Knott 5% in the analysis of variance to compare the means. Differences were found in the treatments of the emitters position lozenges, flow variations between types of emitters, between blocks (positions of the manifold) and particle sizes and concentrations of silicon dioxide, confirming the hypothesis initial work. Depending on the results obtained, some models have produced significant effects, and also the different installation positions pad (up, down) and suggest a proposed technical standard for this type of test for resistance to clogging of emitters.

Keywords: Dripline; Microirrigation; Clogging; Particulates in suspension; Standards

1 INTRODUÇÃO

O mercado mundial de equipamentos de irrigação localizada tem apresentado nos últimos anos uma taxa de crescimento em área irrigada acima dos tradicionais sistemas de irrigação por aspersão. O motivo principal desta tendência observada é a questão do uso mais eficiente da água na produção agrícola que a irrigação por gotejamento e a microaspersão promovem, o que tem sido reconhecido por órgãos ambientais e regulatórios como ferramenta para minimização de impactos ambientais da agricultura irrigada.

A demanda hídrica mundial tem aumentado devido ao crescimento populacional ao longo dos anos, sendo que, a disponibilidade de fontes com boa qualidade deste recurso tem se reduzido, desta forma, limitando a prática da irrigação nos cultivos agrícolas em algumas microbacias.

Na irrigação por gotejamento, a umidade do solo é mantida na capacidade de campo próxima a zona radicular, com a aplicação de pequenas vazões em elevada frequência, possibilitando as aplicações de fertilizantes via água de irrigação, baixas pressões, baixo consumo energético, geralmente atingindo marca superior a 90% de eficiência, e possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação, (PIZARRO, 1996; BERNARDO, 2006).

A qualidade da água utilizada na irrigação localizada é importante para a manutenção e o prolongamento da vida útil destes equipamentos. Esses emissores de baixa vazão são mais sensíveis às variações da qualidade da água aplicada, podendo ocorrer entupimento dos emissores o que resultam em falhas de uniformidade na distribuição de água no solo que diretamente influenciam na quantidade e na qualidade dos produtos agrícolas. Os tipos de impurezas das águas, que ocasionam os entupimentos dos emissores, são classificados entre químicos, biológicos e físicos, as condições de captação podem apresentar tais problemas nos recursos hídricos disponíveis, como rios e poços que podem apresentar grandes quantias de impurezas.

Nas águas provenientes de escoamento superficial é possível encontrar materiais em suspensão de origem **orgânica** como restos de vegetais folhas, galhos, raízes e restos de insetos e de outros animais, e também de origem **inorgânica** como grãos de areia em suspensão e outros minerais dissolvidos na água. Com recursos de filtragem, escolhido o modelo adequadamente para a função e devidamente bem dimensionado, os riscos de entupimento dos emissores reduzem significativamente. Porém, é de interesse, tanto dos profissionais de aplicação de projetos em irrigação e tanto quanto os profissionais que

desenvolvem novos produtos e que se estude o comportamento destes equipamentos quando colocados em águas com altas concentrações de particulado sólido.

A tomada de decisão em projetos, com relação ao tipo de emissor e a forma de filtragem deverá estar de acordo com o local de instalação do projeto de irrigação, levando em consideração a qualidade da água captada e a qualificação da mão de obra de montagem do sistema de irrigação, visando minimizar a introdução de solo no interior das tubulações. Ainda deve considerar se o material de irrigação utilizado é mais resistente ao entupimento, os longos trechos de tubos e às variações topográficas, para, dessa forma, definir qual a técnica adequada e qual forma adotada para reduzir custos e aperfeiçoar a manutenção do sistema de irrigação.

Em campo, torna-se inviável realizar tal estudo. O fato de atribuir mais variáveis de acordo com as diferenças da área experimental seriam fatores limitante, ocasionando variações na velocidade do fluxo e tornar-se inconclusivo para estudo com particulados em suspensão. O método para ensaio utilizando bancadas em laboratórios torna-se ideal para este tipo de estudo, pois consegue uniformizar os tratamentos, diferenciando-se as concentrações e granulometrias de areia com grande número de amostras. Assim, obtém-se uma maior agilização nas respostas aos tratamentos experimentais, tornando o processo mais dinâmico e seguro. Não consta até o presente momento, norma nacional (ABNT) ou internacional (ASABE / ISO) regulamentando ensaios de resistência ao entupimento de tubogotejadores utilizados na irrigação localizada.

A proposta de uma norma para ensaios de grande porte possibilita a análise de uma grande quantidade de emissores simultaneamente (fase inicial para desenvolver futuramente um banco de dados). Quanto à variação de granulometria do material utilizado na solução que ocasione obstrução dos emissores, seguiu-se parte do protocolo de ensaios de pequeno porte dos testes realizados no Instituto de Pesquisa Francês CEMAGREF, porém foi adotado um fluxo mínimo de 0,3m/s por tubo e utilizado o dióxido de silício (SiO_2) como sólidos em suspensão na água de irrigação.

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma proposta de Norma Técnica de Ensaios de “Resistência ao Entupimento em Tubogotejadores sob Condição de Particulados Sólidos em Suspensão na Água de Irrigação”. O experimento idealizado para dar suporte a esta proposta baseou-se nas seguintes hipóteses:

- 1) Emissores do tipo gotejador plano (pastilha) voltados para cima são menos propensos ao entupimento por particulados sólidos em suspensão na água de irrigação,

2) O “*mainfold* fixo” da bancada de ensaios propicia o caminhamento preferencial de particulados sólidos durante o processo de partição do fluxo de água, sendo necessário efetuar o posicionamento do mesmo modelo de tubogotejador em diferentes posições do *mainfold*, visando assegurar que a caracterização da resistência ao entupimento do gotejador por particulados sólidos leve em consideração tal efeito.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Irrigação Localizada

A irrigação localizada é definida por aplicar água diretamente à zona radicular das plantas, eliminando-se o escoamento superficial e minimizando-se as perdas por percolação profunda. Esta técnica desenvolvida por volta dos anos 1960 marca o período de um dos maiores crescimento na ciência de irrigação.

A uniformidade da irrigação localizada não depende apenas do projeto hidráulico, mas também da variação de fabricação dos componentes, dos efeitos de variação de temperatura e pH da água bombeada e o potencial em entupimento dos emissores utilizados (WU, BARRAGAN, BRALTS, 2007).

É utilizado para uma diversidade de culturas, proporcionando a prática agrícola mais segura, a intensificação de técnicas de cultivo e a obtenção de um produto mais competitivo, pela melhor qualidade e produção em diferentes épocas (FARIA et al., 2006).

O sistema de irrigação localizada é projetado para transportar um volume de água de uma fonte utilizando um conjunto de redes e dispositivos hidráulicos para emissão de água. A meta geral é prover água de forma uniforme a manter favoravelmente úmido a zona radicular de uma cultura agrícola (CLARK et al., 2007).

Na irrigação localizada a qualidade da água é relevante, ocorre através de emissores que possuem orifícios e câmaras com pequenas dimensões para escoar água e insumos se comparados à aspersão, as vezes ocasionam obstrução devido à deposição de partículas em suspensão transportadas pela água utilizada na irrigação. No Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 70, em relação a outros métodos em 2003/04, uma área estimada de 337.755 mil hectares. Em comparação a outros métodos, a expansão da irrigação localizada representou aproximadamente 30 % da área irrigada implantada na ultima década (CSEI, 2010) Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Área irrigada no Brasil, (CSEI/ABIMAQ, 2010)

	Histórico	Área Total Irrigada / ANO - ha									
	até 1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pivô central		47320	50540	57820	59500	47600	26600	17500	19600	49000	49500
Carretel		25000	29000	30000	30000	22500	21000	30000	30000	30000	25000
Convencional		16200	15300	14650	17500	15000	15000	15000	16500	20000	17000
Localizada		30000	33000	37000	40000	38000	35000	30000	40000	47000	40000
Total ha/ano		118520	127840	139470	147000	123100	97600	92500	106100	146000	131500
Área Brasil	2949960	3068480	3196320	3335790	3482790	3605890	3703490	3795990	3902090	4048090	4179590

*Fonte revista ITEM

A irrigação por gotejamento traz vantagens para a agricultura, possibilitando soluções para diversos problemas enfrentados pelos agricultores, tais como o cultivo de solos de baixíssima fertilidade natural e práticas agrícolas em terrenos acidentados que, nos dias atuais é mais limitante a agricultura irrigada, aumentando a eficiência no uso da água, permitindo a otimização da produção (LEITE, 1995).

A irrigação localizada tem como característica principal de vazões não excedendo a 24 L.h⁻¹, exceto durante o processo de limpeza “*flushing*”.

A taxa de aplicação média de (1mm.h⁻¹) facilita a aplicação de fertilizantes de quantidades adequadamente distribuídos na zona radicular das culturas, utiliza baixas pressões, com turnos curtos de rega e boa eficiência e uniformidade, possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (LEITE, 1995; RESENDE, 1999; ABNT, 2005; BERNARDO, 2006).

Ao utilizar a irrigação localizada para realizar fertirrigação ou aplicar água de reuso, é desejável que o tubo emissor possua resistência ao entupimento. Entretanto, o sucesso de tal empreendimento exige um conjunto de fatores, como o conhecimento do equipamento que está inserido no projeto, das técnicas de manejo do cultivo, além da irrigação e de informações da localidade sobre clima e solo e, por fim, a boa qualidade da água, características mais importante para irrigação localizada (FARIA et al., 2006).

2.2 Susceptibilidade dos emissores ao entupimento

A irrigação localizada é constituída de equipamentos com proporções reduzidas, tanto no volume de água conduzida quanto no tamanho dos dispositivos hidráulicos. Estes fatores tornam-se limitantes, afetando o rendimento técnico e econômico do projeto, se não houver a disponibilidade de água com boa qualidade (FARIA et al., 2010).

Talvez um dos principais problemas da irrigação localizada seja a obstrução ocasionada em emissores com pequenos diâmetros de orifício e ainda em gotejamento; as regiões de tubos com baixas velocidades da água bombeada facilitam a formação de obstruções (PIZARRO, 1996). Segundo Bernardo (2006) a causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, pois vários agentes na água podem interagir, agravando o problema.

Se, por um lado, este sistema pode amenizar o problema de escassez de água, por outro lado, em função do pequeno diâmetro de orifício dos emissores ocasionam transtornos aos irrigantes, em função do entupimento. O entupimento é um dos principais problemas relacionados ao método, sendo a qualidade da água um fator essencial, uma vez que partículas

em suspensão, raízes, insetos e precipitados químicos provocando obstruções, diminuindo a uniformidade de aplicação e, conseqüentemente, a eficiência do sistema de irrigação (RAVINA et al., 1992; LEITE, 1995; RESENDE, 1999). Segundo Vieira et al. (2004), o entupimento dos emissores é um grave problema associado da irrigação localizada, visto que dificulta a operação dos sistemas de irrigação e de difícil detecção.

Os componentes que alteram o grau de pureza da água podem ser definidos por suas características físicas, químicas e biológicas, traduzidas na forma de parâmetros de qualidade de água (GIRÃO et al., 2007).

Quando ocorre ruptura de uma tubulação inevitavelmente resultará entrada de partículas sólidas de solo e outros materiais biológicos que ocasionam vários problemas de entupimento de gotejadores no campo (COELHO, 2007).

As obstruções dos emissores afetarão adversamente a vazão e a uniformidade de distribuição de água e, conseqüentemente, haverá um aumento dos custos operacionais (BUCKS et al, 1978). O bom desempenho dos sistemas de irrigação localizada deve ser maximizado, a fim de assegurar uma relação “custo / benefício” favorável. Portanto, se os emissores entopem em um curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação adicionarão custos para a manutenção do sistema; do contrário, levando à queda de produtividade e qualidade dos produtos (RIBEIRO e PATERNIANI, 2008). A obstrução dos emissores está diretamente relacionada à qualidade da água de irrigação. Portanto, os sólidos em suspensão, a composição química e a atividade microbiológica ditam o tipo de tratamento de água necessário para as prevenções das obstruções (NAKAYAMA e BUCKS, 1979).

Em sistemas de gotejamento quando utiliza água de reuso, o risco de entupimento é menor para um emissor com vazão maior do que um emissor semelhante com menores vazões (RAVINA, 1997).

Diversos tipos de gotejadores estão disponíveis no mercado e, desta forma, cada um apresenta comportamento diferenciado na dinâmica da obstrução dos emissores (PIZARRO, 1996). Segundo Ravina et al. (1992), todos os gotejadores apresentam vulnerabilidade ao problema citado. Isso porque sempre apresentam estreitas passagens e pequenas aberturas (0,5 a 1,5 mm). Os que têm membranas autolimpantes ou aqueles que possibilitam maior turbilhonamento da água no seu interior apresentam-se menos suscetíveis ao entupimento.

São diversas as causas que podem provocar o entupimento parcial ou a completa obstrução dos emissores e tubulações, prejudicando o fluxo de água e a distribuição da mesma ao longo das linhas de distribuição e, principalmente, nas laterais, reduzindo, conseqüentemente a eficiência do sistema (NAKAYAMA e BUCKS, 1991 ;COELHO et al.,

2007). Segundo Coelho (2007) a imagem comercial de um produto do tipo gotejador poderá ficar comprometida com a realização de um determinado tipo de ensaio hidráulico não padronizado em norma técnica que apresente uma situação de ensaio diferente da real situação de campo.

2.3 Projeto dos emissores autocompensantes

Com objetivo de se aplicar um volume equivalente ou constante em linhas laterais longas ou em terrenos com desnível topográfico acentuado, buscaram-se alternativas através de dispositivos que trabalhe com pressão variável e a vazão mantém-se constante. Denominados no mercado como emissores autocompensantes, funcionam em faixas de baixa pressão, reduzindo custos de bombeamento e energia.

Os emissores de irrigação por gotejamento são dispositivos hidráulicos que dissipam a pressão e que mantém pequenas vazões constantes (CLARK et al., 2007). Num projeto de irrigação, a escolha do emissor requer a análise de algumas variáveis, como a qualidade da água utilizada, o tratamento disponível, o tipo de terreno, o comprimento das laterais, a perda de pressão, a pressão de serviço, a susceptibilidade dos emissores ao entupimento e a estabilidade da vazão pela pressão ao longo do tempo. Keller e Bliesner (1990) citam que os emissores distinguem em vários modelos, como, por exemplo, emissores de caminho longo, e de caminho curto, orifício, sinuosos e de caminho curto, de tubos com dupla câmara, vortex, sprays e autocompensante.

Emissores autocompensantes apresentam princípios de comportamento diferente dos demais tipos de emissores. Para tanto, utilizam um elastômero (membrana elástica) inserido em uma câmara que permite o controle do fluxo pelo orifício do gotejador. Este elastômero trabalha como uma “válvula diafragma” que separa duas câmaras para fornecer vazão quase constante em uma faixa ampla de pressão de serviço (TEIXEIRA, 2006).

2.4 Qualidade da água para irrigação

Todos os sistemas hidráulicos apresentam alterações de desempenho no decorrer do tempo da vida útil. A qualidade do material, o fator operacional do sistema e a qualidade da água reduz a eficiência do sistema pressurizado e oneram o projeto com aumento de manutenção.

O entupimento dos emissores ocorre, basicamente, por uma combinação de materiais particulados. Entretanto, este material particulado combina com o lodo bacteriano, ocorrendo acúmulo de materiais dentro dos emissores e, possibilitando cimentarem-se e torna-se um tipo

de entupimento, mesmo utilizando de um filtro. Segundo Nakayama, Boman e Pitts (2007), seria ideal para a irrigação localizada que a água sofresse um tratamento de remoção das partículas suspensas, reduzindo a turbidez, o odor e as bactérias patogênicas, mas, em vez disso, é realizado um tratamento da água local a níveis aceitáveis para o sistema de irrigação localizada.

Bucks e Nakayama (1980) determinaram os fatores que afetam a qualidade da água para a irrigação, classificando os riscos potenciais conforme a concentração e o tipo de problemas descritos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Riscos potenciais de entupimento dos emissores irrigação por gotejamento*

Tipo do Problema	Risco de Entupimento		
	Baixo	Moderado	Alto
Físico			
Sólidos Suspensos (ppm)	< 50	50 – 100	> 100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos Dissolvidos (ppm)	< 500	500 – 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
H ₂ S (ppm)	< 0,5	0,1 – 2,0	> 2,0
Biológico			
População Bacteriana (nº/cm ³)	< 10.000	10.000 – 50.000	> 50.000

*Fonte (BUCKS e NAKAYAMA, 1980)

Na prática, ocorrem algumas circunstâncias desfavoráveis para a irrigação como cita Clark et al. (2007). Água de fontes naturais como águas subterrâneas ou de rios e lagos não tem um padrão de qualidade definido, podendo ser excelente para abastecimento ou apresentar péssimas condições de qualidade para o sistema de irrigação localizada, com vários tipos de sólidos em suspensão, dissolvidos e organismos biológicos.

2.5 Cinética dos particulados em suspensão

A água ao ingressar no sistema de irrigação, caso não ocorra um pré-tratamento adequada sua qualidade. O normal é que ocorra o transporte de partículas, sejam minerais, orgânicas ou químicas, cuja velocidade inicial é alta e, após a distribuição, durante o percurso da área, alguns pontos finais de aplicação de água do projeto de irrigação ficam suscetíveis à

baixa velocidade e ocasionarem a precipitação e o acúmulo de partículas, causando o entupimento dos emissores.

Foi possível desenvolver um modelo para prever o acúmulo de sedimentos, com a variação espacial e temporal em linhas laterais de gotejamento, baseado em diâmetro de tubulação, vazão, concentração, densidade de partículas e distribuição no tamanho de partículas sedimentadas (JAMES e KING, 1984).

Tratando-se de partículas em suspensão, um parâmetro fundamental para o estudo é a velocidade mínima de fluxo em relação ao diâmetro e densidade de partículas, que se pode calcular através do modelo da Equação de Stoke, conforme Equação 1.

$$V_s = 0,0034 \cdot D^2 \cdot (d_r - 1) \quad (1)$$

Em que:

- V_s – Velocidade de Sedimentação, (cm.min⁻¹);
- D – Diâmetro das partículas, (μm);
- d_r – Densidade real das partículas, (g.cm⁻³).

A velocidade de sedimentação dos particulados presentes na água é inversamente proporcional às dimensões mínimas necessárias do tanque, para que torne as condições ideais de sedimentação dos particulados sólidos em suspensão neste dispositivo. Quanto maior a velocidade de sedimentação das partículas, menores as dimensões do tanque de sedimentação. A velocidade de sedimentação está descrita na Equação 2.

$$V = \frac{Dp^2 \cdot (d_s - d_w) \cdot g}{18 \cdot \mu} \quad (2)$$

Em que:

- V – Velocidade de Sedimentação, (cm.s⁻¹);
- Dp – Diâmetro das partículas (cm);
- d_r – densidade das partículas, (g.cm⁻³);
- d_w – densidade da água, (g.cm⁻³);
- μ – Viscosidade cinemática, (g.cm⁻¹. s⁻¹).

A velocidade de fluxo bombeado comporta-se como gradiente, reduzindo-se durante a distribuição para tubos emissores. No decorrer dos longos trechos, estes tubos tornam-se locais propícios para o acúmulo de sedimentos e regiões com baixas velocidades de fluxo. Dessa forma, o ensaio possui uma vazão mínima nos finais de linha, justamente para simular

os trechos iniciais e intermediários de longas tubulações com emissores, para confirmar se ocorre interferência nos entupimentos de emissores com os particulados sólidos em suspensão.

2.6 Particulados Sólidos em Suspensão

Para o sistema de irrigação não requerer manutenção constantemente, é necessário adotar algumas medidas preventivas, como utilização de filtros adequados a cada localidade e condições de água bombeada, emissores com aplicações uniformes que atendam as necessidades hídricas da cultura. Também importante que os filtros primários sejam limpos periodicamente, bem como os filtros secundários, “*mainfolds*” e laterais devem ser checados com certa frequência.

A obstrução física pode ser controlada com manutenções periódicas no sistema de filtragem e também com a utilização de fluxo de alta vazão para a limpeza ou lavagem das laterais. Recomenda-se ao menos uma vez a cada duas semanas esse tipo de procedimento, ainda mais quando é utilizado água de reuso, o que já demonstrou resultados satisfatórios (RAVINA, 1997). As condições mínimas ideais para a realização de *Flushing*, a relação de vazão de limpeza pelo diâmetro de tubulação estão descrito na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Vazões mínimas ($L \cdot min^{-1}$) requeridas para o fluxo de limpeza nos finais de linhas laterais de irrigação localizada*

DN tubos (mm)	Vazão requerida p/ 0,3 m/s (L/min)	DN tubos (mm)	Vazão requerida p/ 0,3 m/s (L/min)
13	3,2	76	91,6
19	6,1	102	151
25	10,2	152	328
38	16,9	203	556
51	27,0	254	864
64	42,2	305	1216
76	61,8		

* Fonte Nakayama; Boman e Pitts (2007)

Ao se acionar o sistema e abrirem-se as válvulas e os finais de linhas ao mesmo tempo, ocorre a remoção da maioria das partículas antes que o acúmulo destas venham causar problemas de entupimento (SMAJSTRLA e BOMAN, 1998). Em cada caso deve se tomar um tipo de procedimento quanto ao tempo de manutenção, levando em consideração fatores como qualidade da água, tipo do equipamento e o montante do investimento no sistema hidráulico.

Partículas inorgânicas precipitam em trechos do equipamento onde a velocidade de fluxo é baixa, e também quando a água possui alta concentração de particulados. Colocar as laterais e *mainfolds* em processo de fluxo de lavagem denominado *flushing* é importante procedimento para iniciar o funcionamento do sistema de irrigação e para a sua manutenção periodicamente, como também após reparos no sistema hidráulico. Entretanto, é necessária a utilização de válvulas ou dispositivos em sistemas automatizados no final de linhas para possibilitar o uso desta técnica (KELLER e BLIESNER, 1990).

Ao utilizar particulados sólidos em suspensão com fluxo faz-se simulação de trechos de uma linha com comprimento considerável em Laboratório

2.7 Sistemas de Filtragem

A filtração adequada é o processo de toda água que entra em um sistema e retém as partículas. Os tamanhos das partículas dependem das tolerâncias dos emissores com seus formatos construtivos, que deveriam ser indicadas pelos fabricantes ou através de trabalhos experimentais (KELLER e BLIESNER, 1990).

Não se dispõem de uma metodologia que garanta avaliar riscos de obstruções dos emissores ocasionados por uso de uma qualidade determinada de água para a irrigação. A questão não é simples porque existem vários fatores que intervêm, como a temperatura, que afeta a formação de precipitados e a formação de microrganismos, e também de produtos que são aplicados junto da água como os fertilizantes (PIZARRO, 1996).

Os filtros comumente utilizados na irrigação localizada consistem em filtro areia, tela, disco e ação centrífuga, (BERNARDO, 2006). Um método preventivo para minimizar os efeitos das obstruções dos emissores é a filtragem, que compreende desde instalações de pré-filtro, como decantadores e separadores de areia e filtros por meio poroso (PIZARRO, 1996).

Com exceção de água proveniente do abastecimento municipal, a água de irrigação requer, normalmente, algum tipo de tratamento, como a filtragem, onde tais partículas apresentam tamanhos distintos, do tamanho de um vírus até frações de areia, (NAKAYAMA; BOMAN e PITTS, 2007). A água após sofrer tratamento de filtragem, dependendo do tamanho no meio poroso, ainda permite a passagem de materiais em suspensão. Porém, quanto menor a faixa de granulometria de filtragem será maior a frequência da manutenção no sistema de filtragem, os tamanhos de meio poroso para o processo de filtragem, como descrito na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Classificação de telas e tamanhos de partículas (NAKAYAMA; BOMAN E PITTS, 2007)

Filtro Tela Nº mesh*	Diâmetro equivalente (µm)	Tipo de Partícula	Diâmetro equivalente (µm)
16	1.180	Areia Grossa	> 1.000
20	850	Areia Média	250 – 500
30	600	Areia Muito Fina	50 – 250
40	425	Silte	2 – 50
100	150	Argila	< 2
140	106	Bactéria	0,4 – 2
170	90	Vírus	< 0,4
200	75		
270	53		
400	38		

*Medida dos elementos filtrantes, número de orifícios por polegada linear.

Avaliando efeito de filtragem em diferentes emissores, só houve diferença significativa entre os filtros quando utilizou de água de reuso urbano com alto número de partículas suspensas. Obtiveram-se as menores vazões maiores grau de entupimento nos emissores após o filtro disco o filtro de tela com o filtro areia obtiveram melhores resultados (DURAN-ROS et al, 2009).

O correto dimensionamento e a manutenção desses equipamentos são essenciais para garantir o controle efetivo da qualidade da água de irrigação, visando reduzir à ocorrência de obstrução dos emissores e mantem a uniformidade de aplicação de água, assim evitando o aumento nos custos de operação do sistema hidráulico.

Apesar da existência de informações técnicas para realizar o projeto, a operação e a manutenção nas formas de filtragem na hidráulica na literatura, as informações estão dispersas e com detalhamento insuficiente para permitir o melhor dimensionamento da estrutura hidráulica e a escolha do meio poroso adequado (TESTEZLAF, 2008).

Entre estes dispositivos de retenção de impurezas contidas nas tubulações durante o transporte da água, o filtro de areia retém material orgânico e é demonstrado, em alguns estudos, o desempenho superior, se comparado com outros tipos de filtro. Isso se deve à sua capacidade de coletar esses contaminantes ao longo da trajetória percorrida na camada de areia e da possibilidade de acumular grandes quantidades de algas antes de ser necessária a sua limpeza (KELLER e BLIESNER, 1990). A presença de biofilmes envolvendo os grãos de areia ajuda no retardamento da passagem de sujeiras pelo meio poroso, um filtro biológico adicional.

A necessidade de realizar a limpeza através da retrolavagem reduz os riscos da inserção das partículas de areia e impurezas, e não dispensa a utilização de filtros de tela ou disco localizados e filtro areia para sistemas de irrigação localizada.

2.8 Mainfold

Os sistemas hidráulicos que têm divisão de fluxo utilizam dispositivos de múltiplas saídas denominados de *mainfold*. Há vantagens e desvantagens durante a escolha de uma montagem ideal onde ocorra uma distribuição uniforme das vazões. Nos sistemas por bifurcações obtém boa distribuição hidráulica quanto à homogeneidade na concentração durante a vazão, porém, é necessária maior quantidade de tubos, ocupa maior espaço e, conseqüentemente, aumenta o trabalho de instalação e o seu custo.

Durante o processo de montagem, define-se qual a finalidade da utilização do *mainfold*, como apenas no abastecimento simultâneo e simplificado de múltiplas saídas, sem controle e monitoramento na vazão e na pressão. Para que o sistema hidráulico apresente uma distribuição homogênea de vazão o processo torna-se oneroso, exigindo investimento, como na obtenção de recursos técnicos (Figura 2.1).

Figura 2.1 – a) sistema com bifurcações, b) sistema com saídas consecutivas

Dispositivos que controlam sistemas hidráulicos de fluxos com múltiplas saídas são extensivamente encontrados em vários processos industriais, incluindo química, biomédica, mecânica e de engenharia civil e ambiental (WANG, 2011). Em alguns, eles podem

apresentar má distribuição do seu fluxo, devido ao formato da construção hidráulica, como distancias entre conexões, tipos de conexões e diâmetros das tubulações, fazendo com que algumas saídas apresentam baixas vazões em relação às outras, ou tê-los em excesso, o que reduz o desempenho do sistema e a sua eficiência na distribuição hidráulica. O maior desafio é quanto à forma da montagem da estrutura hidráulica, de forma a prever seu desempenho em funcionamento e o possível ponto de maior eficiência, de modo que, estas múltiplas saídas obtenham alta uniformidade na distribuição de vazão a baixo custo, que podem ser alcançados através de uma estrutura hidráulica muito bem projetada (WANG, 2011).

2.9 Avaliação do Sistema de Irrigação Localizada

Os emissores produzidos para irrigação localizada apresentam pequenas diferenças entre cada um, até mesmo quando fabricados pela mesma companhia. Tal variabilidade dos emissores pelo processo industrial ou de fabricação contribuirá para não uniformidade do sistema de irrigação (SCHWANKL e HANSON, 2007).

Se um método de irrigação empregado apresenta sucessivas ocorrências de problemas de entupimento, os irrigantes tornam-se menos confiantes e migram para outros métodos menos eficientes. A prevenção ao aparecimento da obstrução, seja ela parcial ou total dos emissores, é melhor em relação à sua recuperação após obstruir (RESENDE, 1999).

2.9.1 Coeficiente de Variação de Fabricação e Uniformidade

Para avaliar tais variações na aplicação de água dentro de uma amostra de emissores em um tubogotejador, Keller e Karmeli (1974) propuseram a utilização do Coeficiente de Variação da Fabricação (CV_f), em que os equipamentos de irrigação localizada, baseiam-se nesta medida estatística, para avaliar as variações durante o processo de fabricação dos emissores. Trata-se de um valor adimensional estimado pela relação dos valores estatísticos no desvio padrão da vazão de uma amostragem pela respectiva média.

A má uniformidade de aplicação da água pode ser resultado de diferenças de pressão na rede hidráulica, excessiva perda de carga, irregularidades topográficas, bem como a insatisfatória uniformidade de fabricação dos emissores (ABREU et al., 1987).

Segundo Pizarro Cabello (1996), durante o processo de fabricação de tubogotejadores é indesejável a aspereza acentuada na superfície interna do tubo. Porém, o controle durante o processo da fabricação é bastante difícil e a qualidade torna mais heterogênea ao se utilizar

material reciclado. Normalmente, há um aumento da perda de carga através da turbulência em regiões de baixa velocidade e, conseqüentemente, torna-se propício o acúmulo de sedimentos.

Schwankl e Hanson (2007) classificaram diferentes intervalos de Coeficientes de Variação em relação à interpretação de desempenho, como descritos na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 – Classificação do coeficiente de variação (CV), valores adaptado ASAE EP405.1(2000)*

Coeficiente de Variação, CV	Interpretação
< 0,05	Excelente
0,05 – 0,10	Média
0,10 – 0,15	Fraco
> 0,15	Inaceitável

*Fonte (SCHWANKL e HANSON, 2007)

Conforme a ABNT (2006), é aceitável que a vazão média das amostras divirjam em até $\pm 7\%$ da vazão nominal e o coeficiente de variação da vazão (CV_f) não deve exceder os 7% de variação. Hillel (1982) classificou os emissores de acordo com resultados do Coeficiente de Variação (CV_f), como descrito na Tabela 2.6.

Tabela 2.6 – Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CV_f)*

a) Para gotejadores, minicroaspersores e difusores:	Uniformidade de Fabricação
CVf até 5%	Bons
CVf entre 5 e 10%	Médios
CVf entre 10 e 15%	Deficientes
CVf acima de 15%	Inaceitáveis
b) Para tubogotejadores:	
CVf até 10%	Bons
CVf entre 10 e 20%	Médios
CVf acima de 20%	Deficientes e Inaceitáveis

*Fonte Hillel (1982)

Aprimorar o produto, como diminuir a aspereza de uma superfície, normalmente exigirá o aumento exponencial dos seus custos de fabricação. Isso resulta, frequentemente, em um intercâmbio entre o custo industrial de um componente e seu desempenho em aplicação. Deve-se notar que os polímeros não são uniformes, quando consideramos a sua composição química, peso molecular e estrutura (LEITE, 1994).

O Coeficiente de Variação de Fabricação (CV_f) demonstra bem a uniformidade de fabricação dos emissores ao início de funcionamento, expressando o projeto do emissor, materiais utilizados e cuidados na sua fabricação, (SOLOMON, 1979). Para os valores de CV_f

até 0,05 são considerados bons, e acima de 0,10 já são considerados ruins (SOLOMON, 1977; NAKAYAMA e BUCKS, 1981).

Na maior parte dos trabalhos sobre ensaio em tubogotejadores utilizam-se o coeficiente de variação e a vazão média como medidas para análise do desempenho destes equipamentos de irrigação.

2.10 Dióxido de silício

A crosta terrestre contém silício em quantidades inferiores apenas às de oxigênio. A maioria dos solos é, predominantemente, de silicatos e aluminosilicatos, o que torna comum a sua presença nas áreas de produção agrícola (EPSTEIN e BLOOM, 2006).

O dióxido de silício (SiO_2) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais. Entretanto, em razão do avançado grau de intemperização em que se encontram os solos tropicais, o Si é encontrado, basicamente, na forma de quartzo, opala ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e outras formas não disponíveis às plantas (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Na solução do solo, o silício está presente como ácido silícico ($\text{Si}(\text{OH})_4$), em concentrações variando de 0,1 a 0,6 mM, a qual é da ordem de 100 a 1000 vezes maior que a do fosfato (EPSTEIN, 1994). Pizarro (1996) cita categorias de imigração dos elementos, apontando o quartzo como um material praticamente não móvel (Tabela 2.7).

Tabela 2.7 - Categoria de imigração dos elementos*

Categoria	Elementos
1. Praticamente não móvel	Si (Quartzo)
2. Pouco móvel	Fe, Al, Si
3. Móvel	Si, P, Mn
4. Bastante móvel	Ca, Na, KMg, Cu, Co, Zn
5. Muito móvel	Nitrogênio, Cl, Br, I, S, C, B

* Fonte (POLYNOV e KOVDA) Apud (PIZARRO, 1996)

Partículas de areia no fluxo da água podem resultar em severos danos às paredes das peças hidráulicas compostas de metais ou plásticos. Danos à superfície destes materiais podem ser devido à cavitação. Plásticos e elastômeros são mais elásticos e resistência a danos causados por cavitação; porém, eles são mais suscetíveis a danos causados por abrasão de sólidos a alta velocidade, (TEIXEIRA, 2006).

Quanto ao comportamento do quartzo ocorre a dispersão entre as partículas. Dessa forma, torna-se possível avaliar, com consistência, os efeitos da cinética dos sólidos em

suspensão no fluxo de água, sem que haja variações no tamanho das partículas. Pizarro (1996) compara a CTC entre diferentes tipos de materiais, como se observa na Tabela 2.8.

Tabela 2.8 - Capacidade de troca de cátions dos principais minerais encontrados em áreas agrícolas*

Materiais	CTC (meq/100g)
1.Composto húmicos	300 – 500
2.Turfa	100
3.Montmorillonita	100
4.Vermiculita	120 – 150
5.Ilita	30 – 60
6.Caolinita	10
7.Quartzo muito fino	< 0,01

*Fonte (PIZARRO, 1996)

Adotando essa matéria-prima no ensaio de entupimento, a metodologia apresentou-se adequada, pela estabilidade física e química que o dióxido de silício apresenta durante os ensaios. Ao utilizar particulados provenientes de outros materiais poderia ocorrer floculação e cimentação entre materiais e, conseqüentemente a expansão de seus volumes quando ocorresse a hidratação, tornando-se particulados de diâmetro superior ao inicial utilizado no ensaio.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O propósito deste trabalho foi o desenvolvimento de uma norma técnica que padronize a execução de ensaios de entupimento de grande porte (vários emissores simultaneamente) em equipamentos de irrigação localizada do tipo gotejador. Para o início deste trabalho, realizou-se o condicionamento das amostras conforme a norma ABNT NBR 9261, com base em doze modelos de tubogotejadores, apresentando uma variação de vazão nominal entre 1,0 a 3,5 L.h⁻¹, com diferentes configurações de labirintos (lay-out/ design) de emissores de fabricantes variados, visando assegurar que no ensaio estivessem presentes sensibilidades variável ao entupimento por particulados sólidos.

Isso possibilitou a instalação de 126 amostras de tubos emissores distribuídos entre blocos de distribuição do fluxo de água com sílica. Utilizou a média de vazão de 10 emissores por tubogotejador, na primeira fase os tratamentos utilizou faixas de granulometria diferente de sílica de quartzo diretamente sem filtragem com concentração de 125 ppm e 500 ppm na água em duas fases sempre com o fluxo forçado por particulados sólidos em suspensão. Na avaliação estatística do estudo utilizou o Programa SISVAR, para o cálculo da análise de variância e o teste Scott Knott.

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no Instituto Nacional Ciência e Tecnologia Engenharia da Irrigação, INCT – EI, Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia de Biossistemas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – (ESALQ/USP), em Piracicaba, SP.

3.2 Entupimento por particulados sólidos em suspensão.

Os fatores analisados;

- **Fator 1 – Emissores.** Os modelos de gotejadores selecionados foram definidos através de uma combinação de Fabricantes x Lay-out/Design de Labirinto x Vazão Nominal, de modo tal que houvesse a possibilidade de se analisar emissores com diferentes sensibilidades ao entupimento por particulados sólidos, os emissores que serão utilizados na pesquisa, com respectivos modelos e fabricantes e suas características técnicas encontram-se na (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Descrição técnica dos tubos gotejadores o utilizados na pesquisa, com suas respectivas características técnicas, Modelo, Vazões, Diâmetro interno, pressão de serviço, espaçamento entre emissores, nº de emissores, vazão total dos emissores, vazão final dos tubos, comprimento e formato dos labirintos dos emissores

Código	Tubos / Bloco	Modelos	Tipo	Vazões	Diâmetro Interno	Pressão de Serviço	Espaços/ emissor	nº emissores	Vazão total Emissores	Vazão Final dos Tubos (vel. 0,3m/s)	Vazão Total (vel. 0,3m/s)	Comprimento do Labirinto	Formato dos emissores
	(nº)			(L/h)	(mm)	(mca)	(m)	(nº)	(L/h)	(L/h)	(L/h)		
NETAFIM													
J	2	DripNetPC 16150	AC	1,0	15,7	4–30	0,5	20	20	229,08	458,16	Curto	Plano
B	2	DripNetPC 17350	AC	1,6	17	4–30	0,75	13	21,3	266,47	532,94	Curto	Plano
TORO													
C	1	Drip In PC	AC	2,0	16	5–40	0,3	33	66,7	283,81	283,81	Longo	Cilíndrico
DRIP-PLAN													
D	2	Vered	AC	3,5	17	5–43	0,5	20	70	315,14	630,28	Longo	Plano
E	2	Vardit	AC	1,6	16	5–35	0,5	20	32	249,15	498,29	Curto	Plano
F	2	Vardit	AC	2,1	18	5–35	0,3	33	70	344,83	689,65	Curto	Plano
G	2	Inbar	AC	1,2	16	5–35	0,2	50	60	277,15	554,29	Curto	Plano
H	2	PC Cyclone	AC	1,6	16,1	5–40	0,5	20	32	249,15	498,29	Curto	Plano
JD-PLASTRO													
I	1	Hydro PC	AC	2,8	15	8–35	0,8	13	35	225,85	225,85	Longo	Cilíndrico
NAAN													
A	1	Naan PC TIF	AC	2,1	16	10–35	0,8	13	26,3	243,4	243,4	Longo	Cilíndrico
NAAN DAN JAIN													
K	2	Top Drip	AC	1,0	16	10–35	0,3	33	70	287,15	574,29	Curto	Plano
L	2	Tal Drip	NC	1,7	17	10–35	0,4	25	95	340,14	680,28	Longo	Plano

Os fabricantes que participaram do ensaio de resistência ao entupimento por gotejadores são apresentados na Tabela (3.2)

Tabela 3.2 – Fabricantes dos tubogotejadores

Fabricantes
i. Netafim (2 modelos)
ii. Metzerplaz (4 modelos)
iii. John Deere (1 modelo)
iv. Toro (1 modelo)
v. Naan Daan Jain (3 modelos)
vi. AAS (1 modelo)

- **Fator 2** – Posicionamento dos emissores tipo pastilhas nos tubos emissores: para cima e para baixo, indicados com a letra minúscula seguinte à letra maiúscula como simbolismo ao tipo do modelo de emissor; quando o emissor esteve posicionado para baixo é “b” utilizado e “c” para cima. Exemplo, “Bb” que significa Tubogotejador modelo B com emissor para baixo (Figura 3.1).

Figura 3.1 – Vistas de uma seção do tubogotejador com emissor tipo pastilha,
i) o emissor com o orifício de saída de água na direção para baixo (letra “b”);
ii) o emissor com o orifício de saída de água na direção para cima (letra “c”).

- **Fator 3** – Agressividade do Tratamento: Combinação do tempo de ensaio (h) com o tamanho dos grãos de areia em diferentes concentrações (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 – Cronograma (Tempo x Concentração x Granulometria) do Ensaio de Resistência ao Entupimento de Gotejadores: particulados sólidos em suspensão

Tempo de Ensaio (horas)	Concentração (ppm)	Granulometria (mm)
T ₁ = 0 (vazão nominal)	0	0
T ₂ = 80 (10 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,05 - 0,1
T ₃ = 160 (20 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,1 – 0,25
T ₄ = 240 (30 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,25 – 0,5
T ₅ = 320 (40 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,05 - 0,1
T ₆ = 400 (50 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,1 – 0,25
T ₇ = 480 (60 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,25 – 0,5

Ressaltando que foram utilizados todos os modelos de gotejadores, 1260 amostras, em modulo único da bancada de teste.

- **Fator 4** – A posição dos tubos emissores instalados no *mainfold*. Avaliar a distribuição de fluxo no ensaio, conforme as variações de vazão entre os blocos durante os tratamentos, que contou com a utilização de um sistema hidráulico multisequencial com tubos e acessórios de diâmetro DN 50 horizontalmente e o seguinte de DN25 para a distribuição vertical entre os tubogotejadores.

3.3 Condução e monitoramento do ensaio

Na condução e no monitoramento do experimento, adotaram-se os procedimentos descritos na norma ABNT NBR ISSO 9261 (2005): Classificação das amostras de tubos e emissores, condições do ensaio, medição da vazão nominal e avaliação de uniformidade de vazão, “Equipamentos de irrigação agrícola / Emissores e tubos emissores - Especificação e métodos de ensaio”.

3.4 Bancada de Testes

O experimento foi conduzido em uma bancada com estrutura e calhas metálicas, conjunto motobomba e reservatório de água vinculada ao Laboratório do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia de Irrigação da Universidade de São Paulo (INCT – EI / ESALQ) durante o período de agosto de 2010 a dezembro de 2011. O esquema hidráulico da bancada é apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Vista lateral esquematizado dos equipamentos utilizados para o ensaio de obstrução de emissores na bancada

* Apenas utilizou-se do dispositivo sem elemento filtrante.

Tabela 3.4 – Delineamento com 6 blocos e 21 modelos de tubogotejadores cada. Codificação dos modelos de tubogotejadores conforme Tabela 1, e segunda letra (b) emissor posicionado para baixo e (c) emissor posicionado para cima. Vazão mínima no final de cada coluna $Q_f(\text{ml.s}^{-1})$, velocidade 0,3 m/s

Blocos	B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
	Eb	Hc	Hc	Gc	Gc	Eb	Gb	A	A	Gb	Db	Db	Fb	Hb	Hb	Fb	Dc	Dc
	Fc	Bb	Bb	Jb	Jb	Fc	Jc	Bc	Bc	Jc	Lc	Lc	Ec	C	C	Ec	Kb	Kb
	I	Kc	Kc	Lb	Lb	I	C	Kb	Kb	C	Ec	Ec	Lc	Jc	Jc	Lc	Bc	Bc
	Gb	Db	Db	A	A	Gb	Hb	Dc	Dc	Hb	Fb	Fb	Bb	Fc	Fc	Bb	Jb	Jb
	Jc	Lc	Lc	Bc	Bc	Jc	Eb	Gc	Gc	Eb	Hc	Hc	Kc	I	I	Kc	Lb	Lb
	C	Ec	Ec	Kb	Kb	C	Fc	Jb	Jb	Fc	Bb	Bb	Db	Gb	Gb	Db	A	A
	Hb	Fb	Fb	Dc	Dc	Hb	I	Lb	Lb	I	Kc	Kc	Hc	Eb	Eb	Hc	Gc	Gc
Q_f	429	462	462	443	443	429	429	443	443	429	462	462	462	429	429	462	443	443

Figura 3.3 – Mainfold da bancada de testes, com os seis Blocos do Experimento

Figuras 3.4 – a) Vista lateral da bancada com os tubogotejadores; b) *Mainfold*

Figuras 3.5 – a) Avaliação da vazão durante o teste; b) Avaliação de vazão de um tubo emissor

Figuras 3.6 – a) Vista do orifício de um emissor após o teste; b) Reservatório com agitador

Figuras 3.7 – a) Vista interna de um tubo emissor após o teste; b) Areia peneirada entre 0,05 a 0,5mm de diâmetro de grãos

3.5 Delineamento experimental

Realizou-se o experimento com três tratamentos de granulometrias com 125 ppm e depois repetidos com concentração de 500 ppm de dióxido de silício na água, adotando-se o delineamento de 6 blocos não casualizados: tubogotejadores de um mesmo modelo foram distribuídos nos 6 blocos, de maneira a ocuparem diferentes posições no *mainfold*: alta (2 blocos), média (2 blocos) e baixa (2 blocos), com a utilização do teste F para análise de variância. Para estudo das médias dos tratamentos foi utilizado o procedimento de teste de comparações múltiplas de Scott Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Embora se tenha adotada a denominação de “bloco” ao conjunto de emissores, submetidos ao mesmo ponto primário de entrada da água no *mainfold*, deve-se esclarecer ao leitor que não é assegurada uma condição de homogeneidade da distribuição da distribuição de particulados sólidos em suspensão dentro do bloco, pois a conexão do tipo cruzeta direciona inicialmente o particulado sólido para as linhas no nível 4 da bancada, posteriormente, os níveis inferiores ficarão mais sujeitos a questão da decantação dos precipitados sólidos pela ação da gravidade, em oposição aos níveis superiores da bancada que provavelmente serão favorecidos com uma menor concentração de particulados sólidos.

3.6 Dispositivos de medição

A pressão de água foi medida com instrumentos capazes de mensurar com um erro que não excedesse a 1% dos valores reais. Durante o ensaio, a pressão não variou por mais que 2% e a vazão monitorada com um erro na faixa de $\pm 0,5\%$ da vazão nominal. O tempo de medições das vazões dos emissores foi o dobro do mínimo exigido por norma e a balança utilizada certificada, acurácia e precisão em centésimos de gramas.

3.7 Procedimento para o condicionamento dos tubogotejadores

Foram condicionadas as unidades de emissores/tubo emissores da amostra em operação por um tempo total de 1 h. O procedimento de condicionamento dos tubogotejadores consistiu nos seguintes passos:

- ajustar a pressão de serviço mínima e a manter por 3 min.
- ajustar a pressão de serviço máxima e a manter por 3 min.
- ajustar a pressão de serviço mínima e a manter por 3 min.
- ajustar a pressão de serviço máxima e a manter por 3 min.
- ajustar a pressão de serviço mínima e a manter por 3 min.
- ajustar a pressão de serviço máxima e a manter por 3 min.

- ajustar a pressão no ponto central da faixa de regulagem e a manter até que o tempo total do procedimento de condicionamento, com 1 hora de funcionamento seja completado.
- imediatamente após o condicionamento e enquanto for mantida a pressão de entrada no ponto central da faixa de regulagem, ensaiar as unidades de emissores/tubos emissores.

Para determinar a vazão nominal no início do ensaio, adotou-se norma ABNT (2006), para obter a vazão média, onde os valores de (q_{med}) não devem divergir da vazão nominal por mais que $\pm 7\%$.

A medição da vazão dos gotejadores foi montada a parte uma bancada em estrutura metálica, a qual permitiu a inserção de uma bateria de 10 provetas graduadas de 500 ml.

Com base no diagrama esquemático do labirinto de cada gotejador, foi efetuada uma análise visual para identificação dos pontos críticos de incrustações em cada modelo analisado.

Objetivando o controle da pressão de serviço em torno de 15 mca, monitoramento foi realizado a 0,7 m de altura no *mainfold*, em um ponto de pressão na entrada das linhas principais de distribuição dos tubos emissores.

Para se obter maior exatidão nas medidas de vazão, utilizou-se o método gravimétrico com balança certificada para a determinação do volume coletado de cada emissor, pelo dobro do período de tempo mínimo exigido por Norma, durante 6 minutos para coletar os valores de vazão em $L \cdot h^{-1}$, Equação (4).

$$qi = \frac{m}{100} \quad (4)$$

Em que:

m – massa das amostras coletadas, (g);
 qi – Vazão do emissor, ($L \cdot h^{-1}$);

Na determinação de valores percentuais de entupimento dos grupos de amostras de emissores foram utilizadas as equações a seguir;

Para cálculo do desvio padrão, foi utilizado a Equação (5);

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (qi - qm)^2}{n}} \quad (5)$$

Em que:

- s – Desvio padrão da vazão média do emissor, (L.h⁻¹);
- qi – Vazão do emissor, (L.h⁻¹);
- qm – Vazão média dos emissores, (L.h⁻¹);

Para análise no início do ensaio (emissores novos) foi utilizado coeficiente variação de fabricação (CVf), conforme Equação (6).

$$CVf = \frac{s}{q} \cdot 100 \quad (6)$$

Em que:

- CVf – Coeficiente de variação de fabricação, (%);
- s – Desvio padrão da vazão média do emissor, (L.h⁻¹);
- q – Vazão média dos emissores, (L.h⁻¹);

O ***Coeficiente de Variação de Fabricação***, com emissores novos, passou a denominar-se ***Coeficiente de Variação de Vazão*** para as coletas de vazão que seguiram ao longo do experimento: emissores usados sob o efeito dos tratamentos de agressividade da água.

A água de abastecimento do laboratório utilizada no ensaio. Para o preparo e o armazenamento da água e das dosagens a ser aplicadas nos tratamentos, utilizou-se de agitador mecânico com velocidade variável e, como recipiente, uma caixa de cimento amianto com capacidade de 1000 L, cuja água era bombeada para o sistema de tubogotejadores.

3.8 Aplicação do Dióxido de Silício

Durante o funcionamento do sistema de aplicação de água, foi realizada uma avaliação dos níveis de uniformidade de aplicação ao final de cada ensaio, permitindo verificar a influência causada pela precipitação ou entupimento de sílica, após agitados e bombeamento. Utilizaram-se diferentes granulometrias para o estudo, mantendo-se a concentração para condições extremas de trabalho dos emissores nas variações das vazões, por meio de cálculos do coeficiente de variação das vazões e uniformidade de distribuição.

Desta forma, para permitir a avaliação do desempenho dos emissores e do sistema hidráulico durante os tratamentos, foram analisados os seguintes parâmetros: vazão média dos emissores, no período do ensaio, expressa como um percentual do valor nominal, denominada de vazão relativa (Q_r) coeficiente de variação de fabricação (CV_f) vazão de cada modelo de emissor, Equação (6), variação de vazão ao longo da linha de gotejadores, correspondendo à avaliação dos segmentos da linha de emissores e histograma de redução de vazão para cada tempo analisado. O funcionamento da bancada, foi efetuado através do acionamento manual o qual foi utilizado no acionamento do conjunto motobomba centrífuga, com o início do teste as 8h00min e encerramento as 16h00min, diariamente, durante os 5 dias da semana, totalizando 40 horas semanais.

O agitador desenvolvido para a pesquisa tem, no seu sistema de controle da rotação, “inversor de frequência”. Foi adotada velocidade fixa do eixo da hélice em 200 rpm, durante todo o ensaio. A planilha de velocidade do eixo do agitador (rpm) Anexo B.

Foi instalada uma tomada de pressão na região próxima ao início das linhas, o que permitiu seu monitoramento a cada medição de vazão durante as avaliações e, se necessário, o ajuste do valor pré-estabelecido de 15 mca. Foi utilizado um manômetro do tipo Bourdon com faixa de leitura entre 0 - 60 mca, cuja calibração foi realizada em um manômetro do tipo peso morto, com precisão de 1 mca na faixa de 0 - 40 mca. As leituras de temperatura da água serão realizadas durante todo o período do ensaio. Para o monitoramento diário serão coletadas amostras de água no final das laterais para realização das análises de pH e sólidos suspensos.

3.9 Solução de Particulados em Suspensão.

Para separar o material por tamanho de partículas utilizou-se peneiras de solo. Foi adquirido dióxido de silício proveniente do quartzo industrializado, usado em filtros de areia para piscinas e irrigação localizada. O material comercializado possui pureza certificado de 99,8 % deste material (SiO_2).

Foram utilizadas três faixas de granulometria de areias, entre areia média e muito fina de dióxido de silício em duas concentrações, onde cada uma foi aplicada durante 80 horas e depois substituída por outra granulometria.

Ocorreram repetições entre as granulometrias;

- faixa de 0,053 a 0,103 mm de diâmetro com 125 ppm nas primeiras 80 horas e também no período de 240 a 320 horas de ensaio pôr com 500 ppm de concentração,

- faixa de 0,103 a 0,250 mm de diâmetros utilizou-se de 125 ppm de concentração das 80 às 160 horas e também das 320 às 400 horas com 500 ppm de concentração,

- faixa de 0,250 a 0,500 mm utilizou-se de 125 ppm entre 180 às 240 horas e também entre as 400 e às 480 horas porém com 500 ppm de concentração e finalizando. A descrição do ensaio se encontra na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Cronograma (Tempo x Concentração) do Ensaio de Resistência ao Entupimento de Gotejadores: particulados sólidos em suspensão

Tempo	(horas)	0*	80	160	240	320	400	480
Avaliações	(nº)	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a
Concentração	(ppm)	0	125	125	125	500	500	500
Areia Média	(mm)	-	-	-	0,25-0,5	-	-	0,25-0,5
Areia Muito Fina	(mm)	-	-	0,1-0,25	-	-	0,1-0,25	
Areia Muito Fina	(mm)	-	0,05-0,1	-	-	0,05-0,1	-	-

*Após condicionamento conforme Norma ABNT NBR ISO 9261 (2005).

O monitoramento e o controle de concentração da solução de água e areia no teste foram realizados através da coleta de três amostras por dia, coletadas do reservatório e que foram filtradas na proporção de 0,5 litro de solução cada, totalizando de 1,5 litro.d⁻¹, e pela diferença entre o peso do filtro de papel seco antes e depois a filtragem e seco após 24 horas. A planilha de monitoramento de concentrações e pH durante o período do ensaio se encontram no Anexo B.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao decorrer das atividades experimentais no Laboratório foi possível evidenciar que os tubos emissores sofreram influências significativas pelos tratamentos de Dióxido de Silício (SiO_2), tanto pela granulometria quanto pelas concentrações, utilizando tanto 125 ppm quanto com 500 ppm, reforçando afirmações realizadas por Nakayama e Bucks (1984) que demonstram na tabela de riscos de entupimento dos emissores na utilização de água bombeada para irrigação com concentrações acima de 100 ppm.

Os resultados de algumas amostras comparativamente que Boman (1995) cita em trabalho com sistema de microaspersão, cujo emissor com baixa vazão de serviço demonstra suscetibilidade maior de entupimento ao ensaio, se o usuário tem preocupação com problemas de entupimento no futuro, os projetistas de sistemas de irrigação devem considerar os emissores que têm maiores diâmetros de orifício, assim diminuir as taxas de entupimento.

O laboratório onde se encontra a bancada não tem sistema de controle e monitoramento de temperatura do ar. Consequentemente ocorreram variações da temperatura da água, mas dentro dos limites permitidos, conforme NBR 9261, em trabalho realizado por Medeiros (2008) que cita Oliveira et al. (2000), a vazão dos emissores de última geração são poucos sensíveis às variações de temperatura, o que vem a concluir que esta variável não surtiu efeito significativo no estudo. Em trabalho anterior com filtragem para tubogotejadores, Bucks, Nakayama e Gilbert (1978) classificam qualidade das águas na irrigação em uma escala de 0 a 10, na qual possui sólidos em suspensão acima de 300 mg.l^{-1} classificado como nº 10. Em comparação a este experimento, Gilbert et al. (1981) observou em estudo que os grãos de areia foram responsáveis na obstrução de 17% dos emissores entre 55% que foram afetados por fatores físicos na representação de ocorrências de entupimentos dos emissores.

Os precipitados não são resultados de depósitos de minerais provenientes da evaporação. São minerais dissolvidos que venham ocorrer por fatores como; variações de temperatura e pH da água, no sistema de bombeamento hidráulico ocasionem a parcial ou total obstrução dentro das tubulações, filtros, bombas e nos emissores (KELLER e BLIESNER, 1990; SCHWANKL e PRICHARD, 1990).

A ocorrência deste fenômeno durante o ensaio deve-se durante a passagem do fluxo de sedimentos pelo sistema hidráulico, e com o aumento da cinética dos particulados com a pressurização propicia o atrito entre particulados sólidos em suspensão com as paredes dos dispositivos e entre os próprios grãos. Em outras regiões consideradas críticas como o rotor da

bomba hidráulica podem ocorrer divisões das partículas de areia e reduzir as dimensões das partículas.

4.1 Mainfold

O dispositivo hidráulico, *mainfold*, no decorrer do ensaio exerceu influência significativa no comportamento hidráulico sobre os tratamentos impostos. Ocorreram diferenças significativas em algumas respostas do mesmo tipo de emissor, enquanto outros não foram afetados, demonstrando que podem ter ocorrido diferentes concentrações nos diferentes trajetos do fluxo desta solução de água e areia.

Os emissores de formato cilíndrico que foram utilizados durante o ensaio em seis parcelas distribuídas no *mainfold* variaram-se na altura das saídas, os que localizaram próximos as entradas dos blocos, entre altura da 3ª e 4ª tubo contando de baixo para cima, foram mais suscetíveis à obstrução (Figuras 4.1, 4.2 e 4.3).

4.2 Avaliações dos tubos emissores

Ao analisar individualmente por tipo de emissor, quanto à posição referindo-se ao Bloco e altura no *mainfold*, observa-se que algumas parcelas ocorreram obstrução parcial ou completa em relação de amostras de um modelo de tubogotejador.

Para analisar os modelos, foram elaborados gráficos pela variação de vazões dos modelos de emissores, durante o período do ensaio. Na maioria dos gráficos ocorreu uma suave declinação, representando redução da vazão na maioria dos emissores. No gráfico dos emissores cilíndricos, os mais acentuados em linhas azuis, no bloco 4. O emissor NaanPC demonstrou que pode ter ocorrido influência do “*mainfold*”, no qual as entradas dos tubogotejadores eram próximas à linha principal de distribuição. O mesmo ocorreu com os emissores Drip In PC, nos Blocos 5 e 2, cujas parcelas estão próximas da linha principal de distribuição.

4.2.1 Avaliação do tubo emissor A

O gráfico do emissor “A” tem as variações de sua uniformidade de distribuição, coeficientes de variação, análise estatística entre médias da vazão das amostras de tubogotejadores ao decorrer do ensaio, (Gráfico 4.1, 4.2 e Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Análise de variância* das médias de vazão com o modelo A de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Modelo A			
Horas	Médias(%)-Teste*	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99.96 c	0	0
80	100.51 c	0,05 a 0,1	125
160	98.86 c	0,1 a 0,25	125
240	52.70 a	0,25 a 0,5	125
320	58.95 a	0,05 a 0,1	500
400	59.95 a	0,1 a 0,25	500
480	53.60 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Durante o período de ensaio com desempenho insatisfatório na uniformidade de suas vazões, foi constatado nas avaliações das 240 e 480 horas de ensaio, que coincidentemente utilizaram a mesma faixa de granulometria de areia, entre 0,25 a 0,5 mm de diâmetro. Análise de Variância dos emissores de Modelo A Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo A de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	196942.828571	32823.804762	48.658	0.0000
Blocos	5	64680.669048	12936.133810	19.177	0.0000
HorasxBlocos	30	113218.514286	3773.950476	5.595	0.0000
Erro	378	254989.500000	674.575397		
CV	34.66%				
Média Geral	74,94		Nº Observações	420	

A terceira e a quarta piores médias nas vazões dos emissores foram após as 400 e às 320 horas, demonstrando tendência que o ensaio foi mais eficaz e rigoroso para este modelo de gotejador com a concentração de areia utilizada de 500 ppm.

Analisando-se os resultados individuais nas parcelas, constata-se que houve grande variação; com exceção do Bloco 5, todos os outros sofreram diferenças significativas nas vazões ao decorrer do tempo de ensaio, nas diversas situações de tamanhos diferentes de areias quanto nas suas concentrações. A distribuição espacial dos tubos emissores do modelo A, no descrito na Figura 4.1.

Figura 4.1 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo A (Naan PC TIF)

Ao observar as parcelas separadamente, a média geral dos blocos, correspondendo à média das 10 amostras de emissores entre os 6 blocos, as que demonstraram as piores médias foram os blocos 1 e 4.

Coincidentemente correspondem as últimas saídas de dois “sistemas consecutivos de múltiplas saídas” que distribuem para os 6 Blocos após a bifurcação da linha principal na tubulação DN50.

Quando comparadas as parcelas entre blocos com uma condição de ensaio correspondente ao período de ensaio, não houve diferença significativa durante as avaliações apenas com água às 0 hora, e entre 0 a 80 e de 80 a 160 horas, com duas granulometrias de areia, muito fina e areia fina entre 0,05 a 0,250mm.

Os dados da vazão do emissor cilíndrico do modelo A, e especificado por blocos nas avaliações (Gráfico 4.1a).

Gráfico 4.1a – As vazões média em cada um dos blocos do emissor cilíndrico modelo C, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Os coeficientes de variação (CV) dos emissores cilíndricos seguem descritos no Gráfico 4.2a.

Gráfico 4.2a – Coeficiente de Variação (CV) em cada um dos blocos do emissor cilíndrico modelo C, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Houve uma diferença significativa entre os blocos nas avaliações de 240, 320, 400 e 480 horas, quando se notou a redução de vazão mais acentuada dos blocos 1 e 4. Para o gotejador A, durante o ensaio, ocorreram diferenças significativas nas análises de variância das vazões das amostras.

4.2.2 Avaliação do tubo emissor C

Este tubo emissor de forma circular durante os ensaios, a sua vazão média reduziu gradualmente. A vazão média durante as avaliações do ensaio correspondeu a 65,3% de sua vazão nominal. Os menores valores ocorreram conforme foram aumentadas as faixas das granulometrias na solução de água e areia (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Média das vazões com o modelo C de tubogotejador* durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor C			
Horas	Médias(%) / Teste*	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,02 e	0	0
80	96,77 e	0,05 a 0,1	125
160	83,07 d	0,1 a 0,25	125
240	61,40 b	0,25 a 0,5	125
320	63,88 b	0,05 a 0,1	500
400	62,52 b	0,1 a 0,25	500
480	51,17 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

A redução da vazão foi gradativamente até as 240 horas de teste e, após o aumento das concentrações, manteve-se instável porém, houve uma diferença significativa entre as avaliações do início até as 480 horas.

O gotejador A durante o ensaio, ocorreu diferenças significativas nas análises de variância das vazões o aumento dos índices do coeficiente de variação.

A redução da vazão mais acentuada dos blocos 1 e 4. Análise de Variância dos emissores de Modelo C se encontra na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo C de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	131497.933333	21916.322222	29.880	0.0000
Bloco	5	43277.840476	8655.568095	11.801	0.0000
HorasxBlocos	30	58551.609524	1951.720317	2.661	0.0000
Erro	378	277255.900000	733.481217		
CV	36,54%				
Média Geral	74,12%		Nº Observações	420	

A distribuição espacial dos tubos emissores modelo C, no esquema na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo C (Drip In)

Devido ao posicionamento dos tubos emissores, os blocos 1 e 2 foram mais suscetíveis ao entupimento, ocorrendo abaixo da linha de abastecimento da linha principal.

Ocorreu decréscimo da vazão dos tubos emissores acentuada às 240 horas, com 52,7% e manteve-se concluindo a avaliação das 480 horas com 51,17% da vazão.

Os dados da vazão do emissor cilíndrico do modelo A, e especificado por blocos nas avaliações (Gráfico 4.1b).

Gráfico 4.1b – Vazões média em cada um dos blocos do emissor cilíndrico modelo C, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Os coeficientes de variação (CV) dos emissores cilíndricos seguem descritos no Gráfico 4.2b

Gráfico 4.2b – Coeficiente de Variação (CV) em cada um dos blocos do emissor cilíndrico modelo C, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Os coeficientes de variação seus valores foram satisfatórios até às 160 horas, quando houve diferença significativa, e a utilização da areia média acabou interferindo e reduzindo as vazões médias.

4.2.3 Avaliação do tubo emissor I

Ocorreram efeitos significativos deste tubo emissor quanto às duas etapas iniciais do teste realizado, e nas avaliações após as 160 e às 480 horas de ensaio. As vazões médias percentuais descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo I de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor I			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,02 b	0	0
80	88,27 b	0,05 a 0,1	125
160	71,59 a	0,1 a 0,25	125
240	65,86 a	0,25 a 0,5	125
320	59,87 a	0,05 a 0,1	500
400	70,52 a	0,1 a 0,25	500
480	55,35 c	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

O quadro de análise de variância dos emissores do Modelo I encontra-se na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo I de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	90786.390476	15131.065079	10.382	0.0000
Bloco	5	27930.628571	5586.125714	3.833	0.0021
HorasxBlocos	30	34529.038095	1150.967937	0.790	0.7801
Erro	378	550911.600000	1457.438095		
CV	52.28%				
Média Geral	73.02%		Nº Observações	420	

O funcionamento do tubo emissor tornou-se insatisfatório quanto à distribuição de água entre os emissores, com 400 horas de ensaio. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo I pode ser observada no esquema na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo I (Hydro PC)

Os tubos emissores foram submetidos ao teste com a posição de seus orifícios aleatoriamente, quanto ao tubo emissor, as vazões dos emissores I pode ser observado no Gráfico 4.1c.

Gráfico 4.1c – Vazões média dos blocos do emissor cilíndrico modelo I, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Houve redução acentuada das vazões dos emissores a partir de 160 horas, porém, nas etapas em que, no ensaio utilizaram-se as granulometrias de areia fina e média, houve reduções mais brandas.

Os coeficientes de variação (CV) dos emissores cilíndricos seguem descritos no Gráfico 4.2c

Gráfico 4.2c – Coeficiente de Variação (CV) em cada um dos blocos do emissor cilíndrico modelo I, ensaio resistência ao entupimento (2012)

Os coeficientes de variação seus valores foram satisfatórios até às 160 horas, quando houve diferença significativa, e a utilização da areia média acabou interferindo e reduzindo as vazões médias.

4.2.4 Avaliação do tubo emissor B

No modelo B utilizaram-se dois exemplares por bloco, tendo sido constatadas diferenças significativas na análise de variação nas médias dos emissores direcionados para cima e para baixo, utilizou o teste Scott Knott com 5% de probabilidade (Gráfico 4.3).

Gráfico 4.3 – Vazões Médias por Bloco e a posição dos emissores DripNetPC 17350

Constataram-se maiores variações de vazão e de coeficiente de variação quanto ao seu posicionamento, com emissor direcionado para baixo, o que é demonstrado no gráfico em linhas de vermelhas (Gráfico 4.4).

Gráfico 4.4 - Coeficientes de Variação por Bloco e posição dos emissores DripNetPC 17350

A distribuição espacial dos tubos emissores modelo B, no esquema na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo B (DripNetPC 17350)

Os índices de Coeficiente de Variação até 160 horas de testes e que após esta etapa, o emissor mesmo demonstrando uma uniformidade ocorreu redução da vazão e não sendo satisfatória.

Com índices de obstrução média durante o ensaio relativamente baixa se levar em conta seu desempenho final de 89, 8% com o sentido dos emissores para baixo e ocorreu um acréscimo na vazão com 107,9%, quando os emissores foram utilizados com o sentido do emissor para cima respectivamente. Este modelo obteve menor média na quarta avaliação e as maiores vazões na primeira e na segunda avaliação. Avaliando-se entre blocos ocorreram dois agrupamentos, com médias entre 101,5 a 116,3% mostraram-se bastante estáveis (Tabelas 4.7 e 4.8). Os emissores colocados para baixo obtiveram as variações das vazões durante o ensaio, observados apenas uma queda suave do bloco 3 e bloco 4, mas durante o ensaio, retornou a vazão mais próxima a nominal, enquanto no bloco 6 houve acentuada redução de vazão.

4.2.4.1 Avaliação do tubo emissor B para baixo

Nas comparações entre a média geral dos 60 emissores do modelo Bb durante as avaliações houve a maior redução das vazões utilizando a maior faixa de granulometria de partículas entre 0,25 a 0,5 mm, utilizou as concentrações de 125 e 500 ppm as vazões foram 74,68 e 78,2% da vazão nominal durante o ensaio consequentemente. Análise de Variância dos emissores do Modelo B para baixo (Bb) descrita na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo B para baixo de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	50240.980952	8373.496825	9.454	0.0000
Bloco	5	30869.104762	6173.820952	6.970	0.0000
HorasxBlocos	30	81533.161905	2717.772063	3.068	0.0000
Erro	378	334802.600000	885.721164		
CV	33.15%				
Média Geral	89.78%		Nº Observações	420	

Entre as médias dos blocos houve diferença significativa, porém, em três blocos as médias ficaram acima de 95% da capacidade de vazão. O tipo de ensaio não influenciou o seu desempenho e uniformidade. As Vazões médias durante o ensaio descritas na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo B de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor B para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 c	0	0
80	107,90 c	0,05 a 0,1	125
160	91,28 b	0,1 a 0,25	125
240	74,68 a	0,25 a 0,5	125
320	83,98 a	0,05 a 0,1	500
400	92,43 b	0,1 a 0,25	500
480	78,20 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Entre os blocos houve algumas diferenças significativas e, mesmo que muitas parcelas não foram afetadas as suas vazões afetadas, elas obtiveram bons resultados quanto à resistência a obstrução. Este emissor ocorreu redução mais acentuada de suas vazões médias quando foi utilizada a granulometria na faixa de 0,25 a 0,5mm.

4.2.4.2 Avaliação do tubo emissor B para cima

Os resultados foram satisfatórios quanto aos coeficientes de variação nas avaliações de 0 a 160 horas e demonstrando decaimento após a utilização da faixa de maior diâmetro de granulometria de sílica. Os índices de coeficiente de variação demonstraram-se adequados nas avaliações de 0 hora e as 80 horas conforme, porém duas parcelas mesmo com o emissor direcionados para cima registrou redução de sua vazão média, as análises seguem Salomon

(1977) ou Hillel (1982). Análise de variância dos emissores do Modelo B para cima está descrita na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Bc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	10382.433333	1730.405556	3.418	0.0027
Bloco	5	9005.497619	1801.099524	3.558	0.0037
HorasxBlocos	30	28737.252381	957.908413		
Erro	378	191340.100000	506.190741		
CV	22.99%				
Média Geral	97.88%		Nº Observações	420	

Houve diferenças significativas entre o ultimo tratamento avaliado com 480 horas, resultando de 11,48% de redução da vazão nominal, em aumento das médias de vazão registradas, provável ocorrência de uma vazão de limpeza das câmaras, esguichos no instante do teste e de ter ocorrido acúmulo de materiais nos emissores. Estes tinham forma para que a vazão aumentasse exponencialmente na avaliação das 80 horas, gerando turbulência capaz de expelir o corpo estranho, o que explica o aumento da vazão (Tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo B de tubogotejador com o emissor virado para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor B para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,93 b	0	0
80	106,65 b	0,05 a 0,1	125
160	98,85 b	0,1 a 0,25	125
240	97,95 b	0,25 a 0,5	125
320	97,55 b	0,05 a 0,1	500
400	95,63 b	0,1 a 0,25	500
480	88,62 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Quando o emissor trabalhou para cima, mesmo ocorrendo particulados de areia no fluxo da água, não houve tendência ao entupimento.

4.2.5 Avaliação do tubo emissor D

Ocorreu situação de preenchimento parcial ou total de dióxido de silício entre as câmaras e as membranas elásticas de controle de vazão dos emissores, desta forma alterando o seu funcionamento e, conseqüentemente a distribuição de água ao longo do tubo. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo D pode ser observada no esquema na Figura 4.5.

Figura 4.5 – Esquema do mainfold para a posição do modelo D (Vered)

Os tubos emissores demonstraram diferenças significativas nas vazões, as que apresentaram redução ocorreram justamente quando foram utilizadas as granulometrias com menores concentrações (125 ppm) e, com as maiores concentrações (500 ppm), houve acréscimo na média das vazões em torno de 20% e, quase que dobrou para os emissores direcionados para cima. Os emissores D reduziram as vazões quando utilizados os emissores pastilhas para baixo, ocorreram maiores reduções nos Blocos 2, 3 e 4. A entrada de fluxo, exemplo do Dc no bloco 3, o tubo dos emissores localizava-se um pouco abaixo da linha altura média, próximo á saída de alimentação do tubo da linha principal do mainfold no bloco 3 (Gráfico 4.5).

Gráfico 4.5 - Vazões por bloco e posição dos emissores Vered

Coeficiente de Variação do Emissor D em cada bloco durante as avaliações que foram realizados entre intervalos de 80 horas estão descritos no Gráfico 4.6.

Gráfico 4.6 - Coeficiente de variações por bloco e posição dos emissores Vered

As parcelas afetadas com maiores variações de vazão nos blocos os quais a entrada de fluxo dos tubos emissores era próxima às saídas do *mainfold* entre as linhas 3 e 4. O Gráfico 4.6 os índices do coeficiente de variação deste emissor ocorreram variações que não afetassem o funcionamento satisfatório na distribuição uniforme até às 160 horas. Após as 240 horas, com a utilização da areia média, o teste alterou o funcionamento dos emissores, afetando os coeficientes de variação e sua uniformidade.

4.2.5.1 Avaliação do tubo emissor D para baixo

A vazão do emissor D aumentou os riscos dos tubos emissores direcionados para baixo na ocorrência de entupimento. A análise de variância dos emissores do Modelo D para baixo descrito na Tabela 4.11.

Tabela 4.11 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Db de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	131847.266667	21974.544444	61.320	0.0000
Bloco	5	22947.904762	4589.580952	12.807	0.0000
HorasxBlocos	30	18566.761905	618.892063	1.727	0.0115
Erro	378	135459.200000	358.357672		
CV	27.53%				
Média Geral	68.76%		Nº Observações	420	

Mesmo tratando de particulados sólidos em suspensão nas concentrações de 125 ppm a vazão média reduziu em até 63,12% conforme foi aumentada a granulometria da areia no ensaio. Quando houve aumento da concentração em 500 ppm, houve aumento da vazão superando a vazão nominal, provavelmente o dióxido de silício acumulado entre as câmaras e a membrana elástica, demonstrados através de esguichos aumentando a vazão em algumas amostras (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo D de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor D para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	119,50 d	0	0
80	113,98 d	0,05 a 0,1	125
160	74,50 c	0,1 a 0,25	125
240	63,12 c	0,25 a 0,5	125
320	54,78 b	0,05 a 0,1	500
400	45,47 a	0,1 a 0,25	500
480	57,60 b	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Foi observada redução da vazão durante o ensaio, ocorrendo, na ultima avaliação o aumento da vazão de 45,47 a 57,60%, provavelmente, devido volume maior de água na vazão de autolimpeza que ocorreu durante o processo de avaliação.

4.2.5.2 Avaliação do tubo emissor D para cima

A alteração da vazão ocorreu acentuadamente quando foram aplicadas altas concentrações de dióxido de silício. As médias analisadas durante o ensaio podem ser observadas na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo D de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor D para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,00 e	0	0
80	97,40 d	0,05 a 0,1	125
160	86,28 c	0,1 a 0,25	125
240	77,85 a	0,25 a 0,5	125
320	77,62 a	0,05 a 0,1	500
400	79,85 b	0,1 a 0,25	500
480	81,50 b	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Neste modelo de emissor, com a alteração na vazão média, ocorreu redução no período inicial do teste com a menor concentração e, depois, findou-se no aumento da vazão, com utilização de altas concentrações, cujo tratamento analisado surtiu efeito significativo, provavelmente ocasionado pelos particulados sólidos em suspensão retidos entre a câmara e a membrana que regula a vazão para limpeza dos emissores. Análise de Variância dos emissores do Modelo D para cima descrita na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Dc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	31229.647619	5204.941270	126.188	0.0000
Bloco	5	1167.742857	233.548571	5.662	0.0000
HorasxBlocos	30	4309.723810	143.657460	3.483	0.0000
Erro	378	15591.600000	41.247619		
CV	7.49%				
Média Geral	85.78%		Nº Observações	420	

Não houve redução da vazão durante o ensaio deste modelo de tubogotejador, e o seu desempenho foi analisado por meio dos dados de coeficiente de variação abaixo de 10% mesmo durante tratamentos rigorosos.

4.2.6 Avaliação do tubo emissor E

Ocorreram efeitos significativos com este emissor nas etapas, nos dois posicionamentos, para cima e para baixo, ocorrendo efeito significativo, porém, com uma fraca redução das vazões quando utilizado para cima, o que seguiu tendência da maioria dos emissores. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo E pode ser observada no esquema na Figura 4.6.

Figura 4.6 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo E (Vardit 1,6 L.h⁻¹)

Analisando-se entre os blocos verificou-se que o tubo emissor E com vazão nominal de 1,6 L.h⁻¹ demonstrou altas variações de coeficiente de variação nos Blocos 5 e 6 quando ocorreram obstruções parciais, como demonstrado no Gráfico 4.7.

Gráfico 4.7 - Vazões médias por bloco e posição dos emissores pastilhas E de $1,6 \text{ L.h}^{-1}$

O Gráfico demonstra a redução severa nas vazões, principalmente após as 160 horas, consequentemente afetando os coeficientes de variação. O acompanhamento do ensaio, demonstrando as variações do (CV) pode ser observado no Gráfico 4.8.

Gráfico 4.8 - Coeficiente de variações por bloco e posição dos emissores Vardit $1,6 \text{ L.h}^{-1}$

As vazões médias nominais do emissor E $1,6 \text{ L.h}^{-1}$, durante avaliação das 240 horas, o tubo emissor E demonstraram obstrução total nos blocos 2 e 3 e a obstrução parcial nos blocos 5 e 6. Houve maior queda das vazões durante o período do ensaio que utilizou as granulometrias da areia média, após as 160 e 480 horas de teste.

Verificou-se que os tubos emissores que demonstraram maiores coeficientes de variação e estavam localizadas na região de altura intermediária do *mainfold*, entre as linhas 3 e 5 dos Blocos 5 e 2, possuíam distâncias reduzidas entre as entradas dos tubos emissores e as saídas dos *mainfold*.

4.2.6.1 Avaliação do tubo emissor E para baixo

Análise de variância dos emissores do Modelo E para baixo descrito na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Dc de durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	282463.580952	47077.263492	90.666	0.0000
Bloco	5	150616.040476	30123.208095	58.014	0.0000
HorasxBlocos	30	108472.676190	3615.755873	6.964	0.0000
Erro	378	196271.500000	519.236772		
CV	40.12%				
Média Geral	56.79%		Nº Observações	420	

Ocorreram alterações nas vazões desde o início do ensaio e a partir das 160 horas de ensaio e demonstrado pelo teste estatístico, onde ocorreram reduções significativas dos coeficientes de variação, conforme Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo E de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor E para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,02 f	0	0
80	88,13 e	0,05 a 0,1	125
160	62,03 d	0,1 a 0,25	125
240	47,23 c	0,25 a 0,5	125
320	40,52 b	0,05 a 0,1	500
400	26,75 a	0,1 a 0,25	500
480	32,90 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

A redução da vazão média foi bastante acentuada após as 160 horas, em torno de 62 % que utilizando-se 125mg.L⁻¹ de concentração e tamanho de grãos na faixa de 0,1 a 0,25mm.

4.2.6.2 Avaliação do tubo emissor E para cima

Ocorreram efeitos significativos deste emissor, foram mais brandas as variações de vazão quanto ao teste realizado em cada etapa com o emissor esteve com posicionamento para cima. A análise de variância dos emissores do Modelo E para cima descrita na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Ec de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	48547.123810	8091.187302	18.771	0.0000
Bloco	5	1996.411905	399.282381	0.926	0.4638
HorasxBlocos	30	14862.104762	495.403492	1.149	0.2728
Erro	378	162932.100000	431.037302		
CV	25.87%				
Média Geral	80.25%		Nº Observações	420	

Dados médios das vazões em percentuais da vazão nominal durante avaliações podem ser observados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18 – As vazões médias do modelo de tubogotejador E com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor E para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 d	0	0
80	91,43 c	0,05 a 0,1	125
160	82,25 b	0,1 a 0,25	125
240	70,53 a	0,25 a 0,5	125
320	70,60 a	0,05 a 0,1	500
400	75,92 b	0,1 a 0,25	500
480	71,07 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Este emissor, durante ensaio, ocorreu redução da vazão a partir das 80 horas, com 91% e até atingir 70%, houve pequenas variações nas outras avaliações.

4.2.7 Avaliação do tubo emissor F

Ocorreram efeitos significativos deste emissor gradualmente enquanto o teste foi realizado em cada etapa, tanto quanto ele estava com posicionamento para cima ou para

baixo, ocorrendo um efeito menor nas vazões quando utilizado para cima. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo F, no esquema na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Esquema do *mainfold* para a posição do modelo F (Vardit 2,1 L.h⁻¹)

Ocorreu uma maior queda das vazões médias durante o período do ensaio quando utilizou as granulometrias de 0,05 a 0,1mm, após as 160 horas e não houve diferença em 480 horas de teste. Os blocos que tinham tubos emissores em região próximos às entradas do *mainfold*, que provavelmente foram favorecidos por um caminho preferencial de passagem de alta concentração com exceção, o bloco 6 não seguiu a tendência deste modelo.

Verificou-se que o tubo emissor F com vazão nominal de 2,1 L.h⁻¹ demonstrou a obstrução total de parcelas analisadas dos Blocos 1 e 6 e obstrução parcial nos Blocos 2, 3 e 5.

No Gráfico 4.9 observa-se a vazão média dos emissores, por bloco, durante o ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão.

Gráfico 4.9 - Vazão por Bloco e posição dos emissores Vardit 2,1 L.h⁻¹

No Gráfico 4.10 observa-se o coeficiente de variação dos emissores, por bloco, durante o ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão.

Gráfico 4.10 - Coeficiente de Variações por Bloco e posição dos emissores Vardit 2,1 L.h⁻¹

No coeficiente de variação entre os blocos verificou-se que o tubo emissor F com vazão nominal de 2,1 L.h⁻¹ demonstrou altas variações dos blocos 1, 2 e 5, demonstrando que houve tendência a obstrução dos emissores dos tubos emissores que estavam localizados próximos as saídas do *mainfold*, e também nas linhas na região de altura inferior do *mainfold*.

A parcela do bloco 4 ocorreu variações acentuadas, reduzindo até na aplicação dos tratamentos com 400 horas de ensaio, e no ultimo tratamento houve aumento. A redução

acentuada das vazões dos emissores pastilha para baixo, após as 80 horas torna-se insatisfatórias após as 160 horas de teste já se encontra grandes variações dos índices, não adequado para o trabalho em campo.

4.2.7.1 Avaliação do tubo emissor Modelo F para baixo

Como na maioria dos modelos de emissores que funcionaram na posição para baixo, as variações de vazão tornaram-se insatisfatórios à medida que os emissores fossem submetidos gradualmente nas diferentes etapas do ensaio, ocorreram reduções acentuadas das vazões.

Análise de Variância dos emissores do Modelo F para baixo pode ser observada na Tabela 4.19.

Tabela 4.19 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Fb de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	314405.780952	52400.963492	95.301	0.0000
Bloco	5	30261.440476	6052.288095	11.007	0.0000
HorasxBlocos	30	54959.476190	1831.982540	3.332	0.0000
Erro	378	207841.100000	549.844180		
CV	40.69%				
Média Geral	57.63 %		Nº Observações	420	

As vazões médias do emissor F com a pastilha direcionada para baixo não foi satisfatória e geraram os dados da Tabela 4.20.

Tabela 4.20 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Fb de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor F para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 f	0	0
80	88,18 e	0,05 a 0,1	125
160	71,23 d	0,1 a 0,25	125
240	51,00 c	0,25 a 0,5	125
320	41,13 b	0,05 a 0,1	500
400	24,65 a	0,1 a 0,25	500
480	27,23 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Houve redução da vazão, ocorrendo diferenças significativas dos emissores durante o ensaio, obstruiu as passagens de água dos emissores. Na ultima etapa, houve aumento da vazão, mesmo reduzindo a eficiência das avaliações dos coeficientes de variação e de uniformidade.

4.2.7.2 Avaliação do tubo emissor F para cima

Mesmo tendo sido observados efeitos significativos deste emissor, foram mais brandas as variações de vazão em cada etapa, e com emissor posicionado para cima. A análise de variância dos emissores do Modelo F para cima descrita na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Fc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	34495.847619	5749.307937	45.921	0.0000
Bloco	5	1737.647619	347.529524	2.776	0.0177
HorasxBlocos	30	10960.352381	365.345079	2.918	0.0000
Erro	378	47325.400000	125.199471		
CV	13.42%				
Média Geral	83.34%		Nº Observações	420	

As Vazões Médias do emissor F com a pastilha direcionada para cima foram satisfatórias os resultados Tabela 4.22.

Tabela 4.22 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo F de tubogotejador com o emissor para cima durante todo o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor F para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,02 d	0	0
80	93,50 c	0,05 a 0,1	125
160	81,33 b	0,1 a 0,25	125
240	81,32 b	0,25 a 0,5	125
320	78,03 b	0,05 a 0,1	500
400	76,22 a	0,1 a 0,25	500
480	73,02 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

A obstrução ocorreu gradualmente durante o período de ensaio, e a sua redução da vazão em 73% da vazão nominal. O emissor mostrou-se resistente a uma faixa de granulometria de 0,25 a 0,5mm, lembrando nas condições de particulados em suspensão.

4.2.8 Avaliação do tubo emissor G

Ocorreram efeitos significativos deste emissor quanto no teste realizado em cada etapa. Tanto quando esteve posicionado para cima ou para baixo, ocorreram variações que tornou insatisfatório o funcionamento dos emissores para a distribuição. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo G pode ser observada no esquema na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Esquema do *Mainfold* para a posição do modelo G (Inbar)

O emissor com baixas vazões são mais suscetíveis ao entupimento em ambos posicionamentos, durante a realização deste ensaio.

No tubo emissor G ocorreu obstrução total dos emissores dos Blocos 4 e 6 quando emissor direcionado para baixo e, no bloco 5, com o emissor para cima apresentaram obstrução parcial acentuada. O emissor mesmo para cima no bloco 2 e no bloco 3, foi um exemplo de que o tubo das amostras dos emissores estava próximo da saída da linha principal.

Pelo fato de se tratarem de emissores com baixas taxas de vazões, este foi um dos principais motivos que tornou as variações de vazão insatisfatórias após as 160 horas de teste. Vazão média dos emissores por Bloco durante o ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão (Gráfico 4.11).

Gráfico 4.11 - Vazão por Bloco e posição dos emissores Inbar durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Os índices de coeficiente de variação dos emissores por bloco, durante as avaliações, no ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão estão dispostos no Gráfico 4.12.

Gráfico 4.12 - Os coeficiente de variações por bloco e posição dos emissores Inbar durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Verificou-se que o tubo emissor G demonstrou altas variações nas vazões dos blocos 2 e 5 mesmo com o emissor para cima e a redução do índice de coeficiente variação nos blocos 4 e 6 ocasionados de obstrução total dos emissores.

4.2.8.1 Avaliação do tubo emissor G para baixo

Este emissor seguiu a tendência dos demais modelos que foram testados na posição para baixo, apresentando redução da vazão.

A análise de variância dos emissores do Modelo G para baixo pode ser observada na Tabela 4.23.

Tabela 4.23 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Gb de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	348455.580952	58075.930159	57.708	0.0000
Bloco	5	65923.907143	13184.781429	13.101	0.0000
HorasxBlocos	30	52713.676190	1757.122540	1.746	0.0101
Erro	378	380411.300000	1006.379101		
CV	53.35%				
Média Geral	59.46%		Nº Observações	420	

As variações de vazão se tornaram insatisfatórios à medida que os emissores foram submetidos gradualmente nas diferentes etapas do ensaio, sofreram reduções acentuadas das vazões. Os resultados das vazões médias do emissor G com a pastilha direcionada para baixo não foram satisfatórias (Tabela 4.24).

Tabela 4.24 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo G de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor G para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,03 e	0	0
80	96,43 e	0,05 a 0,1	125
160	70,95 d	0,1 a 0,25	125
240	55,97 c	0,25 a 0,5	125
320	42,85 b	0,05 a 0,1	500
400	25,47 a	0,1 a 0,25	500
480	24,55 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

No Gráfico 4.11, por meio da redução acentuada da vazão dos emissores, partir das 80 horas, período em que o ensaio utilizou as granulometrias da areia fina e depois a média, tratando-se de emissores com baixas vazões, tornou-se insatisfatório após as 160 horas de teste.

4.2.8.2 Avaliação do tubo emissor G para cima

Ocorreram efeitos significativos deste emissor, contrariando a maioria dos emissores testados, nos quais as variações de vazão foram mais brandas quanto no teste realizado em cada etapa com o emissor esteve com posicionamento para cima. A análise de variância dos emissores do Modelo G para cima descrita na Tabela 4.25.

Tabela 4.25 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Gc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	226314.433333	37719.072222	41.738	0.0000
Bloco	5	46425.069048	9285.013810	10.274	0.0000
HorasxBlocos	30	37528.680952	1250.956032	1.384	0.0896
Erro	378	341600.700000	903.705556		
CV	42.96 %				
Média Geral	69.98 %		Nº Observações	420	

No Gráfico 4.11 observa-se a redução acentuada das vazões dos emissores a partir das 240 horas, porem nas etapas em que o ensaio utilizou as granulometrias da areia fina e média houve reduções mais brandas, comparadas com os emissores que atuaram com o posicionamento para cima (Tabela 4.26).

Tabela 4.26 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo G de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor G para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,08 d	0	0
80	90,92 d	0,05 a 0,1	125
160	83,43 c	0,1 a 0,25	125
240	77,98 c	0,25 a 0,5	125
320	62,68 b	0,05 a 0,1	500
400	35,80 a	0,1 a 0,25	500
480	38,98 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Seguindo a tendência dos demais tubos emissores, o G demonstrou que blocos 5 e 6 que possuíam tubos emissores em regiões próximas as entradas do *mainfold*, que provavelmente foram favorecidos por um caminho preferencial de passagem de alta concentração.

4.2.9 Avaliação do tubo emissor H

Ocorreram efeitos significativos utilizando este emissor no teste, tanto que ele esteve nos dois posicionamentos, para cima ou para baixo, ocorrendo efeitos significativos ambos os casos, porém, com menores reduções das vazões quando utilizado para cima, o que seguiu a tendência da maioria dos emissores.

Conforme a tendência dos demais tubos emissores, o emissor H demonstrou que os Blocos 1, 2, 4 e 5 que possuíam tubos emissores em regiões próximas as entradas do *mainfold* e na linha 7, localizado em região inferior do *mainfold*, que provavelmente favorecidos por um caminho preferencial de passagem de sílica demonstradas através das variações nas vazões médias.

A distribuição espacial dos tubos emissores modelo H, no esquema na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Esquema do *Mainfold* para a posição do modelo H (PC Cyclone)

Quando os emissores pastilhas estiveram no sentido para cima, apresentaram suave variação na vazão com pequena obstrução parcial, como demonstrado nos Gráficos 4.13.

Gráfico 4.13 - Vazão por Bloco e posição dos emissores PC Cyclone

Por meio da variação das vazões dos emissores durante o ensaio, evidenciou-se uma redução das vazões dos emissores a partir das 80 horas. Porém, nas etapas do ensaio em que se utilizou a areia, houve reduções mais severas, comparadas com os emissores posicionados para baixo e que atuaram com o posicionamento para cima.

No coeficiente de variação entre os blocos verificou-se que os emissores H demonstram altas variações nos blocos 1, 2 e 4 com o emissor para baixo e os índices de coeficiente de variação durante as avaliações estão descritas no Gráfico 4.14.

Gráfico 4.14 - Coeficiente de Variações por Bloco e posição dos emissores PC Cyclone

Verificou-se que, no tubo emissor H, houve obstrução total do bloco 5 e obstrução parcial dos blocos 2, 4 e 5, isto quando utilizou emissor com o sentido para baixo.

4.2.9.1 Avaliação do tubo emissor H para baixo

Como na maioria dos modelos de emissores que funcionaram na posição para baixo, as variações de vazão tornaram insatisfatórios à medida que os emissores fossem submetidos gradualmente, nas diferentes etapas do ensaio. A análise de variância dos emissores do Modelo H para baixo pode ser observada na Tabela 4.27.

Tabela 4.27 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Hb de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	419214.857143	69869.142857	104.174	0.0000
Bloco	5	121626.497619	24325.299524	36.269	0.0000
HorasxBlocos	30	116230.085714	3874.336190	5.777	0.0000
Erro	378	253522.700000	670.694974		
CV	45.47 %				
Média Geral	56.95 %		Nº Observações	420	

Os resultados das vazões médias do emissor H com a pastilha direcionada para baixo não foram satisfatórias e sofreram reduções acentuadas (Tabela 4.28).

Tabela 4.28 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo H de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor H para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,93 d	0	0
80	100,93 d	0,05 a 0,1	125
160	72,25 c	0,1 a 0,25	125
240	44,70 b	0,25 a 0,5	125
320	35,93 b	0,05 a 0,1	500
400	23,08 a	0,1 a 0,25	500
480	21,85 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

A redução da vazão foi bastante acentuada, atingindo até os 21,85 % da vazão nominal. O entupimento tornou-se evidente após as 160 horas de ensaio, reduzindo no decorrer do ensaio.

4.2.9.2 Avaliação do tubo emissor H para cima

Ocorreu redução acentuada das vazões dos emissores a partir das 160 horas, porém, nas etapas em que o ensaio utilizaram as granulometrias da areia fina e média ocorreram reduções mais brandas, comparadas com os emissores que atuaram com o posicionamento para cima. A análise de variância dos emissores do Modelo H para cima se encontra na Tabela 4.29.

Tabela 4.29 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Hc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	26302.714286	4383.785714	12.171	0.0000
Bloco	5	5539.735714	1107.947143	3.076	0.0098
HorasxBlocos	30	12021.714286	400.723810	1.113	0.3160
Erro	378	136149.500000	360.183862		
CV	21.01 %				
Média Geral	90.33 %		Nº Observações	420	

Os resultados das vazões médias do emissor H com a pastilha direcionada para cima não foram satisfatórias e sofreram reduções acentuadas das vazões. Ocorreram efeitos significativos deste emissor durante o período de ensaio, como se observa na Tabela 4.30.

Tabela 4.30 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo H de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor H para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,01 c	0	0
80	102,07 c	0,05 a 0,1	125
160	91,20 b	0,1 a 0,25	125
240	89,02 b	0,25 a 0,5	125
320	87,65 b	0,05 a 0,1	500
400	85,10 b	0,1 a 0,25	500
480	77,30 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Este modelo de emissor seguiu a tendência, com reduções mais brandas nas taxas de vazões, tornando as variações de vazão insatisfatórias após as 240 horas do teste.

4.2.10 Avaliação do tubo emissor J

Nos tubos emissores J constataram-se obstruções total nos blocos 1, 2 e 5 e obstrução parcial dos blocos 2 e 6, isto quando utilizou-se emissor com o sentido para baixo. Quando os emissores estiveram no sentido para cima apresentaram também variações nas vazões. A distribuição espacial dos tubos emissores modelo J como se observa na Figura 4.10.

Figura 4.10 – Esquema do mainfold para a posição do modelo J (DripNetPC 16150)

Observou-se que, em todos os blocos deste emissor, quando utilizado com o posicionamento direcionando os emissores para baixo, ocorreram obstrução total das amostras.

A vazão média dos emissores por bloco, durante o ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão, pode ser observada no Gráfico 4.15.

Gráfico 4.15 - Vazão por Bloco e posição dos emissores DripNetPC 16150

Analisando-se outros fatores no Gráfico 4.15, observa-se uma redução na vazão média nos blocos 1, 3 e 5 acentuada às 80 horas. As variações do coeficiente de variação durante o ensaio podem ser verificadas no Gráfico 4.16.

Gráfico 4.16 - Coeficiente de Variações por Bloco e posição dos emissores DripNetPC 16150

Ocorreram efeitos significativos utilizando este emissor. Durante o teste, em cada etapa, quando este emissor esteve nos dois posicionamentos, para cima ou para baixo, ocorreu efeitos significativos, porém, com menores reduções nas vazões quando utilizado para cima, seguindo a tendência da maioria dos emissores. O coeficiente de variação entre os blocos

verificou-se que os emissores J demonstram altas variações nos blocos 2 e 6, com o emissor direcionado para baixo e no bloco 4 com os emissores direcionados para cima.

Durante o teste não houve redução acentuada das vazões dos emissores, mesmo tratando-se de emissores com baixas vazões. Ocorreu redução das vazões após as 400 horas de teste que afetou o coeficiente de variação.

4.2.10.1 Avaliação do tubo emissor J para baixo

Foi constatada a redução acentuada das vazões dos emissores a partir da etapa inicial, quando se avaliou com 80 horas. Nas etapas em que se utilizaram as granulometrias da areia muito fina e média houve reduções acentuadas das vazões. A análise de variância dos emissores do Modelo J para baixo descrito na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Jb de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	208267.400000	34711.233333	59.261	0.0000
Bloco	5	15679.533333	3135.906667	5.354	0.0001
HorasxBlocos	30	133053.400000	4435.113333	7.572	0.0000
Erro	378	221407.200000	585.733333		
CV	40.31 %				
Média Geral	60.03 %		Nº Observações	420	

Após as 320 horas, aumentaram-se as concentrações e ocorreu o aumento das vazões, hipótese de que a pressão somada ao atrito das partículas de areia atuou na liberação do fluxo (Tabela 4.32).

Tabela 4.32 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo J de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor J para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	100,40 e	0	0
80	84,95 d	0,05 a 0,1	125
160	44,73 b	0,1 a 0,25	125
240	33,58 a	0,25 a 0,5	125
320	59,73 c	0,05 a 0,1	500
400	51,35 c	0,1 a 0,25	500
480	45,43 b	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Os resultados das vazões médias do emissor J com a pastilha direcionada para baixo não foram satisfatórias e sofreram reduções acentuadas das vazões.

A redução acentuada das vazões dos emissores a partir das 80 horas, período em que se utilizaram as granulometrias da areia fina e média. Como se tratavam de emissores com vazões baixas, um dos motivos que o tornaram propício ao entupimento.

4.2.10.2 Avaliação do tubo emissor J para cima

A análise de variância dos emissores do Modelo J para cima se encontra na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Jc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	12328.461905	2054.743651	13.934	0.0000
Bloco	5	4802.611905	960.522381	6.514	0.0000
HorasxBlocos	30	10109.538095	336.984603	2.285	0.0002
Erro	378	55740.100000	147.460582		
CV	12.62 %				
Média Geral	96.25 %		Nº Observações	420	

Mesmo que tenham ocorrido efeitos significativos deste emissor, foram mais brandas as variações de vazão quanto ao teste realizado em cada etapa que o emissor esteve com posicionamento para cima (Tabela 4.34).

Tabela 4.34 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo J de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor J para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 d	0	0
80	107,02 e	0,05 a 0,1	125
160	95,10 c	0,25 a 0,5	125
240	96,97 c	0,1 a 0,25	125
320	90,25 a	0,05 a 0,1	500
400	90,55 a	0,1 a 0,25	500
480	93,95 b	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Os resultados não afetaram a vazão deste emissor. A redução da vazão média não foi superior a 10%, durante o ensaio inteiro.

4.2.11 Avaliação do tubo emissor K

No ensaio de resistência ao entupimento para este tubo emissor ocorreram efeitos significativos utilizando-se, em cada etapa, este emissor esteve nos dois posicionamentos, para cima ou para baixo, ocorrendo efeitos significativos, porém, com menores reduções nas vazões quando utilizado para cima, seguindo tendência da maioria dos emissores.

Figura 4.11 – Esquema do *Mainfold* para a posição do modelo K (Top Drip)

A ocorrência de obstrução dos emissores foi favorecido pelo posicionamento dos emissores dentro dos tubos. A influência do *mainfold* no sistema hidráulico, em que alguns locais ocorreram fluxos preferenciais dos sólidos em suspensão nas duas concentrações utilizadas.

Ocorreu redução acentuada das vazões dos emissores a partir das 80 horas, e conseqüentemente, houve redução acentuada até que todas as amostras obstruíram, como descritos no Gráfico 4.17.

Gráfico 4.17 - Vazão por Bloco e posição dos emissores Top Drip

O tubo emissor estava em regiões próximas às saídas de abastecimento da linha principal, do bloco ou em regiões inferiores do *mainfold*, e ocorreu aumento dos índices de coeficiente de variação (Gráfico 4.18).

Gráfico 4.18 - Coeficiente de Variações por Bloco e posição dos emissores Top Drip

Para este emissor houve redução acentuada das vazões dos emissores a partir das 80 horas, período em que se utilizaram as granulometrias da areia fina e média, seguiu a tendência dos emissores com vazões baixas.

4.2.11.1 Avaliação do tubo emissor K para baixo

Os tubos emissores K com vazão nominal de $1,0 \text{ L.h}^{-1}$, ocorreram obstrução total das parcelas analisadas dos blocos 2, 3, 4, 5 e 6 e a obstrução parcial no bloco 1. Vazão média dos emissores durante o ensaio de resistência ao entupimento por particulados sólidos em suspensão e a análise de variância dos emissores do Modelo K para baixo se encontra na Tabela 4.35.

Tabela 4.35 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Jc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	539577.047619	89929.507937	193.458	0.0000
Bloco	5	41719.961905	8343.992381	17.950	0.0000
HorasxBlocos	30	62624.438095	2087.481270	4.491	0.0000
Erro	378	175714.400000	464.852910		
CV	51.36 %				
Média Geral	41.98 %		Nº Observações	420	

Um dos principais motivos que tornaram esse modelo insatisfatório, após as 80 horas de teste e ao final do ensaio, foi à constatação da obstrução quase que total das amostras dos emissores (Tabela 4.36).

Tabela 4.36 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo K de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor K para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,92 f	0	0
80	77,32 e	0,05 a 0,1	125
160	65,51 d	0,1 a 0,25	125
240	27,37 c	0,25 a 0,5	125
320	16,73 b	0,05 a 0,1	500
400	6,87 a	0,1 a 0,25	500
480	0,15 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

O gráfico demonstra redução acentuada das vazões dos emissores, porém, quanto à sua uniformidade, constatou-se que não houve grandes variações, mesmo que a redução das vazões em algumas avaliações atingiu marcas abaixo dos 50%.

4.2.11.2 Avaliação do tubo emissor K para cima

Houve reduções acentuadas das vazões dos emissores a partir das 80 horas, período em que se utilizaram granulometrias de areia fina e depois, de média, e tratando-se de emissores com vazões baixas. A análise de variância dos emissores do Modelo K para cima se encontra na Tabela 4.37.

Tabela 4.37 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Kc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	323074.123810	53845.687302	47.801	0.0000
Bloco	5	79767.450000	15953.490000	14.162	0.0000
HorasxBlocos	30	100692.133333	3356.404444	2.980	0.0000
Erro	378	425802.700000	1126.462169		
CV	65.07 %				
Média Geral	51.57 %		Nº Observações	420	

Um dos principais motivos que o tornaram insatisfatório após as 400 horas de teste e ao final do ensaio foi a obstrução quase que total das amostras dos emissores (Tabela 4.38).

Tabela 4.38 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo K de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor K para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 d	0	0
80	63,23 c	0,05 a 0,1	125
160	66,07 c	0,1 a 0,25	125
240	54,75 c	0,25 a 0,5	125
320	33,65 b	0,1 a 0,25	500
400	38,67 b	0,05 a 0,1	500
480	4,70 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Porém, o principal objeto de estudo foi o sistema hidráulico, o que pode ter influenciado ao favorecimento das obstruções dos emissores. Ocorreram reduções das vazões nos blocos 2, 3, 4 e 6 nas parcelas que tinham o posicionamento direcionado para baixo enquanto os emissores direcionados para cima não ocorreram variações em algumas parcelas, exceto bloco 2.

4.2.12 Avaliação do tubo emissor L

Seguindo a tendência da maioria dos modelos de emissores que funcionaram direcionados para baixo, as variações de vazão tornaram insatisfatórios à medida que os emissores fossem submetidos gradualmente nas diferentes etapas do ensaio, ocorrendo reduções drásticas das vazões (Figura 4.12).

Figura 4.12 – Esquema do Mainfold para a posição do modelo L (Tal Drip)

Observando o Gráfico que não houve redução das vazões dos emissores para cima durante o teste, ocorreu redução das vazões após as 400 horas de teste.

Os emissores para baixo após 160 nota-se redução acentuada das vazões, o que vem afetar e consequentemente aumentando o coeficiente de variação (Gráfico 4.19).

Gráfico 4.19 - Vazões por Bloco e posição dos emissores Tal Drip

Ocorreu redução acentuada das vazões dos emissores e, conseqüentemente, houve reduções nos coeficiente de variação. Observou-se que a redução das vazões a partir da avaliação nas 240 horas foi acentuada (Gráfico 4.20).

Gráfico 4.20 - Coeficiente de Variações por Bloco e posição dos emissores Tal Drip

Os resultados demonstraram que o uso intensivo deste sistema, independente de modelo ou marca, ocorreu redução na uniformidade de emissão (UE) e um aumento no coeficiente de variação de fabricação, como cita Teixeira (2006).

4.2.12.1 Avaliação do tubo emissor L para baixo

A análise de variância dos emissores do Modelo L para baixo está descrita na Tabela 4.39.

Tabela 4.39 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Kc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	243712.080952	40618.680159	19.303	0.0000
Bloco	5	229887.392857	45977.478571	21.850	0.0000
HorasxBlocos	30	329813.690476	10993.789683	5.225	0.0000
Erro	378	795412.500000	2104.265873		
CV	56.82 %				
Média Geral	80.73 %		Nº Observações	420	

Durante o ensaio com este emissor pastilha, observaram-se a média geral, entre as duas formas de trabalho para cima e para baixo, gerou a média percentual da vazão nominal e agrupada, cujos os resultados se encontram na Tabela 4.40.

Tabela 4.40 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo L de tubogotejador com o emissor para baixo durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor L para baixo			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 d	0	0
80	100,37 d	0,05 a 0,1	125
160	97,15 d	0,1 a 0,25	125
240	60,41 b	0,25 a 0,5	125
320	84,17 c	0,05 a 0,1	500
400	60,66 b	0,1 a 0,25	500
480	28,62 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Houve redução acentuada nas vazões média dos emissores pastilhas, ainda quando utilizados direcionados para baixo e com faixa de granulometria entre 0,25 a 0,5mm, a partir das 240 horas, período em que se utilizaram as granulometrias da areia média.

4.2.12.2 Avaliação do tubo emissor L para cima

A análise de variância dos emissores do Modelo L para cima pode ser observada na Tabela 4.41.

Tabela 4.41 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo Kc de tubogotejador durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Horas	6	665607.180952	110934.530159	183.399	0.0000
Bloco	5	28335.171429	5667.034286	9.369	0.0000
HorasxBlocos	30	68443.961905	2281.465397	3.772	0.0000
Erro	378	228644.600000	604.879894		
CV	39.61 %				
Média Geral	62.08 %		Nº Observações	420	

Observando-se os dados, obteve-se a média das amostragens, gerando a média percentual da vazão nominal do emissor pastilha L para cima que, agrupada, forneceram os dados da Tabela 4.42.

Tabela 4.42 - Análise de variância das médias de vazão com o modelo L de tubogotejador com o emissor para cima durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Avaliação do tubo emissor L para cima			
Horas	Médias(%) / Resultados do teste	Ø de partículas (mm)	Concentrações (ppm)
0	99,98 c	0	0
80	96,50 c	0,05 a 0,1	125
160	95,75 c	0,1 a 0,25	125
240	92,21 c	0,25 a 0,5	125
320	27,15 b	0,05 a 0,1	500
400	18,33 b	0,1 a 0,25	500
480	4,67 a	0,25 a 0,5	500

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

As reduções das vazões afetaram os blocos 1, 3, 4, 5 e 6 nas parcelas que tinham o posicionamento direcionado para baixo e quanto para cima.

4.3 Análise por Blocos

Para efeito de comparação entre os blocos, realizou-se o agrupamento dos dados que geraram a Tabela 4.43.

Tabela 4.43 - Análise de variância das médias de vazão entre os blocos durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Blocos	Médias(%) / Resultados do teste
1	75,08 c
2	66,86 a
3	73,34 c
4	70,62 b
5	73,63 c
6	72,41 c

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Na análise de variação das médias, quando ocorreram diferenças significativas mesmo havendo distribuição da mesma solução de água e areia, pode ser um indício que o sistema hidráulico durante a distribuição de fluxo não foi totalmente homogênea.

O sistema hidráulico indica se a configuração de montagem foi adequada para este ensaio. Desta forma, demonstra que a distribuição do fluxo de água com areia não foi homogêneo ao utilizar conexões do tipo “T” em múltiplas saídas sequenciais. O Bloco 2 era abastecido por uma conexão “T” com o sentido para baixo, enquanto que o Bloco 4 era abastecido por uma conexão de “Curva 90 ” para cima (Figura 4.13).

Figura 4.13 - Esquema que demonstra a localização das saídas para os Blocos 1 e 4 no *mainfold*

Provavelmente o precipitado do particulado sólido tinha preferência por entrar nos Bloco 2 e 4, o que resultou em menor média destes blocos. Os Blocos 3 e 6 estão na entrada das bifurcações superior e inferior respectivamente, como apresentavam uma maior vazão de fluxo na entrada, não tiveram acúmulo preferencial de particulado, sendo semelhantes as vazões relativas médias nestes blocos.

4.4 Posicionamento dos emissores pastilhas

As análises estatísticas demonstraram que os emissores pastilhas, quando colocados com os orifícios de saídas direcionados para baixo, apresentam reduções acentuadas das vazões, com diferenças significativas do teste Scott Knott a 5% de probabilidade (Tabela 4.44).

Tabela 4.44 - Análise de variância das médias de vazão entre a posição do emissor durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Emissor	Para Cima	Para Baixo
B	97,88 b	89,78 a
D	85,78 b	68,77 a
E	80,25 b	56,79 a
F	83,35 b	57,63 a
G	80,25 b	56,79 a
H	90,34 b	56,96 a
J	96,26 b	60,03 a
K	51,58 b	41,98 a
L	80,74 b	62,09 a

* Teste Scott Knott com 5% de probabilidade. Comparativo na linha para cada modelo de emissor com base na letra minúscula.

A visualização espacial entre as avaliações (80 horas), comparado o desempenho de cada modelo de tubogotejador. Assim demonstrar individualmente os valores de cada tipo de emissor, análise estatística dos valores da mesma linha. O ensaio de particulados sólidos em suspensão nas regiões de alta velocidade nas distribuições em tubulações próximos ao fluxo de alimentação dos tubos emissores e entre as variações das alturas entre os tubos emissores avaliados do *mainfold*.

4.5 Avaliação dos tubos emissores em relação ao Tempo

Analísaram-se as médias das 126 parcelas, durante as avaliações do ensaio, gerou uma média de cada tubo de amostragem a cada 80 horas de ensaio, tendo ocorrido variações das vazões entre todas as parcelas estudadas, como se observa na Tabela 4.45.

Tabela 4.45 - Análise de variância* das médias de vazão de todos os emissores para os diferente tempos de ensaio (2012)

Tempo	Médias(%) / Resultados do teste
0	100,01 g
80	93,54 f
160	80,17 e
240	65,55 d
320	61,14 c
400	55,13 b
480	48,38 a

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

Ocorreu durante o ensaio à redução de vazão. Os tubos emissores, conforme foram submetidos aos tratamentos de dióxido de silício (SiO_2), diferiram entre tempo de ensaio.

Nas avaliações dos tubogotejadores em suas respectivas posições no *mainfold*, observaram-se regiões diferenciadas de vazões relativas (vazão atual / vazão inicial). Na Tabela 4.46 observam-se as vazões relativas de cada posição do *mainfold*, no tempo de 480 horas de ensaio. Nesta tabela a formatação de cores indica o nível de redução de vazão relativa observada em cada posição.

Durante o ensaio iniciou o processo de obstrução, que se caracterizou pela coloração mais avermelhada, o tempo de ensaio segue a sequência de cima para baixo (Figura 4.14). Adotou-se para análise estatística, dividir por regiões a área do *mainfold*. As entradas de fluxo estão destacados em quadros pretos, essa é a linha média, abaixo região inferior e acima região superior.

A Figura abaixo está reproduzida em maior escala no anexo B.

0 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
97,37	101,86	102,91	107,54	97,58	95,77	95,81	93,55	101,39	94,18	101,70	100,73	99,34	100,46	93,57	104,52	100,29	100,23
102,36	102,50	92,14	98,41	91,25	99,14	101,51	95,63	100,43	99,89	94,00	95,85	100,63	105,05	105,72	94,15	98,19	99,91
106,24	114,00	95,47	88,00	97,48	95,66	101,15	95,92	92,04	100,81	96,96	100,17	98,69	95,88	102,37	101,64	100,30	101,73
103,83	104,83	92,71	107,68	93,01	99,23	101,21	103,01	102,13	100,52	96,62	95,74	98,92	98,01	97,91	101,76	104,77	107,06
106,66	101,47	108,35	101,11	100,80	93,69	106,89	94,79	98,83	102,50	100,36	100,36	98,83	100,63	100,06	106,19	99,14	101,89
96,30	102,53	105,55	111,87	102,07	90,97	102,83	93,54	104,97	99,76	102,68	102,00	101,31	104,01	102,93	98,73	106,23	98,13
102,09	95,92	107,85	97,55	96,79	102,15	101,11	111,87	101,62	96,31	89,18	96,33	98,00	99,43	98,04	96,51	97,58	103,68
80 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
93,71	99,74	100,86	92,91	100,27	90,72	103,11	94,91	96,41	98,42	94,71	89,18	83,85	106,60	98,83	82,60	96,41	95,09
90,77	119,58	108,91	48,51	99,20	96,11	110,38	103,85	103,91	112,01	94,00	94,10	87,73	98,53	96,62	98,27	98,08	90,10
87,14	100,99	50,93	101,23	95,99	86,90	96,28	40,63	108,53	94,71	93,36	84,39	93,72	103,23	101,22	92,58	109,63	110,63
112,27	79,66	80,74	108,18	107,68	107,08	105,41	99,30	102,90	95,62	87,83	86,07	104,04	95,97	96,02	105,64	110,83	85,29
103,60	103,60	100,71	104,16	107,71	102,46	74,94	69,30	96,52	85,26	94,20	97,00	72,71	80,48	93,52	96,23	98,92	98,36
96,62	91,79	92,97	73,94	52,49	97,74	91,71	102,68	62,62	90,58	107,92	100,96	86,89	100,32	98,24	84,42	98,01	97,95
96,95	96,15	92,36	92,24	98,23	102,28	91,30	101,62	106,03	89,97	22,76	35,87	109,26	95,97	88,39	111,38	95,42	90,75
160 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
83,66	96,51	84,37	87,16	91,65	81,53	83,36	96,91	96,18	75,33	81,06	81,69	73,21	85,93	68,58	65,86	87,29	85,37
85,71	103,18	95,16	79,92	59,24	83,48	89,97	103,10	84,56	101,80	97,93	95,74	83,53	86,73	84,67	79,60	76,85	85,90
50,88	88,31	59,60	102,22	95,66	74,54	73,66	40,09	41,60	88,56	77,77	79,73	92,36	92,54	106,09	91,48	95,88	104,47
29,32	85,05	72,17	106,78	88,08	83,17	84,57	47,97	69,74	51,52	61,98	78,75	75,82	99,66	14,12	31,11		
93,21	99,62	97,27	98,12	107,08	87,20	72,08	80,25	77,02	23,49	86,43	93,33	77,26	65,25	70,22	86,36	87,78	104,37
85,20	88,25	84,39	89,78	59,28	79,43	87,22	59,84	24,45	77,10	93,25	94,67	60,75	81,46	77,13	66,43	102,43	102,79
50,79	80,66	86,44	87,46	89,93	90,31	86,45	101,12	91,97	82,25	41,83	43,02	103,29	47,32	64,16	83,44	78,37	86,18
240 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
70,95	85,06	87,92	80,07	85,10	75,41	70,09	74,22	79,02	78,76	71,48	68,43	65,86	72,96	84,36	55,78	73,50	78,17
80,32	81,65	71,97	87,28	55,67	75,11	82,24	105,40	87,42	100,75	99,62	79,59	78,95	58,87	77,18	72,92	22,20	28,78
55,08	42,15	61,98	84,86	87,01	57,62	82,31	17,46	13,15	44,53	74,10	66,50	90,01	97,03	102,85	91,92	111,31	97,75
39,60	73,51	55,70	28,44	53,39	74,88	60,06	72,26	83,99	9,77	52,03	42,18	27,44	88,88	78,71	60,50	14,31	17,50
103,23	96,56	95,74	94,20	91,40	95,88	80,80	52,06	62,03	22,70	91,59	91,09	37,93	69,33	65,82	86,47	38,93	73,39
55,46	57,13	73,44	65,42	17,68	49,92	83,91	21,07	5,86	81,17	100,40	106,01	63,46	47,36	25,08	46,50	56,42	24,36
38,20	44,63	45,60	85,92	73,33	3,38	73,13	3,69	74,71	74,02	57,43	42,91	89,97	2,66	31,75	88,23	93,90	94,70
320 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
78,47	93,89	89,72	81,33	57,09	70,15	63,40	77,48	80,24	53,66	64,25	48,71	60,96	64,37	84,61	52,63	73,64	78,25
86,70	82,52	92,63	59,16	63,85	71,66	98,14	103,66	92,65	83,30	5,16	22,50	79,54	73,68	94,37	71,47	7,75	11,85
37,62	27,38	42,65	163,05	158,52	65,69	74,30	12,82	7,73	41,02	75,08	67,60	7,82	88,26	87,72	7,17	99,87	100,74
25,17	66,80	54,83	25,27	45,92	62,43	36,35	78,17	77,73	3,14	54,84	22,96	51,51	78,71	81,40	75,12	55,14	61,64
97,76	89,72	30,45	98,06	90,53	85,86	55,01	39,61	47,77	11,47	84,31	74,60	16,20	61,82	59,24	73,54	49,36	84,86
65,62	56,15	73,64	55,37	5,05	33,96	72,94	58,83	60,09	76,48	101,82	100,15	62,49	36,10	16,40	32,24	60,14	64,62
19,57	30,09	25,42	82,46	75,70	7,65	64,86	0,00	147,40	68,65	23,66	18,41	90,22	1,45	26,36	93,15	75,40	74,78
400 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
80,27	94,95	86,36	61,71	15,48	54,67	19,79	95,82	87,34	33,79	59,25	34,93	54,46	50,17	85,35	41,17	72,95	85,20
84,24	80,73	107,99	63,85	61,97	62,00	98,42	95,70	106,34	96,78	0,00	32,57	78,34	101,11	93,03	75,72	2,27	1,45
32,95	12,38	41,67	107,52	137,78	70,18	51,85	0,00	8,07	39,67	82,75	76,98	1,80	91,48	86,14	4,66	84,55	113,43
0,00	51,10	48,34	21,32	37,53	55,08	0,00	77,37	79,90	0,00	37,66	0,00	70,02	79,56	80,55	80,10	52,44	10,85
93,07	67,79	3,10	89,65	84,31	77,46	9,29	0,74	20,59	0,00	73,28	74,70	82,79	68,08	67,96	74,66	26,47	13,84
71,47	67,94	73,76	28,03	1,45	17,77	69,48	60,37	58,76	81,36	112,61	103,42	55,20	33,38	10,66	24,09	47,29	70,82
1,34	0,49	14,06	82,87	81,11	1,87	117,80	0,00	149,12	66,25	20,40	0,00	87,16	0,00	16,21	93,95	59,48	56,86
480 Horas																	
B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
79,2546	84,6832	85,6041	46,6786	47,4865	79,7205	14,903	88,483	86,9796	35,1827	74,1334	71,3457	60,7076	58,5846	60,1628	53,0209	78,197	85,8629
83,2479	95,0231	44,1566	38,9141	18,4157	84,5723	95,5786	104,283	103,287	91,048	0	0	83,3239	73,192	46,0004	58,5324	0	0
32,5664	26,0073	0	59,6659	20,0683	57,508	59,1561	0	0	51,6379	66,6696	72,304	13,9353	87,2271	104,312	14,0654	94,1906	104,718
0	58,2725	48,9699	2,54717	2,11019	47,0005	0	84,2967	79,3236	0	11,063	27,9719	105,15	64,4036	60,9507	75,202	41,7056	61,8085
96,452	0	0	61,3004	63,7893	88,9192	12,4592	30,1975	14,4704	0	68,1572	65,1706	0	60,2793	61,8147	0	0	45,2021
47,2441	85,8921	59,7772	0,91451	0	29,5094	73,8825	61,0917	50,6047	71,2243	66,1116	83,7866	60,1368	50,23	0	32,6379	76,157	65,5064
5,96242	0,9065	9,71248	86,4399	74,9823	6,46347	59,282	0	80,4024	60,9255	2,21339	0	73,3589	0	25,9301	86,7365	52,5314	42,4596

1	2	3	4	5
0 Horas				
99,38	100,69	98,72	98,88	99,87
98,71	98,45	98,83	98,47	98,95
99,14	96,72	100,35	98,97	99,31
100,50	100,45	100,52	99,01	101,98
101,25	102,84	100,46	102,21	100,29
101,47	103,97	100,22	102,76	100,17
99,56	99,64	99,51	99,14	99,97
80 Horas				
95,46	95,01	95,69	96,46	94,46
97,26	94,71	98,54	98,84	95,67
91,78	91,53	91,91	92,98	90,59
96,09	98,18	95,04	96,30	95,87
93,82	96,06	92,70	94,66	92,98
90,44	83,79	93,76	87,50	93,37
89,83	96,73	86,38	88,97	90,69
160 Horas				
83,65	79,58	85,68	83,26	84,03
87,62	87,62	87,61	84,18	91,05
80,86	81,59	80,49	77,06	84,66
69,41	81,16	63,54	65,13	73,69
83,69	75,42	87,82	85,37	82,00
78,55	69,88	82,88	74,90	82,19
77,50	82,62	74,94	77,03	77,97
240 Horas				
75,40	77,65	74,27	76,48	74,32
74,77	82,92	70,70	72,84	76,70
70,98	66,55	73,19	75,31	66,65
51,84	52,85	51,34	51,69	51,99
74,95	71,16	76,85	74,16	75,74
54,48	49,58	56,93	53,52	55,44
56,57	66,70	51,50	64,23	48,91
320 Horas				
70,71	73,70	69,22	72,49	68,94
66,70	82,26	58,92	68,98	64,42
64,72	58,22	67,98	65,70	63,75
53,17	52,92	53,30	53,65	52,69
63,90	53,42	69,14	58,96	68,84
57,34	52,37	59,82	57,58	57,10
51,40	73,90	40,15	60,95	41,85
400 Horas				
61,87	65,95	59,83	62,36	61,38
69,03	90,62	58,23	70,29	67,77
57,99	47,95	63,01	58,62	57,37
43,43	51,70	39,30	45,16	41,71
51,54	42,66	55,98	51,21	51,88
54,88	46,11	59,27	55,63	54,13
47,17	70,41	35,54	60,74	33,59
480 Horas				
66,17	61,27	68,61	65,27	67,06
56,64	63,66	53,14	52,67	60,62
48,00	38,28	52,86	43,43	52,57
42,82	44,50	41,98	38,81	46,83
37,12	22,93	44,22	35,24	39,01
50,82	35,86	58,30	48,21	53,42
37,13	58,36	26,51	42,71	31,55

As avaliações iniciais comparadas as médias das vazões finais, ocorreram obstrução severa, demonstrado pela mudança de coloração que ocorreu, estando mais acentuados nas regiões inferiores da linha da altura média do *mainfold*. As entradas dos “input primário” também tornaram-se suscetível ao entupimento em relação ao “input secundário”. As médias das vazões por região do *mainfold* em cada avaliação (Tabela 4.46).

Tabela 4. 46 - As vazões médias (%) nas região durante as avaliações no ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Região Tempo (h)	0	80	160	240	320	400	480	média
Superior	99,08	94,84	84,04	73,72	67,38	62,96	56,94	76,99
Médio	100,50	96,06	69,41	51,84	53,17	43,43	42,82	65,31
Inferior	100,76	91,36	79,91	62,00	57,55	51,20	41,69	69,21
Média	100,11	94,09	77,79	62,52	59,37	52,53	47,15	

A avaliação das 480 horas, realizou-se análise de variâncias e estudo de médias, e dividiu-se a área do *mainfold* em três regiões; altura superior, médio e inferior (Tabela 4.47).

Tabela 4.47 - Análise de variância das médias de vazões dos gotejadores na avaliação de 480 horas, ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Gotejadores	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
A	2	81669.900000	40834.950000	30.834	0.0000
Bb	2	16299.900000	8149.950000	6.154	0.0021
Bc	1	20462.408333	20462.408333	15.451	0.0001
C	1	500.208333	500.208333	0.378	0.5389 ^{NS}
Db	2	32976.233333	16488.116667	12.450	0.0000
Dc	2	15.100000	7.550000	0.006	0.9949 ^{NS}
Eb	1	65007.075000	65007.075000	49.086	0.0000
Ec	1	100.833333	100.833333	0.076	0.7826 ^{NS}
Fb	2	28448.233333	14224.116667	10.741	0.0000
Fc	2	22012.300000	11006.150000	8.311	0.0003
Gb	2	3811.233333	1905.616667	1.439	0.2343
Gc	1	2000.833333	2000.833333	1.511	0.2193
Hb	2	42465.700000	21232.850000	16.033	0.0000
Hc	1	12140.408333	12140.408333	9.167	0.0025
I	1	2.408333	2.408333	0.002	0.9660 ^{NS}
Jb	2	8668.933333	4334.466667	3.273	0.0374
Jc	1	5810.208333	5810.208333	4.387	0.0364
Lb	1	2.700000	2.700000	0.002	0.9640 ^{NS}
Lc	1	2066.700000	2066.700000	1.561	0.2118
Lb	1	963.333333	963.333333	0.727	0.3939
Lc	1	165.675000	165.675000	0.125	0.7236 ^{NS}
Erro	1209	1601123.775	1324.337283		

Nos modelos com Grau de Liberdade 2, significa que houve amostragem nas três regiões avaliadas, Superior, Inferior e Médio daquele emissor. Quando o grau de liberdade foi

igual 1, apenas houve amostragem na região superior e inferior. Tais diferenças foram constatadas quando ocorreram entre as duas regiões. Houve exceção, como o modelo A, que entupiu na Região média do *mainfold*, justamente na entrada da solução com areia, enquanto os tubos instalados na região superior e inferior, as suas médias não diferiram pelo teste Tukey com 5% de probabilidade (Tabela 4.48).

Tabela 4.48 - Análise de variância das médias de vazão entre modelos e entre regiões do emissor no *mainfold* durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Gotejadores	Vazões médias (%)*	Superior**	Médio**	Inferior**
A	53.6000 d	87.70 B	2.35 A	70.75 B
Bb	60.7000 e	69.55 B	37.60 A	74.95 B
Bc	88.6167 f	101.675 B	-	62.50 A
C	42.5333 d	44.575 A	-	38.45 A
Db	47.5666 d	16.30 B	53.65 B	16.30 A
Dc	27.233333 b	81.95 A	81.75 A	80.80 A
Eb	32.900000 c	79.45 B	-	9.625 A
Ec	34.233333 c	70.15 A	-	72.90 A
Fb	38.983333 c	56.90 B	19.55 A	5.25 A
Fc	42.533333 d	83.85 B	62.60 AB	37.00 A
Gb	45.183333 d	7.45 A	23.50 A	25.10 A
Gc	45.433333 d	47.15 A	-	34.90 A
Hb	47.566667 d	59.30 B	0.00 A	6.25 A
Hc	53.600000 d	85.20 B	-	55.025 A
I	60.700000 e	44.90 A	-	45.325 A
Jb	61.150000 e	28.60 A	51.80 AB	55.90 B
Jc	65.083333 e	71.825 A	-	92.70 B
Lb	71.066667 f	0.00 A	-	0.45 A
Lc	78.783333 f	13.00 A	-	0.55 A
Lc	81.500000 f	39.90 A	-	31.40 A
Lc	88.616667 f	3.525 A	-	0.00 A

* Letras minúsculas teste Scott Knott (1974) com 5% probabilidade entre os modelos.

** Letras maiúsculas teste Tukey entre médias de regiões do mesmo emissor com 5% probabilidade.

Analizados os dados relacionados ao período inicial e o final, em cada bloco do experimento gerou uma média percentual das vazões entre os modelos. Durante o experimento, a instalação hidráulica e os tubos emissores ficaram susceptíveis quando o equipamento desligava em um intervalo de 16 horas, isto durante todos os dias da semana e também intervalos de 64 horas, nos finais de semana. Durante a parada, ocorreu deposição dos grãos que estavam em suspensão no fluxo. O sistema foi desligado após oito horas de trabalho contínuo, e conseqüentemente ocorreu homogeneização de todo o sistema hidráulico, e não teria como afirmar, se tal fenômeno poderia contribuir para obstrução dos emissores.

Regiões próximas dos tubos de alimentação podem ter formados vias preferenciais de alta concentração de sílica na alimentação do sistema hidráulico, ocorrendo maiores níveis de obstrução dos emissores, o que tornou o tratamento aplicado mais intensivo. As parcelas que

ocorreram completa obstrução estão com o fundo quadrado em cinza, e com sublinhado em negrito quando ocorreu obstrução parcial das amostras (Tabela 4.49).

Tabela 4.49 – Mapeamento de parcelas que sofreram total obstrução (fundo cinza) ou obstrução parcial dos emissores* (negrito e sublinhado) durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Blocos	B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
	Eb	Hc	Hc	<u>Gc</u>	Gc	Eb	Gb	A	A	<u>Gb</u>	Db	Db	Fb	Hb	Hb	Fb	Dc	Dc
	Fc	Bb	<u>Bb</u>	Jb	Jb	Fc	Jc	Bc	Bc	Jc	Lc	Lc	Ec	C	<u>C</u>	Ec	Kb	Kb
	I	<u>Kc</u>	<u>Kc</u>	<u>Lb</u>	Lb	I	C	Kb	Kb	C	Ec	Ec	Lc	Jc	Jc	Lc	Bc	Bc
	Gb	Db	Db	<u>A</u>	<u>A</u>	<u>Gb</u>	Hb	Dc	Dc	Hb	Fb	<u>Fb</u>	Bb	Fc	Fc	Bb	<u>Jb</u>	<u>Jb</u>
	<u>Jc</u>	Lc	Lc	<u>Bc</u>	<u>Bc</u>	Jc	Eb	<u>Gc</u>	Gc	Eb	Hc	Hc	Kc	I	I	Kc	Lb	Lb
	C	Ec	Ec	<u>Kb</u>	Kb	C	Fc	Jb	Jb	Fc	<u>Bb</u>	Bb	Db	<u>Gb</u>	Gb	<u>Dh</u>	A	A
	<u>Hb</u>	<u>Fb</u>	Fb	Dc	Dc	<u>Hb</u>	I	Lb	<u>Lb</u>	I	Kc	Kc	Hc	Eb	<u>Eb</u>	Hc	<u>Gc</u>	Gc
Qf	429	462	462	443	443	429	429	443	443	429	462	462	462	429	429	462	443	443

* Valor acima de 50% das amostragem de emissores com obstrução total.

Outro fator que possa ter ocorrido foi o favorecimento de alguns modelos de emissores ao terminar o ensaio observou a obstrução parcial ou completa dos orifícios dos emissores reduzindo suas vazões devido às localizações destes tubos quanto à altura ou quanto a sua posição no *mainfold*. As menores distâncias percorridas pelo fluxo da saída da motobomba até a entrada dos tubos emissores dependeram também dos tipos de acessórios hidráulicos e quantidade que foram utilizados na montagem, gerando caminhos com diferentes comprimentos de tubulação.

Este inconveniente poderia ser evitado se fosse transformado em um sistema homogêneo de acionamento variável com o tempo, que seria uma forma para uma metodologia de norma técnica para o ensaio de resistência ao entupimento dos emissores.

Adin e Sacks (1991) citam que as taxas de entupimentos são afetadas mais pelo tamanho das partículas do que pelas densidades das partículas. Em alguns casos, devido ao fato de aumentarmos as concentrações, ocorreram conseqüentemente, maiores índices de entupimentos.

Para analisar o comportamento dos modelos de emissores entre as suas repetições, compararam-se as parcelas de mesmos modelos de tubos emissores entre blocos (Tabela 4.50).

Tabela 4.50 – Valores das Vazões Médias (%) de bloco durante o ensaio e a Análise pelo teste Scott Knott (1974)* em letras minúsculas, comparando diferença dos mesmos modelos entre os Blocos durante o ensaio de resistência ao entupimento (2012)

Modelos	Blocos					
	1	2	3	4	5	6
A*	59,81 a	102,77 b	85,6 b	65,67 a	103,28 c	87,87 b
Bb*	95,01 c	98,70 c	85,44 b	87,54 b	97,86 c	74,13 a
Bc*	118,71 a	133,83 b	138,59 b	117,5 a	128,96 b	128,93 b
C*	52,97 a	59,30 a	72,97 c	64,84 b	67,74 b	73,73 c
Db*	101,27 c	94,57 b	68,60 a	88,13 b	108,44 c	97,30 b
Dc*	137,6 c	132,83 b	136,14 c	130,25 a	134,13 b	127,64 a
Eb*	69,34 d	34,54 a	35,17 a	72,97 d	55,44 c	47,09 b
Ec ^{NS}	89,63 a	89,78 a	89,53 a	91,50 a	92,81 a	97,37 a
Fb*	54,97 a	54,97 a	89,09 c	101,51 c	89,09 c	100,04 c
Fc*	86,86 a	87,91 a	88,76 a	93,66 b	88,21 a	86,83 a
Gb*	63,33 c	58,34 c	56,19 c	36,67 a	57,40 c	45,29 b
Gc*	71,31 b	49,37 a	70,90 b	65,40 b	55,97 a	70,74 b
Hb*	46,50 a	37,00 a	94,80 c	47,73 a	59,90 b	105,89 c
Hc*	71,99 b	68,07 a	71,49 b	70,23 b	67,44 a	73,07 b
I*	94,07 b	98,63 b	93,39 b	68,93 a	111,77 b	95,19 b
Jb*	52,77 b	42,39 b	35,77 a	45,33 b	28,54 a	36,07 a
Jc*	80,47 a	88,43 b	77,37 a	82,81 a	82,39 a	83,17 a
Kb*	54,40 d	28,59 a	44,39 c	33,50 b	37,54 b	42,80 c
Kc*	53,29 c	32,30 a	62,54 d	43,33 b	32,93 a	46,98 c
Lb*	93,29 c	45,47 a	71,17 b	91,59 c	98,53 c	55,43 a
Lc*	120,37 a	119,90 a	120,63 a	129,16 c	128,01 c	123,00 b

* Teste Scott Knott com 5% probabilidade.

NS - não significativo

Os emissores analisados diferiram com relação aos níveis de diferenciação de vazão média ao longo dos ensaios observados entre os Blocos de Ensaios.

- Emissores com 1 nível de diferenciação entre os 6 Blocos : Ec.
- Emissores com 2 níveis de diferenciação entre os 6 Blocos : Bc, Fc, Gc, Hc, I, Jb, Jc.
- Emissores com 3 níveis de diferenciação entre os 6 Blocos : A, Bb, C, Db, Dc, Fb, Gb, Hb, Lb, Lc.
- Emissores com 4 níveis de diferenciação entre os 6 Blocos : Eb, Kb e Kc.

Quanto ao tema discutido, observou-se em comparação, a geometria externa dos emissores não definiu o nível de desempenho de resistência ao entupimento dos tubogotejadores por particulados sólidos: emissores do tipo pastilha (modelos mais novo) nem sempre apresentaram desempenho superior ao dos emissores cilíndricos (modelos mais antigos).

Ao verificar as diferenças significativas entre as médias observadas de acordo com as

amostragens se localizava na estrutura hidráulica, situação que poderia minimizar os erros experimentais do ensaio, forma que seja necessária à utilização de *mainfold automatizado* aprimorado de recursos tecnológicos, e seja possível variar continuamente o ponto de entrada de água através de um controle sobre um conjunto de válvulas solenóides acionadas por um controlador lógico programável. As normas de ensaios para resistência ao entupimento de tubogotejadores de irrigação, pelo fato de utilizar particulados sólidos na água, ao adequar-se em *mainfold automatizado*, onde seja possível variar continuamente o ponto de entrada de água através de válvulas solenóides acionadas por um controlador lógico programável.

A utilização de um *mainfold automatizado* aprimorado de recursos tecnológicos, no qual seja possível variar continuamente o ponto de entrada de água através de um controle sobre um conjunto de válvulas solenóides acionadas por um controlador lógico programável, poderia ser uma solução para eliminação do caminhamento preferencial detectado no *mainfold fixo*.

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base na experiência adquirida na condução deste experimento sugere-se três opções de *mainfolds* para a implantação da norma de ensaios de particulados sólidos:

- 1) “*Mainfold* Fixo”: Caso seja feita a opção por esta configuração fixa da bancada de ensaios é preciso que cada modelo de tubogotejador seja posicionado em pontos diferentes do *mainfold*, para que seja possível analisar a faixa de redução de vazão que os emissores ensaiados estarão sujeitos no campo. A princípio poderia-se manter o número de 6 blocos como uma amostragem recomendável para este tipo de ensaio.

Desvantagem: O número de emissores a ser ensaiado será maior (6 Blocos) aumentando o tempo laboratorial dos ensaios de vazão.

Vantagem : Possibilidade de se analisar o comportamento dos emissores em níveis variados de particulados sólidos (caminhamento preferencial), de modo a ter uma visão mais realista do que poderá ocorrer em campo com os emissores.

- 2) “*Mainfold* Variável”: Caso seja feita a opção por esta configuração variável do ponto de abastecimento no *mainfold* na bancada de ensaios, poder-se-ia pensar em diminuir para 3 blocos a amostragem deste ensaio.

Desvantagens: a) Custo mais elevado da implantação do *mainfold* com ponto de alimentação variável, b) Impossibilidade de se analisar o comportamento dos emissores em níveis variados de particulados sólidos (caminhamento preferencial), resultando em uma visão menos abrangente do que poderá ocorrer em campo com os emissores.

Vantagem: Menor tempo laboratorial na condução dos ensaios de vazão (3 Blocos).

- 3) “*Mainfold* Fixo com Composição de Tubos ”: O que se imagina nesta proposta é a utilização do “*mainfold* fixo”, combinando em cada saída pelo menos 3 segmentos de tubogotejadores dispostos em série.

Desvantagem: Um discreto maior trabalho na montagem das linhas gotejadoras na bancada de ensaios.

Vantagem: a) O número de emissores a ser ensaiado poderá ser menor (4 Blocos) diminuindo o tempo laboratorial dos ensaios de vazão, b) Possibilidade de se analisar o comportamento dos emissores em uma quantidade maior de níveis variados de particulados sólidos (caminhamento preferencial), de modo a ter uma visão mais realista do que poderá ocorrer em campo com os emissores em condições adversas e c) menor custo de implantação do *mainfold fixo* quando comparado ao *mainfold variável*.

A princípio somente a Opção (1) foi aqui analisada experimentalmente em profundidade. As demais opções são apenas sugestões e deverão ser confirmadas em ensaios de laboratório antes de serem recomendadas como padrões a serem utilizados na Norma Técnica de Resistência de Gotejadores ao Entupimento por Particulados Sólidos.

6 CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi conduzido, pode-se concluir que a Norma Técnica aqui proposta de Resistência de Gotejadores ao Entupimento por Particulados Sólidos, deva levar em consideração os seguintes aspectos:

- Confirmou-se a hipótese inicial (1) do trabalho de que houve influência significativa quanto à posição dos emissores planos (tipo pastilha) dentro do tubo voltado para cima ou para baixo na resistência ao entupimento dos tubogotejadores analisados. Quando o emissor foi instalado com o orifício para baixo, ocorreram maiores índices de entupimento por particulados sólidos, comparados aos mesmos tipos de emissores com o orifício voltado para cima. A norma deve especificar que os emissores sejam testados em ambas as condições de posicionamento;
- Confirmou-se a hipótese inicial (2) do trabalho de que o sistema hidráulico do **mainfold fixo** da bancada de ensaios de grande porte propicia o caminhamento preferencial dos particulados sólidos em suspensão durante o ensaio, influenciando os resultados obtidos de resistência ao entupimento dos emissores. A norma deve especificar que os emissores sejam testados em diferentes posições no **mainfold fixo**, de modo a assegurar condições de igualdade para comparação do desempenho entre diferentes emissores. Um mínimo de 6 posições é sugerido para cada tipo de emissor;
- Emissores de menor vazão (1,0 - 1,7 l/h) foram mais susceptíveis ao entupimento por particulados sólidos, quando comparado aos gotejadores de maiores vazões (2,0 - 3,5 l/h).
- Configurações variáveis dos gotejadores ensaiados (*lay-out* / design), apresentaram resistência diferenciada ao entupimento com relação à aplicação de particulado sólido na água de irrigação, demonstrando a importância de se desenvolver um processo de normatização

para caracterização do desempenho destes emissores em condições adversas de operação que possam ocorrer no campo.

REFERÊNCIAS

ABNT. Equipamentos de irrigação agrícola — **Emissores e tubos emissores — Especificação e métodos de ensaio**, ABNT NBR ISO 9261, 2005.

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

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

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa; UFV, Imprensa Universitária, 2006. 656p.

BURT, C.; O'CONNER, K.; RUEHR, T. **Fertigation**. California Polytechnic State Univ.San Luis Obispo, California, 1998. 295p.

BUCKS, A.D.; NAKAYAMA, F.S.; GILBERT, R.G. Trickle Irrigation Water Quality And Preventive Maintenance. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n.2, p.149-162, 1979.

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

CSEI/ABIMAQ Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da ABIMAQ. **Revista ITEM**, Brasília, n.87, 6p, 2010.

CHRISTOFIDIS, D. Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos. In: THEODORO, S.H. (Org). **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Brasília: Garamont, 2002. 92p.

CLARK, G.A.; HAMAN, D.Z.; PROCHASKA, J.F.; YITAYEW, M. General System Design Principles. In: LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. (Ed.). **Microirrigation for Crop Production**. Design, Operation, and Management. Amsterdam; Elsevier, 2007. 161–220p.

COELHO, R.D.; ALVARENGA, L.A.; RESENDE, R.S.; TEIXEIRA, M.B.; SÁ, J.S. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica, **Irriga**, Botucatu, v.12, n.1, p.108-122, jan-mar, 2007.

COELHO, R.D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 234p. (Livre-Docência), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Departamento de Engenharia Rural, Piracicaba, 2007.

DIAS, N.S.; OLIVEIRA, M.V.A.M.; COELHO, R.D. Resistência de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de cálcio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003. Goiânia-GO: CONBEA, 2003.1CDROM.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p.67–79, 2009.

ENOCH, H.Z.; OLESEN, J.M. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. **New Phytology**, Cambridge, v.125, n.54, p.249-258, 1993.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, p. 11-17, 1994.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FARIA, L. do A.; CARVALHO, J. de A.; REZENDE, F.C. ; CALDAS, A.L.D.; NAKASONE, M.V.; MORAIS, A.R. de. Produção do maracujazeiro-amarelo (*Passiflora edulis* Sims F. *flavicarpa* Deg.) Irrigado em diferentes ambientes de cultivo na entressafra. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, CONIRD 20., 1010. Uberaba-MG, **Anais...** Uberaba-MG, 2010. p.69.

FARIA, L. do A.; COELHO, R.D.; SILVA, R.M. da; FRIZZONE, J.A. Rugosidade superficial interna de distintos tubogotejadores de polietileno usados em irrigação localizada In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, CONIRD, 20.,2010. Uberaba-MG. **Anais...** Uberaba-MG, 2010. p.55.

FARIA, L. do A.; SIQUEIRA, W da C.; LIMA, E.M. da C.; GOMES, L.A.A.; REZENDE, F.C. Crescimento do meloeiro (*cucumis melo* l.) cultivado em ambiente protegido e irrigado por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA SBEA, 35., 2006. João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2006. p.37.

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

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F.; ADAMSON, K.C. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n.3, p.159-178, 1981.

GIRÃO, E.G.; ANDRADE, E.M.; ROSA, M.F.; ARAÚJO, L.F.P.; MEIRELES, A.C.M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.38, n.1, p.17-24, 2007.

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982. v. 1, 302 p.

HILLS, J.D.; NAWAR, F.M.; WALLER, P.M. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity. **American Society of Agriculture Engineering**: St. Joseph, v.32, n. 4. p. 1202-1206, 1989.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. S.1: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

JAMES, L.G.; KING, B.A. Predicting sediment deposition patterns in pipes with diminish flow. **Transactions of ASAE**, St. Joseph, v.27, n.6, p. 1758-1762, 1984.

LEITE, C.A.P. **Dinâmica e reatividade de superfícies de poli (dimetilsiloxano)s**. 1994. 118 p. Tese (Doutorado na área de Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1994.

LEITE, J.A.O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. Lavras, 64p. Dissertação (Mestrado Departamento de Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, 1995.

MEDEIROS, P.R.F. de; COELHO, R.D.; BARROS, A.C.; MELO, R.F. de. Dinâmica do entupimento de gotejadores em função da aplicação de carbonato de potássio. **Irriga**, Botucatu, v.3 n.2, p.288 - 297, 2008.

NAKAYAMA, F.S.; BOMAN, B.J.; PITTS, D.J. Maintenance. In: LAMM, F.R.; AYARS, J.E.; NAKAYAMA, F.S. (Ed.), **Microirrigation for Crop Production**. Design, Operation, and Management, Amsterdam, 2007. p.389–430.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Emitter Clogging Effects on Trickle Irrigation Uniformity. **American Society of Agriculture Engineering**: St. Joseph. v.24, n.4, p.77-80, 1981.

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

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

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

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v.13, p.129-39, 1992.

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

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

RESENDE, R.S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejamento enterrado na irrigação de cana-de-açúcar**. 124 p. Tese (Doutorado Departamento de Engenharia Rural) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

RIBEIRO, T.A.P.; PATERNIANI, J.E.S. Microaspersores entupidos devido a problemas de ferro na água. **Cienc. Rural, Santa Maria**, v. 38, n. 5, Aug. 2008. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000500042&lng=en&rm=iso>. access on 17 Aug. 2010. doi: 10.1590/S0103-84782008000500042.

SCHWANKL, L.J.; PRICHARD L.T. Clogging of buried drip irrigation systems, **California Agriculture**, Oakland, v.44, n.1, p.100, 1990.

SCHWANKL, L.J.; HANSON, B.R.. Surface Drip Irrigation. In: LAMM, F.R., AYARS, J.E., NAKAYAMA, F.S. (Eds.), **Microirrigation for Crop Production**. Design, Operation, and Management. Amsterdam, 2007. 431–472p.

SIQUEIRA, W da C.; FARIA, L. do A.; LIMA, E.M. da C.; REZENDE, F.C.; GOMES, L. A.A.; CUSTÓDIO, T.N. Qualidade de frutos de melão amarelo cultivado em casa de vegetação sob diferentes lâminas de irrigação, **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n. 4, p. 1041-1046, jul./ago.2009.

SMAJSTRLA, A.G.; BOMAN, J. **Flushing Procedures for microirrigation systems**. University of Florida, IFAS, Ext. Pub. AE-98-6, 1998. 7p.

SOLOMON, K. **Manufacturing variation of emitters in trickle irrigation systems**. ASAE, ASAE, St. Joseph, MI 49085, 1977. Paper n.77-2009.

TEIXEIRA, M.B. **Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. 322p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TESTEZLAF, R. Filtros de areia aplicados à irrigação localizada: teoria e prática, artigo de revisão, **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.604-613, jul./set. 2008.

VIEIRA G.H.S. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.1-6, 2004.

WANG, J. Theory of flow distribution in mainfolds. **Chemical Engineering Journal**, Lausanne, v.168, Issue 3, p.1331-1345, 2011.

WU, I.P.; BARRAGAN, J.; BRALTS, V.F. Field Performance and Evaluation. In: LAMM, F.R., AYARS, J.E., NAKAYAMA, F.S. (Ed.). **Microirrigation for crop production**. Design, Operation, and Management. Amsterdam: Elsevier, 2007. p. 357–387.

ANEXO A

Proposta de Norma Técnica

1. Objetivo

Esta norma especifica métodos de ensaio para emissores e tubo emissores para equipamentos de irrigação agrícola, para quantificar a resistência dos emissores ao entupimento de particulados sólidos em suspensão utilizando dióxido de silício (SiO_2), conforme requisitos de metodologia. É aplicada a tubos emissores instalados em sistemas hidráulicos de distribuição de água para irrigação, operando conforme requisitos de metodologia.

2 Referencia normativa

A norma relacionada a seguir é indispensável para à aplicação deste documento.
NBR 9261.

3 Termos e definições

Para os efeitos desta Norma aplicam-se os seguintes termos e definições.

Termos 3.1 a 3.14, conforme NBR 9261.

3.1 Emissor

Dispositivo instalado numa lateral de irrigação e projetado para descarregar água na forma de gotas ou fluxo contínuo, à vazão que não exceda 24 L/h exceto durante o processo de lavagem.

3.2 Emissor in-line

Emissor projetado para instalação entre dois trechos de tubo em uma lateral de irrigação.

3.3 Emissor on-line

Emissor projetado para instalação na parede de uma lateral de irrigação, quer direta ou indiretamente, por meios como microtubo.

3.4 Emissor de múltiplas saídas

Emissor no qual a vazão é dividida e direcionada de forma distinta a vários pontos diferentes.

3.5 Emissor múltiplo

Emissor de múltiplas saídas no qual cada saída é um emissor secundário com sua própria vazão

NOTA A relação de pressão ($q = kpm$) e a vazão de cada saída não é geralmente dependente da vazão de outros emissores.

3.6 Tubo emissor

Tubo contínuo ou microtubo, incluindo tubo colapsável ("fita") com perfurações ou outros dispositivos hidráulicos modelados ou integrados no tubo, tubo colapsável ou microtubo durante a produção, e projetados para descarregar água na forma de gotas ou fluxo contínuo, a vazões que não excedem 24 L/h, exceto durante processo de limpeza.

3.7 Emissor/tubo emissor regulado

Emissor/tubo emissor compensador de pressão, emissor/tubo emissor que mantém uma vazão relativamente constante a pressões variadas de água na entrada do emissor/tubo emissor dentro dos limites especificados pelo fabricante.

3.8 Emissor/tubo emissor regular

Emissor/tubo emissor cuja vazão é diferente de zero, quando a pressão de entrada for diferente de zero.

3.9 Emissor/tubo emissor antidrenante

Emissor/tubo emissor cuja vazão é zero sempre que a pressão na entrada do emissor/tubo emissor é mais baixa que um valor (diferente de zero) declarado pelo fabricante.

3.10 Emissor/tubo emissor não regulado

Emissor/tubo emissor não compensador de pressão, emissor/tubo emissor cuja vazão varia com pressão de água de entrada.

3.11 Vazão

Taxa de emissão de um emissor ou tubo emissor.

3.12 Pressão nominal de ensaio

p_n - pressão de referência, a ser usada para fins de ensaio, 150 kPa ou 146,952 kPa, na entrada de um emissor/unidade emissora não regulado(a), ou qualquer outra pressão, como designado nas publicações do fabricante.

3.13 Vazão nominal

qn - (emissor/tubo emissor não regulado) vazão, expressa em litros por hora, de um emissor/unidade emissora operando na pressão nominal de ensaio e a uma temperatura de água de $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$, como especificado pelo fabricante.

3.14 Vazão nominal

qn - (emissor/tubo emissor regulado) vazão, expressa em litros por hora, de um emissor/unidade emissora operando dentro da faixa de regulação e a uma temperatura de água de $(23 \pm 3)^\circ\text{C}$, como especificado pelo fabricante.

4 Denominação e atributos dos emissores

A Classificação, Marcação, tipo do Emissor, Dimensões, Construção e Materiais, Conforme NBR 9261.

5 Bancada de Testes

Executar o ensaio em local fechado, evitar contaminações externas, utilizando bancada de testes com estrutura e calhas metálicas, conjunto motobomba e reservatório de água com sílica.

Figura 1 – Vista aérea da Bancada Ensaio (representa uma seção horizontal de ensaios), com opção de seções dispostas verticalmente, todas controladas por sistemas de válvulas eletrônicas e multiplexador.

6 Execução do ensaio

6.1 Dióxido de silício

Utilizar dióxido de silício peneirado em 3 faixas de granulometrias em duas concentrações, divididos em 7 em etapas, o condicionamento conforme ABNT 9261 e 6 etapas de 80 horas.

6.2 Cronograma

Executar o ensaio e as avaliações conforme Cronograma 6.2, realizar a troca completa da solução água e SiO₂, conforme cronogramas Tabela 6.2 e 6.3.

Tabela 6.2 Cronograma do Ensaio de Resistência ao Entupimento de Gotejadores: particulados sólidos em suspensão

Tempo	(horas)	0*	80	160	240	320	400	480
Avaliações	(nº)	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a
Concentração	(ppm)	0	125	125	125	500	500	500
Areia Média	(mm)	-	-	-	0,25-0,5	-	-	0,25-0,5
Areia Muito Fina	(mm)	-	-	0,1-0,25	-	-	0,1-0,25	-
Areia Muito Fina	(mm)	-	0,05-0,1	-	-	0,05-0,1	-	-

*Após condicionamento conforme Norma ABNT NBR ISO 9261 (2005).

As avaliações conforme Cronograma 6.3.

Tabela 6.3 Cronograma do Ensaio de Resistência ao Entupimento de Gotejadores: particulados sólidos em suspensão

Tempo de Ensaio (horas)	Concentração (ppm)	Granulometria (mm)
T ₁ = 0 (vazão nominal)	0	0
T ₂ = 80 (10 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,05 - 0,1
T ₃ = 160 (20 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,1 - 0,25
T ₄ = 240 (30 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	125	0,25 - 0,5
T ₅ = 320 (40 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,05 - 0,1
T ₆ = 400 (50 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,1 - 0,25
T ₇ = 480 (60 dias de ensaio 8 horas.d ⁻¹)	500	0,25 - 0,5

6.4 Monitoramento

Monitorar a pressão de serviço de 150kPa e temperatura de água de (23 ± 3)°C próxima à entrada dos emissores. Se ocorrerem variações a pressão de entrada desejada por mais de 10 kPa durante sua elevação e queda, retornar à pressão zero e repetir o ensaio.

A precisão dos dispositivos de medição segue conforme a NBR 9261.

7 Amostras

A amostragem deve incluir 60 emissores divididos em 6 parcelas de tubos emissores. Para tubos emissores, assegurar-se de que a amostra não tenha sido tomada de seções adjacentes do tubo e que não contenha a primeira ou a última unidade emissora do lote.

8 Métodos de Ensaio e Requisitos

Para medições individuais da vazão coletada dos gotejadores com o uso de coletores por um período de tempo de 6 minutos. Utilizar o método gravimétrico através de balança certificada para a determinação da massa coletada de cada emissor, expressando-se os valores de vazão em $L \cdot h^{-1}$, Equação (1).

$$qi = \frac{m}{100} \quad (1)$$

Em que:

m – massa das amostras de água, (g);
 qi – Vazão do emissor, ($L \cdot h^{-1}$);

8.1 Cálculos

As determinações de valores percentuais de entupimento dos grupos de amostras de emissores através das seguintes equações;

Para Cálculo do Desvio Padrão utiliza a Equação (2);

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (qi - qm)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que:

s – Desvio padrão da vazão média do emissor, ($L \cdot h^{-1}$);
 qi – Vazão do emissor, ($L \cdot h^{-1}$);
 qm – Vazão média dos emissores, ($L \cdot h^{-1}$);

Utilizar o Coeficiente Variação (CV), conforme Equação (3).

$$CVf = \frac{s}{q} \cdot 100 \quad (3)$$

Em que:

- CV_f – Coeficiente de variação de fabricação, (%);
 s – Desvio padrão da vazão média do emissor, (L.h⁻¹);
 q – Vazão média dos emissores, (L.h⁻¹);

Para a determinação do grau de entupimento dos emissores utilizarem Equação (4);

$$q_{var} = \frac{q_{máx} - q_{min}}{q_{máx}} \quad (4)$$

Em que:

- q_{var} – Vazão variável, (%);
 $q_{máx}$ – Vazão máxima dos emissores, (L.h⁻¹);
 q_{min} – Vazão mínima dos emissores, (L.h⁻¹);

ANEXO B

Monitoramento da Concentração com Filtro de papel						
		Peso	Peso Total **	Peso Sílica	Volume Solução	Concentração
	Data	(g)	(g)	(g)	(L)	(ppm)
1° semana	4/jul	1,63	1,77	0,14	1,21	113
	5/jul	1,61	1,74	0,13	1,3	97
	6/jul	1,61	1,76	0,15	1,62	93
	7/jul	1,63	1,76	0,13	1,5*	83
	8/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	91
2° semana	11/jul	1,63	1,75	0,12	1,5	82
	12/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	92
	13/jul	1,62	1,77	0,15	1,5	102
	14/jul	1,61	1,74	0,13	1,5	116
	15/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	109
3° semana	18/jul	1,61	1,76	0,15	1,5	114
	5/jul	1,61	1,74	0,13	1,5	116
	6/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	104
	7/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	123
	8/jul	1,63	1,76	0,13	1,5	117
4° semana	25/jul	1,62	1,77	0,15	1,5	109
	5/jul	1,63	1,75	0,12	1,5	113
	6/jul	1,63	1,75	0,12	1,5	121
	7/jul	1,61	1,74	0,13	1,5	118
	8/jul	1,62	1,76	0,14	1,5	119
5° semana	1/ago	1,62	1,76	0,14	1,5	126
	2/ago	1,63	1,76	0,13	1,5	111
	3/ago	1,62	1,77	0,15	1,5	121
	4/ago	1,61	1,74	0,13	1,5	116
	5/ago	1,63	1,75	0,12	1,5	119
6° semana	8/ago	1,63	1,76	0,13	1,5	103
	9/ago	1,61	1,74	0,13	1,5	118
	10/ago	1,63	1,75	0,12	1,5	114
	11/ago	1,63	1,75	0,12	1,5	122
	12/ago	1,62	1,77	0,15	1,5	118

* Padronização do volume de amostragem para 1,5L, Materiais e Métodos.

** Balança de precisão certificada (INMETRO)

Monitoramento da Concentração de Dióxido de Silício (SO ₂) com Filtro de papel						
	data	Peso (g)	Peso Total (g)	Peso Sílica (g)	Volume Solução (L)	Concentração (ppm)
7º semana	10/out	1,61	2,33	0,72	1,5	481
	11/out	1,62	2,36	0,74	1,5	496
	12/out	1,62	2,35	0,73	1,5	487
	13/out	1,63	2,35	0,72	1,5	479
	14/out	1,62	2,34	0,72	1,5	483
8º semana	17/out	1,63	2,38	0,75	1,5	499
	18/out	1,62	2,37	0,75	1,5	502
	19/out	1,61	2,33	0,72	1,5	477
	20/out	1,63	2,37	0,74	1,5	496
	21/out	1,61	2,34	0,73	1,5	488
9º semana	24/out	1,63	2,37	0,74	1,5	495
	25/out	1,61	2,33	0,72	1,5	478
	26/out	1,63	2,38	0,75	1,5	498
	27/out	1,62	2,33	0,71	1,5	472
	28/out	1,61	2,35	0,74	1,5	493
10º semana	31/out	1,61	2,34	0,73	1,5	487
	1/nov.	1,63	2,36	0,73	1,5	489
	2/nov.	1,61	2,35	0,74	1,5	492
	3/nov.	1,61	2,34	0,73	1,5	487
	4/nov.	1,63	2,38	0,75	1,5	499
11º semana	7/nov.	1,62	2,36	0,74	1,5	491
	8/nov.	1,63	2,38	0,75	1,5	502
	9/nov.	1,62	2,36	0,74	1,5	495
	10/nov.	1,63	2,38	0,75	1,5	498
	11/nov.	1,63	2,37	0,74	1,5	491
12º semana	14/nov.	1,63	2,37	0,74	1,5	492
	15/nov.	1,61	2,33	0,72	1,5	480
	16/nov.	1,63	2,36	0,73	1,5	489
	17/nov.	1,63	2,37	0,74	1,5	493
	18/nov.	1,62	2,35	0,73	1,5	487

* Padronização do volume de amostragem para 1,5L, Materiais e Métodos.

** Balança de precisão certificada (INMETRO)

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

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

Fonte Teixeira (2007).

Estatística

Não se utilizou de regressão na análise de variância, fato da não adequação da equação gerada no ensaio. Cada modelo que foi testado, em cada mudança de tratamento de sílica, cada 80 horas, não houve substituição dos modelos testados por modelos novos e necessariamente condicionados conforme NBR.

Esta Norma que esta sugerida foi adequada ao ensaio da CEMAGREF como já citada, e cujo interesse maior nas avaliações seria os pontos iniciais e finais de vazão por tempo para cada amostra em cada etapa do ensaio. Na forma tradicional exigiria que houvesse conjuntos de reservatórios, bombas e tubogotejadores independentes para cada tratamento de sílica, assim elevaria necessidade de recursos como, mão de obra, materiais de ensaio, energéticos e tempo.

Adotou um delineamento Blocos Não Casualizados, em esquema fatorial, com utilização dos testes “F” para análise de variância e Scott Knott, a 5% de significância, para comparação de médias.

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

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

Tabela – Análise de variância para testar a significância da regressão

Fontes de Variação	Soma dos quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F
Regressão	$SQ_R = \beta_1 S_{XY}^*$	1	$QM_R = SQ_R / GL$	QM_R / QM_E
Erro	$SQ_E = SQ_T - \beta_1 S_{XY}$	n-2	$QM_E = SQ_E / GL$	
Total	$SQ_T = SQ_R + SQ_E$	n-1		

* S_{XY} é o numerador da eq.: $Y = \beta + \beta_1 X + \lambda$, sendo $Y = \ln T$ (tempo de ensaio), $\beta = \ln \beta_0$, $X = \ln q$ (q vazão do gotejador) e $\lambda = \ln \phi$.

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

Sendo para determinar a existência de relação significativa entre a variável dependente (T – tempo de ensaio), e a variável explicativa, ou independente (Q – Vazão do gotejador), com as seguintes hipóteses:

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

$H_0 : \beta_1 \neq 0$ (existe relação potencial entre T e Q)

Bloco 1			Bloco 2			Bloco 3		
I	II	III	II	III	I	III	I	II
i Hc	Gc	Eb	iv A	Gb	Db	vii Hb	Fb	Dc
ii Bb	Jb	Fc	v Bc	Jc	Lc	vi C	Ec	Kb
iii Kc	Lb	I	vi Kb	C	Ec	v Jc	Lc	Bc
iv Db	A	Gb	vii Dc	Hb	Fb	ii Fc	Bb	Jb
v Lc	Bc	Jc	i Gc	Eb	Hc	iii I	Kc	Lb
vi Ec	Kb	C	ii Jb	Fc	Bb	iv Gb	Db	A
vii Fb	Dc	Hb	iii Lb	I	Kc	i Eb	Hc	Gc

Bloco 4			Bloco 5			Bloco 6		
III	I	II	III	II	I	I	III	II
i Eb	Hc	Gc	iv Gb	A	Db	vii Fb	Hb	Dc
ii Fc	Bb	Jb	v Jc	Bc	Lc	vi Ec	C	Kb
iii I	Kc	Lb	vi C	Kb	Ec	v Lc	Jc	Bc
iv Gb	Db	A	vii Hb	Dc	Fb	ii Bb	Fc	Jb
v Jc	Lc	Bc	i Eb	Gc	Hc	iii Kc	I	Lb
vi C	Ec	Kb	ii Fc	Jb	Bb	iv Db	Gb	A
vii Hb	Fb	Dc	iii I	Lb	Kc	i Hc	Eb	Gc

Figura - Esquema com a separação por Blocos, Algarismos Romanos em Maiúsculas representam as Colunas e Algarismos Romanos Minúsculos representam as linhas

Tabela – Calibração do manômetro de Bourdon utilizado no monitoramento da pressão de em ensaio, utilizando um manômetro tipo de peso morto

Pressão (kgf/cm ²) manômetro tipo peso morto	Leitura de Pressão (kgf/cm ²) Manômetro Bourdon
1	1,0
1,5	1,5
2	2,0
2,5	2,5
3	3,0
3,5	3,55
4	4,05

Figura 14 – Calibração do variador de frequência utilizado no agitador, amperagem por rotação do eixo da hélice

Características Físico Químicas da sílica

Propriedades do quartzo massa específica 2650 kg.m^{-3} , ponto de fusão 1830°C , condutividade térmica $1,3 \text{ W.(m.K)}^{-1}$, coeficiente de expansão térmica $1,23 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, resistência à compressão 2070 MPa , coeficiente de Poisson $0,17$, módulo de elasticidade 70 MPa , resistividade $10^{12} \text{ a } 10^{16} \text{ ohm.m}^{-1}$, permissividade $3,8 \text{ a } 5,4$, capacidade dielétrica $15 \text{ a } 25 \text{ kV.mm}^{-1}$.

Propriedades da sílica fundida: massa específica 2200 kg/m^{-3} , ponto de fusão 1830°C , condutividade térmica $1,4 \text{ W.(m K)}^{-1}$, coeficiente de expansão térmica $0,04 \cdot 10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$, calor específico 740 J(kg.K)^{-1} , resistência à compressão $700 \text{ a } 1400 \text{ MPa}$, coeficiente de Poisson $0,165$, módulo de elasticidade 73 MPa , resistividade $>10^{18} \text{ ohm.m}$, permissividade $3,8$, capacidade dielétrica $15 \text{ a } 40 \text{ kVmm}^{-1}$.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold*, após condicionamento seguindo norma abnt, às 0 horas, início do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.1.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
97	102	103	108	98	96	96	94	101	94	102	101	99	100	94	105	100	100
102	102	92	98	91	99	102	96	100	100	94	96	101	105	106	94	98	100
106	114	95	88	97	96	101	96	92	101	97	100	99	96	102	102	100	102
104	105	93	108	93	99	101	103	102	101	97	96	99	98	98	102	105	107
107	101	108	101	101	94	107	95	99	102	100	100	99	101	100	106	99	102
96	103	106	112	102	91	103	94	105	100	103	102	101	104	103	99	106	98
102	96	108	98	97	102	101	112	102	96	89	96	98	99	98	97	98	104

Figura B.1 – Vazões Médias (%) Avaliação da 0 hora, inicial do Ensaio.

* Após condicionamento conforme Norma ABNT

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 80 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.2.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
94	100	101	93	100	91	103	95	96	98	95	89	84	107	99	83	96	95
91	120	109	49	99	96	110	104	104	112	94	94	88	99	97	98	98	90
87	101	51	101	96	87	96	41	109	95	93	84	94	103	101	93	110	111
71	80	81	108	108	107	105	99	103	96	88	86	104	96	96	106	111	85
113	104	101	104	108	102	75	69	97	85	94	97	73	80	94	96	99	98
97	92	93	74	52	98	92	103	63	91	108	101	87	100	98	84	98	98
97	96	92	92	98	102	91	102	106	90	23	36	109	96	88	111	95	91

Figura B.2 – Vazões Médias (%) Avaliação das 80 horas.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 160 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.3.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
84	97	84	87	92	82	83	97	96	75	81	82	73	86	69	66	87	85
86	103	95	80	59	83	90	103	85	102	98	96	84	87	85	80	77	86
51	88	60	102	96	75	74	40	42	89	78	80	92	93	106	91	96	104
29	85	72	107	88	79	90	83	85	48	70	52	62	79	76	100	14	31
93	100	97	98	107	87	72	80	77	23	86	93	77	65	70	86	88	104
85	88	84	90	59	79	87	60	24	77	93	95	61	81	77	66	102	103
51	81	86	87	90	90	86	101	92	82	42	43	103	47	64	83	78	86

Figura B.3 – Vazões Médias (%) Avaliação das 160 horas.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 240 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.4.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
71	85	88	80	85	75	70	74	79	79	71	68	66	73	84	56	73	78
80	82	72	87	56	75	82	105	87	101	100	80	79	59	77	73	22	29
55	42	62	85	87	58	82	17	13	45	74	66	90	97	103	92	111	98
40	74	56	28	53	75	60	72	84	10	52	42	27	89	79	60	14	17
103	97	96	94	91	96	81	52	62	23	92	91	38	69	66	86	39	73
55	57	73	65	18	50	84	21	6	81	100	106	63	47	25	46	56	24
38	45	46	86	73	3	73	4	75	74	57	43	90	3	32	88	94	95

Figura B.4 – Vazões Médias (%) Avaliação das 240 horas.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 320 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.5.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
78	94	90	81	57	70	63	77	80	54	64	49	61	64	85	53	74	78
87	83	93	59	64	72	98	104	93	83	5	22	80	74	94	71	8	12
38	27	43	163	159	66	74	13	8	41	75	68	8	88	88	7	100	101
25	67	55	25	46	62	36	78	78	3	55	23	52	79	81	75	55	62
98	90	30	98	91	86	55	40	48	11	84	75	16	62	59	74	49	85
66	56	74	55	5	34	73	59	60	76	102	100	62	36	16	32	60	65
20	30	25	82	76	8	65	0	147	69	24	18	90	1	26	93	75	75

Figura B.5 – Vazões Médias (%) Avaliação das 320 horas.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 400 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.6.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
80	95	86	62	15	55	20	96	87	34	59	35	54	50	85	41	73	85
84	81	108	64	62	62	98	96	106	97	0	33	78	101	93	76	2	1
33	12	42	108	138	70	52	0	8	40	83	77	2	91	86	5	85	113
0	51	48	21	38	55	0	77	80	0	38	0	70	80	81	80	52	11
93	68	3	90	84	77	9	1	21	0	73	75	83	68	68	75	26	14
71	68	74	28	1	18	69	60	59	81	113	103	55	33	11	24	47	71
1	0	14	83	81	2	118	0	149	66	20	0	87	0	16	94	59	57

Figura B.6 – Vazões Médias (%) Avaliação das 400 horas.

As vazões médias das amostras dos tubos emissores conforme a sua posição no *mainfold* às 480 horas do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Figura B.7.

B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
79	85	86	47	47	80	15	88	87	35	74	71	61	59	60	53	78	86
83	95	44	39	18	85	96	104	103	91	0	0	83	73	46	59	0	0
33	26	0	60	20	58	59	0	0	52	67	72	14	87	104	14	94	105
0	58	49	3	2	47	0	84	79	0	11	28	105	64	61	75	42	62
96	0	0	61	64	89	12	30	14	0	68	65	0	60	62	0	0	45
47	86	60	1	0	30	74	61	51	71	66	84	60	50	0	33	76	66
6	1	10	86	75	6	59	0	80	61	2	0	73	0	26	87	53	42

Figura B.7 – Vazões Médias (%) Avaliação Tempo das 480 horas.

As posições das amostras dos tubos emissores conforme posição no *mainfold* às do ensaio de resistência ao entupimento, como podemos ver na Tabela B.8.

Tabela B.1 – Posição dos emissores no *mainfold*.*

Blocos	B4	B1	B4	B1	B4	B1	B5	B2	B5	B2	B5	B2	B6	B3	B6	B3	B6	B3
	E↓	H↑	H↑	G↑	G↑	E↓	G↓	A	A	G↓	D↓	D↓	F↓	H↓	H↓	F↓	D↑	D↑
	F↑	B↓	B↓	J↓	J↓	F↑	J↑	B↑	B↑	J↑	L↑	L↑	E↑	C	C	E↑	K↓	K↓
	I	K↑	K↑	L↓	L↓	I	C	K↓	K↓	C	E↑	E↑	L↑	J↑	J↑	L↑	B↑	B↑
	G↓	D↓	D↓	A	A	G↓	H↓	D↑	D↑	H↓	F↓	F↓	B↓	F↑	F↑	B↓	J↓	J↓
	J↑	L↑	L↑	B↑	B↑	J↑	E↓	G↑	G↑	E↓	H↑	H↑	K↑	I	I	K↑	L↓	L↓
	C	E↑	E↑	K↓	K↓	C	F↑	J↓	J↓	F↑	B↓	B↓	D↓	G↓	G↓	D↓	A	A
	H↓	F↓	F↓	D↑	D↑	H↓	I	L↓	L↓	I	K↑	K↑	Hc	E↓	E↓	H↑	G↑	G↑
Qf(L)	0,429	0,462	0,462	0,443	0,443	0,429	0,429	0,443	0,443	0,429	0,462	0,462	0,462	0,429	0,429	0,462	0,443	0,443

* Setas indica aposição dos emissores pastilha, para cima ou baixo.