

KETSON BRUNO DA SILVA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO
OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CASTANHA DE CAJU SOB
DIFERENTES PRESSÕES DE SERVIÇO**

MOSSORÓ/RN

2012

KETSON BRUNO DA SILVA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO
OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CASTANHA DE CAJU SOB
DIFERENTES PRESSÕES DE SERVIÇO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. D. Sc. Manoel Januário da Silva Júnior

Co-Orientador: Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista

MOSSORÓ/RN

2012

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

Bibliotecária:
Vanessa
de Oliveira
Pessoa

CRB15/45
3

S586d Silva, Ketson Bruno da.
Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da castanha de caju sob diferentes pressões de serviço. / Ketson Bruno da Silva. -- Mossoró, 2012.
68 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

Orientador: Manoel Januário da Silva Júnior.
Co-orientador: Rafael Oliveira Batista.

1. Irrigação por gotejamento. 2. Efluente. 3. Emissores. 4. Obstrução.
I. Título.

CDD: 631.587

KETSON BRUNO DA SILVA

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO
OPERANDO COM ÁGUA RESIDUÁRIA DA CASTANHA DE CAJU SOB
DIFERENTES PRESSÕES DE SERVIÇO**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semiárido - UFERSA, como
parte das exigências para obtenção do título de
Mestre em Irrigação e Drenagem.

APROVADA EM: 03/08/2012

BANCA EXAMINADORA

Prof. D. Sc. Manoel Januário da Silva Júnior – UFERSA
Orientador

Prof. D. Sc. Rafael Oliveira Batista – UFERSA
Co-orientador

Prof. D. Sc. Delfran Batista dos Santos – IF Baiano
Conselheiro

Aos meus pais José Sergio da Silva e Maria Helena Simplício da Silva, pelo amor incondicional, e toda minha família, por representarem o que tenho de mais precioso.

OFEREÇO

Ao meu professor e amigo Rafael Oliveira Batista, a todos os meus amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta me ajudaram na realização deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Em tudo, agradeço primeiramente a Deus. Pelo amor, saúde e paz, não apenas a mim, mas aos meus parentes e amigos. Gloria eterna seja dada ao Supremo Criador dos céus e da terra.

Agradeço ao CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de mestrado, e à UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido) pelas condições fornecidas para a minha formação profissional e, também, como pessoa.

Ao professor Manoel Januário da Silva Júnior, pela orientação e cooperação nas atividades envolvidas neste trabalho. Ação esta que muito ajudou a toda nossa equipe de trabalho. Que Deus abençoe a sua vida.

Ao professor Rafael Oliveira Batista, pela orientação excelente. Um exemplo de cidadão, que nasceu para o ensino e para a pesquisa, de uma humildade e conduta profissional impecável, reconhecido por todos que trabalham ao seu redor. Que Deus abençoe a sua vida, saiba que os seus ensinamentos me acompanharão por onde for. Você é um exemplo para mim, e tenho certeza absoluta que também para todos os seus outros orientados.

Aos meus amados pais, José Sergio da Silva e Maria Helena Simplício da Silva. Pelo amor incondicional, pelas orações, pelo carinho e por todos os incentivos para que eu sempre seguisse em frente. Ao meu irmão Kaio Breno da Silva, pela contribuição nas discussões deste trabalho, e também por estar sempre comigo, o amo demais.

A minha amada esposa Roberta Paula Mendonça de Queiroz, minha companheira incansável de todas as horas. Conquistei muitas coisas graças a ela. Que Deus abençoe sempre o nosso casamento, que foi um presente dado por Ele.

Meus demais parentes, primos e primas, tios e tias. Aos meus avós que tanto admiro. Aos meus amigos fora do ciclo acadêmico.

A empresa AFICEL pelo fornecimento da água residuária, em especial ao Engenheiro Mauro Sales, pela atenção contínua e por se colocar a disposição no que fosse necessário para a condução tranquila desta pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Irrigação e Drenagem, e do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, pelo ensino, instrução e paciência.

Aos meus amigos da universidade, todos os colegas da turma da pós-graduação e do grupo de pesquisa, que ajudaram nas avaliações, entre eles: Sebastião Barbosa Filho, Simone Keily, Raquel Fernandes, Jacineumo Falcão, Laio Ariel.

A Adriana Mendes e a Monalisa Costa, pela participação direta neste trabalho, foi fundamental o trabalho de cada uma objetivando o resultado das amostras da água residuária.

A Fabrícia Gratyelli e Wesley Santos, pelo companheirismo e ajuda nos momentos de maior necessidade.

E um agradecimento em especial ao meu amigo Marcílio Macêdo Torres, uma das pessoas mais inteligentes que conheci no meio acadêmico e profissional. Pessoa de bem, onde com ele muito aprendi.

“É muito melhor arriscar coisas grandiosas, alcançar triunfos e glórias, mesmo expondo-se a derrota, do que formar fila com os pobres de espírito que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem nessa penumbra cinzenta que não conhece vitória nem derrota.”

Theodore Roosevelt

Não existe água suja, existe água que necessita ser tratada. Sujo, é o pensamento de achar que nada pode ser feito, ou de não se importar com as consequências do desperdício de água pelo fato de que não irá vivenciá-las por pensar ser num futuro muito distante, ou mesmo de não se fazer nada para preservar os recursos hídricos presentes no planeta.

RESUMO

SILVA, Ketson Bruno da. **Desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da castanha de caju sob diferentes pressões de serviço**. 2012. 68f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2012.

A cajucultura é uma das maiores atividades agrícolas no cenário nacional, possuindo grande valor econômico para o agricultor, e consequentemente para o agronegócio do país. No nordeste brasileiro existe grande número de indústrias do processamento da castanha do caju, gerando um volume significativo de águas residuárias. Sendo assim, foi realizado o presente trabalho com o intuito de avaliar o desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento operando com água residuária da castanha de caju sob diferentes pressões de serviço. As atividades foram realizadas na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA), localizada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA). Nesse estudo foram ensaiados três tipos de gotejadores (G1, G2 e G3), com diferentes vazões nominais, áreas do orifício e comprimento dos labirintos. Verificou-se, também, as influências das pressões de serviço P1 (70kPa), P2 (140kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa) no entupimento dos gotejadores operando com água residuária gerada no processamento da castanha de caju. Avaliou-se, a cada 20h de funcionamento, o CUC, CUD, CVQ e Q. O experimento foi montado no esquema de parcelas subsubdivididas, no delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os dados foram submetidos às análises de variância e de regressão e teste de média. Os resultados indicaram que a água residuária gerada no processamento da castanha de caju representa risco de obstrução de gotejadores em relação às características pH, cálcio, magnésio, manganês, sólidos suspensos e coliformes totais; a formação de biofilme resultante da interação entre os agentes físico, químico e biológico propiciou entupimento parcial dos gotejadores e, consequentemente, redução na uniformidade de aplicação de efluente das unidades de irrigação; as unidades de irrigação que funcionaram na pressão de serviço P1 (70 kPa) apresentaram maior nível de entupimento de gotejadores em relação àquelas com as pressões de serviço P2 (140 kPa), P3 (210kPa) e P4 (280 kPa); o gotejador G1 foi mais suscetível ao entupimento em relação aos demais, devido ao maior comprimento de labirinto; e o gotejador G1 foi o mais indicado para operação sob a pressão de serviço de P2 (140 kPa), enquanto o gotejador G2 na pressão de P1 (70 kPa) foi a combinação mais adequada.

Palavras-chave: Irrigação por gotejamento, Efluente, Emissores, Obstrução.

ABSTRACT

SILVA, Ketson Bruno da. **Performance of drip irrigation systems operating with wastewater from cashew nuts under different operating pressures.** 2012. 68f. Dissertation (Master's degree in Irrigation and Drainage). Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró, RN, 2012.

The cashew crop is a major agricultural activities on national scene, having great economic value to the farmer, and consequently for the agribusiness the country. In northeastern Brazil there are a great number of processing cashew nut industries, generating a significant volume of wastewater. Thus, the scope of this paper was to evaluate the performance of drip irrigation systems operating with wastewater cashew nuts under different operating pressures. The activities were conducted at the Experimental Unit for Water Reuse (UERA), located in Park Zoobotânico, Universidade Federal Rural do Semi - Arid (UFERSA). In this study we tested three types of emitters (G1, G2 and G3), with different nominal flows, orifice areas and labyrinth length. The influence of operating pressures P1 (70kPa), P2 (140kPa), P3 (210 kPa) and P4 (280 kPa) on emitters clogging operating with cashew nuts wastewater were evaluated. The CUC, CUD, CVQ and Q were determined for each 20h of operating. The experiment was mounted on the split split plot scheme, the design completely randomized design with three replications. The data were subjected to analysis of variance and regression and test average. The results indicated that the cashew nuts wastewater represents risk of drippers clogging for the characteristics pH, calcium, magnesium, manganese, suspended solids and total coliforms; the formation of biofilm resulting from the interaction between the agents physical, chemical and biological provided partial clogging of the emitter and reduction on effluent application uniformity of the units irrigation; the units irrigation under service pressure P1 (70 kPa) had higher drippers clogging in relation the service pressures P2 (140kPa), P3 (210kPa) and P4 (280 kPa); the dripper G1 was more susceptible to clogging compared to the other, due to the greater labyrinth length; and the drip G1 was the most indicated for operation at the operating service pressure P2 (140 kPa), while the drip G2 was most appropriate under pressure service P1 (70 kPa).

Keywords: Drip irrigation, Effluent, Emitters, Clogging.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma do processamento e beneficiamento da castanha de caju, bem como a produção de resíduos líquidos.....	20
Figura 2. Localização da área experimental situada na UERA/UFERSA em Mossoró-RN...	28
Figura 3. Bancada experimental para montagem das unidades de irrigação por gotejamento: reservatório e plataforma em alvenaria (A); e linhas laterais, linhas de derivação, conjunto motobomba, filtro e hidrômetro (B).....	29
Figura 4. Esquema da bancada experimental constituindo as quatro unidades de irrigação por gotejamento operando nas pressões 280 (P4), 210 (P3), 140 (P2) e 70 (P1) kPa, e com os gotejadores G3, G2 e G1.	30
Figura 5. Ilustração dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) utilizados na aplicação da água residuária gerada no processamento da castanha de caju.	30
Figura 6. Ilustração do tanque de armazenagem (A), tanques separadores de LCC (B), ponto de mistura de pó da castanha com LCC (C) e tambores para armazenamento do LCC coletado do sistema de tratamento (D) na ETE da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.....	34
Figura 7. Ilustração do tanque de equalização (A), tanque de floculação (B), misturador vertical (C) e tanque de decantação (D) na estação de tratamento de efluentes da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.....	35
Figura 8. Ilustração do tanque de armazenamento de efluente para fertirrigação (A) e leito de secagem (B) na estação de tratamento de efluentes da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.....	36
Figura 9. Gotejador G1 com a presença de biofilme (A); gotejador G2 com a presença de biofilme (B); gotejador G3 com a presença de biofilme (C).	47
Figura 10. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, na unidade de irrigação com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).....	48

Figura 11. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).....	49
Figura 12. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).....	50
Figura 13. Superfície de resposta relacionando o CUC em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.	53
Figura 14. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.	54
Figura 15. Superfície de resposta relacionando o CUD em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.	55
Figura 16. Superfície de resposta relacionando o CVQ em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.	55
Figura 17. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G2.	56
Figura 18. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G3.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada.....	24
Tabela 2.	Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios: vazão nominal (Q), dispositivo de autocompensão (DA), área de filtração (A), comprimento do labirinto (L), faixa de pressão recomendada (P) e espaçamento entre emissores (EE).....	30
Tabela 3.	Caracterização físico-química e microbiológica de efluentes coletados na estação de tratamento da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.....	37
Tabela 4.	Volume de água residuária da castanha de caju aplicado pelas quatro unidades de irrigação por gotejamento.	39
Tabela 5.	Características físico-química e microbiológica da água residuária do processamento da castanha de caju tratada, ao longo do período de operação das unidades de irrigação por gotejamento.	40
Tabela 6.	Equações de regressão ajustadas às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação com gotejador G1 em função das características físicas (pH e SD), químicas (Ca, Mg, Mn e Fe) e microbiológicas (CT) da água residuária do processamento da castanha de caju tratada e os respectivos coeficientes de determinação.....	46
Tabela 7.	Resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subdivididas.....	52
Tabela 8.	Equações de regressão ds variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação em função das pressões de serviço (P) e dos períodos de operação (T), para os tipos de gotejadores (G) estudados e os respectivos coeficientes de determinação.....	52
Tabela 9.	Valores médios da variável CUC (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.	57

Tabela 10. Valores médios da variável CUD (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.....59

Tabela 11. Valores médios da variável CVQ (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.....60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Origem do cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i> L.).....	18
2.2 Aspectos Econômicos.....	18
2.3 Processamento da castanha do caju	19
2.4 Tratamentos das águas residuárias geradas no processamento da castanha de caju	21
2.5 Efeitos da aplicação de águas residuárias via sistemas de irrigação por gotejamento	22
2.6 Impactos Ambientais e legislação aplicada	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 Localização e descrição da área experimental.....	28
3.2 Montagem da bancada experimental	28
3.3 Monitoramento da bancada experimental.....	31
3.4 Origem da água residuária utilizada no experimento	33
3.5 Caracterização da estação de tratamento de resíduos líquidos e dos efluentes gerados na AFICEL	33
3.6 Caracterização física, química e microbiológica das águas residuárias oriundas do processamento da castanha de caju na empresa AFICEL	36
3.7 Delineamento estatístico.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Volume trabalhado e qualidade da água residuária gerada do processamento da castanha do caju	39
4.2 Caracterização do biofilme formado nas linhas laterais e nos gotejadores	46
4.3 Desempenho hidráulico das unidades de irrigação por gotejamento operando com águas residuária de castanha de caju sob distintas pressões de serviço.....	47
4.4 Análises de variância e equações de regressão das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação	51
5 CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

De toda água, atualmente, encontrada na Terra cerca de 97% formam os oceanos e apenas 3% são encontradas nos continentes ou na atmosfera. Desse total, aproximadamente 75% formam as geleiras e 24,5% ocorrem como água subterrânea e apenas 0,5 a 3% representam as águas dos rios, lagos e da atmosfera (SUGUIO, 2006).

A adoção de técnicas racionais de manejo conservacionista do solo e da água é de fundamental importância para a sustentabilidade, de tal forma que se possa, economicamente, manter ao longo do tempo esses recursos com quantidade e qualidade suficientes para a manutenção de níveis satisfatórios da produtividade agrícola (WUTKE et al., 2000).

A demanda crescente por água tem feito do reuso planejado um tema atual e de grande importância.

Reuso é o processo de utilização da água por mais de uma vez, tratada ou não, para o mesmo ou outro fim. Essa reutilização pode ser direta ou indireta, decorrente de ações planejadas ou não (SANTOS et al., 2006).

A grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar água potável exclusivamente para atendimento das necessidades que exijam maior grau de pureza, como para o abastecimento humano.

Nesse sentido, deve-se considerar o reuso de água como parte de uma atividade mais abrangente de gestão integrada que é o uso racional ou eficiente da água, o qual compreende, também, o controle de perdas e desperdícios, e a minimização da produção de efluentes e do consumo de água.

Em função da escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, associada aos problemas de qualidade, torna-se uma alternativa potencial de racionalização desse bem natural a reutilização da água para vários fins, inclusive a irrigação agrícola, que representa maior parte do consumo hídrico no mundo. Assim, o processo de reuso tende a ser um eficiente instrumento para a gestão dos recursos hídricos no Brasil.

São vários os benefícios da água de reuso para agricultura, podendo-se mencionar a possibilidade de substituição parcial de fertilizantes químicos, diminuição do impacto ambiental, em função da redução da contaminação dos corpos hídricos receptores; um significativo aumento na produção, tanto qualitativo quanto quantitativo; além da

economia da quantidade de água direcionada para a irrigação, que pode ser utilizada para fins mais nobres, como o abastecimento público.

Na região do Nordeste brasileiro, uma alternativa seria a reutilização da água oriunda de processamento industrial da castanha do caju. Tendo em vista que a área plantada nessa região é superior a 650 mil hectares, respondendo por mais de 95% da produção nacional, sendo os estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia os principais produtores (EMBRAPA, 2009).

E toda esta produção resultou na criação de indústrias com os trabalhos voltados para o processamento destes produtos. Esse aumento industrial resulta em um incremento no volume de águas residuárias com alto potencial poluidor, as quais necessitam de tratamento adequado, antes da disposição final no ambiente.

Os sistemas de irrigação localizada são recomendados para aplicação de águas residuárias por causa da elevada eficiência de aplicação do efluente e do baixo risco de contaminação do produto agrícola e de operadores no campo. No entanto, os sistemas de irrigação por gotejamento possuem emissores que apresentam alta suscetibilidade ao entupimento. Para a minimização do entupimento de gotejadores o aumento na pressão de serviço torna-se uma alternativa de baixo custo, fácil operação e alta eficiência na prevenção da formação de biofilme (BATISTA, 2007).

O presente trabalho teve por objetivo geral analisar os efeitos de distintas pressões de serviço no desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento aplicando água residuária gerada no processamento da castanha de caju. Como objetivos específicos apresentam-se: a) caracterizar os agentes físicos, químicos e microbiológicos ocasionadores de obstrução em gotejadores na água residuária da castanha de caju; b) analisar a suscetibilidade ao entupimento de três modelos de gotejadores operando com água residuária da castanha de caju; e c) obter os valores de vazão e de uniformidade de aplicação dos sistemas de irrigação por gotejamento aplicando água residuária da castanha de caju nas pressões de serviço de 70, 140, 210 e 280 kPa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)

O *Anacardium occidentale* L. é originário do Brasil, possivelmente da Amazônia, com área de dispersão no Nordeste, onde cresce espontaneamente no litoral. Antes dos descobrimentos da América e do Brasil, o cajueiro já era conhecido pelos índios que utilizavam o caju (pedúnculo) na alimentação, espalhando a planta pelas regiões costeiras do Norte da América do Sul e das Antilhas (OLIVEIRA, 2008; REJANI; YADUKUMAR, 2010).

A palavra caju parece vir do termo "Acâi-ou" (língua tupi), que significa pomo amarelo; em línguas estrangeiras é conhecido como marañom (espanhol), cajou, anacardier (francês), cashew (inglês), anacardio (italiana). No cajueiro os tipos se diferenciam quanto à cor, forma, tamanho, sabor e consistência do pedúnculo do fruto sendo conhecido como caju amarelo, caju vermelho, caju banana, caju manteiga, caju travoso, caju branco, caju maçã, entre outros (OLIVEIRA, 2008; REJANI; YADUKUMAR, 2010).

2.2 Aspectos Econômicos

No Brasil, os maiores produtores de caju estão localizados na região Nordeste: Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte e Bahia. Sendo assim, a fruta é de grande importância econômica na região, uma vez que gera 35 mil empregos diretos no campo e 15 mil na indústria, além de 250 mil empregos indiretos nos dois segmentos (OLIVEIRA, 2008; FERNANDES et al., 2009).

Nessa região, principalmente, o caju também é aproveitado para a produção de amêndoas, ricas em proteínas e lipídeos. Na fração oleosa, predominam os ácidos graxos oléico (60,3%) e linoléico (21,5%), que são gorduras insaturadas e apresenta boa estabilidade, o que é favorável tanto para a saúde humana quanto para a tecnologia de alimentos (INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA A AGRICULTURA, 2010).

No Brasil, a produção de amêndoa de castanha de caju destina-se, tradicionalmente, ao mercado externo, gerando, em média, divisas da ordem de 150 milhões de dólares anuais. Os Estados Unidos e o Canadá são os principais mercados consumidores da

amêndoa brasileira, sendo responsáveis por cerca de 85% das importações. O agronegócio do caju no mundo movimenta cerca de 2,4 bilhões de dólares por ano (OLIVEIRA, 2008).

O cultivo de caju, bem como a extração e o processamento de castanha constituem atividades tradicionais no Nordeste, havendo registro da adoção dessa prática há mais de cinquenta anos. A extração e o processamento de castanha de caju constituem atividades com grande potencial de geração de emprego, tanto na propriedade rural quanto nas agroindústrias (OLIVEIRA, 2008).

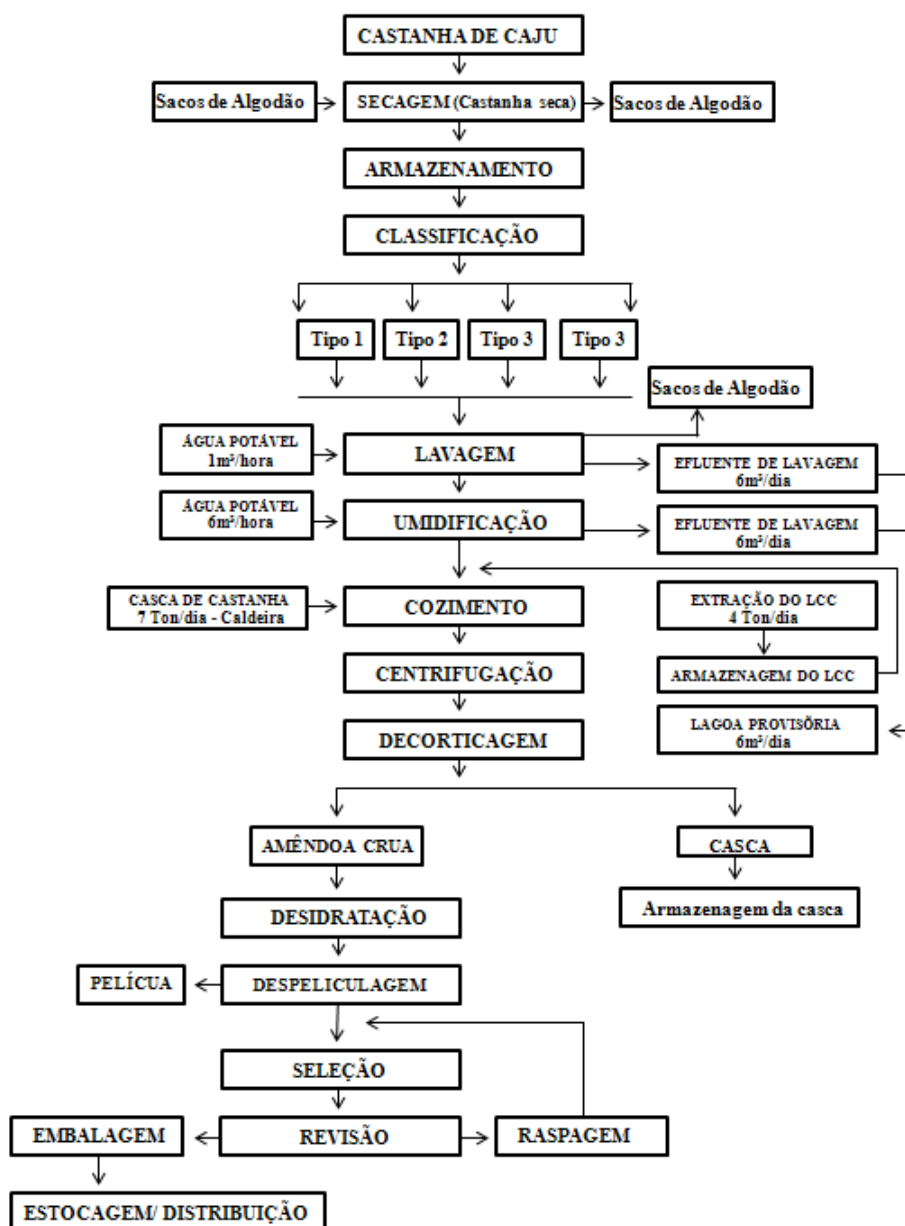
O agronegócio caju no mundo concentra-se em torno da amêndoa, que gera cerca de dois bilhões de dólares anuais em nível de varejo, ocupando o terceiro lugar entre as nozes mais comercializadas no mercado internacional. A demanda mundial apresenta um quadro em que os Estados Unidos absorvem em torno de 60% do total consumido (EMBRAPA, 2012).

A água residuária oriunda das indústrias da castanha de caju possui em sua composição o líquido da castanha de caju (LCC), um dos seus principais subprodutos, o qual é amplamente utilizado em vários setores industriais, como indústrias têxteis, de cosméticos, entre outras. Apesar dos poucos estudos sobre a caracterização e o tratamento das águas residuárias oriundas das indústrias de beneficiamento do caju, sabe-se que as mesmas são ricas em compostos fenólicos, originados principalmente do LCC. Tal líquido tem na sua composição 70% de ácidos anacárdicos, compostos fenólicos biosintetizados a partir de ácidos graxos, e 10% de cardóis, os quais possuem estrutura química parecida à dos ácidos anacárdicos e apresentam uma segunda hidroxila no anel aromático (AGOSTINO-COSTA et al., 2005).

2.3 Processamento da castanha do caju

O processo de industrialização da castanha de caju passa por uma série de etapas, o que resulta nas águas residuárias dessas indústrias. Os efluentes líquidos do processamento da castanha de caju são gerados, principalmente, nos processos de lavagem e umidificação da castanha, lavagem dos gases e lavagem dos equipamentos utilizados no processo industrial, conforme apresentado na Figura 1. Entretanto, existem poucos dados sobre as características destes efluentes e, destaca-se seu grande potencial poluidor pela presença do LCC (Líquido da Castanha de Caju). As características física, química e biológica das águas residuárias geradas em indústrias de beneficiamento de castanha de caju são pouco conhecidas, fazendo necessária a caracterização desses efluentes, pois possibilitará a busca

de tecnologias de tratamento adequadas que viabilizem seu lançamento no ambiente (AGOSTINO-COSTA et al., 2005).



Fonte: Souza (2005).

Figura 1. Fluxograma do processamento e beneficiamento da castanha de caju, bem como a produção de resíduos líquidos.

Segundo Souza (2005), o fluxograma do processo de beneficiamento da castanha de caju envolve, basicamente, oito etapas: pesagem, armazenagem, secagem, classificação (separação das castanhas de acordo com o tamanho), lavagem, extração do LCC (líquido da castanha de caju), cozimento em temperatura de 200 a 220°C e descorticação (quebra das castanhas). Entre os processos de lavagem e extração do LCC, existe uma etapa de

umidificação, onde as castanhas são imersas em água por 2 a 5 minutos, com a finalidade de elevar o seu teor de umidade e facilitar a remoção do LCC.

Em relação ao efluente, esse é gerado nas etapas do processo em que se utiliza água, por exemplo, na lavagem e umidificação da castanha, na lavagem dos gases da chaminé da caldeira e na lavagem dos equipamentos e no piso. Fato interessante no efluente gerado é a sua cor, o mesmo quando não tratado, varia entre o castanho escuro e o preto, isso, devido aos resíduos de LCC contidos nele (SOUZA, 2005).

2.4 Tratamentos das águas residuárias geradas no processamento da castanha de caju

As características físicas do efluente gerados no processamento da castanha do caju, tais como, odor, temperatura, densidade, cor e turbidez, são tratadas por meio de tratamentos físicos (caixas de areia e separadores de óleo) que possibilitam apenas a remoção de partículas de sólidos, materiais flotantes e parte da carga orgânica. Já o tratamento químico, é comumente usado para desestabilizar, alterar o equilíbrio, ou até oxidar determinadas substâncias ou partículas, para aperfeiçoar o processo de tratamento. No tratamento biológico a utilização do metabolismo de microorganismos, faz com que o teor de orgânicos no efluente reduza até níveis aceitáveis (SOUZA, 2005).

Alguns processos físico-químicos podem ser utilizados para a remoção de compostos fenólicos presentes em águas residuárias, como: adsorção, sistemas eletroquímicos e processos oxidativos avançados, entre outros. Porém, apesar da boa eficiência dos processos físico-químicos, principalmente em relação ao reduzido tempo reacional, estes apresentam custo mais elevado, além de poderem gerar subprodutos tão tóxicos quanto o composto a ser removido (CHEDEVILLE; DEBACQ; PORTE, 2009).

Nos sistemas de tratamento que empregam o tratamento físico-químico emprega-se o sulfato de alumínio como agente coagulante/floculante, resultando a geração de lodo nos tanques sedimentadores. Tal lodo contém excesso de alumínio que pode causar problemas de toxicidade de plantas caso venha a ser lançado no solo. No organismo humano, o excesso de alumínio pode agravar o mal de Alzheimer e causar raquitismo, anorexia, constipação intestinal e alterações neurológicas (CHEDEVILLE; DEBACQ; PORTE, 2009).

O tratamento biológico surge como uma alternativa, sendo relatado o uso de reatores anaeróbios (SCULLY et al., 2006). Porém, a concentração elevada de compostos aromáticos fenólicos presentes em efluentes pode inibir a atividade das arqueas

metanogênicas, o que é contornado pela utilização de pré-tratamento, geralmente com o uso de sistema físico-químico (EL-GOHARY et al, 2009).

Em relação ao uso de reatores biológicos aeróbios para o tratamento desses despejos, tem-se dado destaque ao emprego de reatores com inóculo fúngico, tendo sido reportado o uso de várias espécies, tais como *Aspergillus niger*, *Aspergillus awamori*, *Fusarium oxysporium* e *Phanerochate chrysosporium* (JAMAL; IDRIS; ALAM, 2011; LOPES et al., 2011).

2.5 Efeitos da aplicação de águas residuárias via sistemas de irrigação por gotejamento

O entupimento de emissores continua sendo o principal problema em sistemas de irrigação por gotejamento. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perene onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissores entupidos podem ocasionar perdas econômicas. Não existe um método quantitativo simples e único para calcular o potencial de entupimento de um determinado sistema de irrigação por gotejamento. A qualidade da água pode mudar, ao longo do ano, de forma que amostras de água deveriam ser analisadas em diferentes períodos da irrigação (PIZARRO, 1996).

As causas de obstrução de emissores variam de localidade para localidade e, de forma geral, são de natureza física (partículas inorgânicas em suspensão como areia, argila, silte, plásticos e outros; materiais orgânicos como resíduos animais e vegetais; detritos microbiológicos como algas, entre outros), química (sólidos dissolvidos que interage entre si formando precipitados) e biológica (algas e outros microorganismos). Vários trabalhos apontam a ocorrência de entupimentos em sistemas localizados (VIEIRA et al., 2004; RIBEIRO et al, 2005; SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006; DAZHUANG et al., 2009; DURAN-ROS et al., 2009; LIU; HUANG, 2009).

A formação biofilme nos gotejadores e nas linhas laterais de sistemas de irrigação por gotejamento é o principal problema quando da aplicação de águas residuárias (DAZHUANG et al., 2009; DURAN-ROS et al., 2009; LIU; HUANG, 2009). Batista et al. (2006), notaram a formação de biofilme resultante da interação entre mucilagens bacterianas e algas nos gotejadores que aplicaram esgoto doméstico terciário. As bactérias dos gêneros *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Enterobacter* formaram um muco microbiano, no qual se aderiram partículas, principalmente de origem orgânica, representadas por células de algas vivas ou em decomposição. As algas predominantes

pertenciam aos grupos Cyanophyta (gênero *Chlorococcus*), Euglenophyta (gêneros *Euglena* e *Phacus*) e Chlorophyta (gêneros *Selenastrum*, *Scenedesmus* e *Sphaerocystis*).

O entupimento dos gotejadores acarreta redução tanto da vazão quanto da uniformidade de aplicação do sistema de irrigação por gotejamento, comprometendo assim a produção agrícola (CORDEIRO; VIEIRA; MANTOVANI, 2003; SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

Dehghanisani et al. (2005) notaram redução de até 25% na vazão inicial do gotejadores operando com água superficial eutrofizada, após 200 h de operação do sistema. Puig-Bargués et al. (2005) analisaram o desempenho de três unidades de irrigação por gotejamento operando com esgoto doméstico tratado. Notaram drástica redução do CUD, que passou de 94 para 0% com 144 h de operação. Batista et al. (2005a) obtiveram valores de CUD de 90, 65 e 72% nas unidades de aplicação dotadas de gotejadores com vazões nominais de 1,7; 2,1; e 2,0 L h⁻¹, depois de 560 h de funcionamento com esgoto doméstico tratado e posteriormente filtrado em filtro de discos com aberturas de 130 micrômetros. Chieng e Ghaemi (2003) obtiveram valores de CUC de 96, 95, 87, 82 e 69% para unidades de aplicação dotadas de gotejadores com entupimento parcial de 0, 5, 10, 20 e 30%, respectivamente.

No momento não existe um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de determinada água de irrigação. No sentido de dar uma orientação de caráter quantitativo, Nakayama, Boman e Pitts (2006) e Capra e Scicolone (1998) classificaram o risco de entupimento de gotejadores utilizando critérios direcionados à qualidade da água de irrigação, como apresentado na Tabela 1. As características de qualidade da água relatadas por Nakayama, Boman e Pitts (2006) foram sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, potencial hidrogeniônico, manganês, ferro, sulfeto de hidrogênio e população bacteriana; Capra e Scicolone (1998) apresentaram as mesmas características, mais o cálcio e o magnésio. Ambos os estudos classificaram os riscos de entupimento dentro de três classes: menor, moderado e severo.

Para a minimização do entupimento de gotejadores que aplicam águas residuárias são recomendadas diversas técnicas. Entre as práticas mais utilizadas estão a cloração, tratamento biológico, utilização de ar comprimido, limpeza com água limpa, variação da pressão de serviço e abertura do final das linhas laterais (ŞAHİN et al., 2005; NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006; SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006; BATISTA, 2007). No entanto, a variação na pressão de serviço é uma opção de prevenção de gotejadores de fácil operação, baixo custo e sem riscos ambientais.

Tabela 1. Critérios para avaliação do potencial de entupimento de gotejadores por fontes de água que abastecem sistemas de irrigação localizada

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

Nota: (a) Segundo Nakayama, Boman e Pitts (2006) e (b) De acordo com Capra e Scicolone (1998); n.c. – não classificado; e UFC – unidades formadoras de colônias.

Os derivados clorados são comumente empregados na minimização do entupimento de gotejadores. Batista et al. (2005b) verificaram que a aplicação intermitente de 0,4; 1,0; e 1,9 mg L^{-1} de cloro residual livre minimiza a formação de biofilme nos gotejadores e nas linhas laterais. Dehghanisanij et al. (2005) estudaram o efeito da cloração intermitente de 2 mg L^{-1} de cloro residual livre na prevenção do entupimento de gotejadores por plânctons. Nos sistemas de irrigação sem tratamento químico, a redução de vazão foi de 25, 22, 18, 13, 13 e 12% para os gotejadores com área de orifício de 0,52; 0,23; 1,10; 1,05; 1,26; e 0,80 mm^2 , enquanto nos sistemas de irrigação que receberam cloração a redução máxima de vazão foi de 12% no gotejador com área de orifício de 0,52 mm^2 . Já nos demais tipos de gotejadores a redução de vazão foi inferior a 10%. A cloração com 2 mg L^{-1} de cloro residual livre foi mais efetiva na minimização do entupimento quando o pH do efluente foi menor que 7,0.

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

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

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

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

Mudanças na magnitude da pressão de serviço podem interferir no processo de entupimento de gotejadores devido à alteração no regime de escoamento, acarretando impactos na deposição de sedimentos e formação de biofilme (BATISTA, 2007).

O entupimento dos gotejadores pode acarretar mudanças nos valores da pressão de serviço em todo o sistema de irrigação por gotejamento. Faria et al. (2002) avaliaram o efeito da elevação da pressão de serviço na rede hidráulica de um sistema de irrigação por gotejamento, quando ocorre redução na vazão por entupimento de gotejadores. Os resultados evidenciaram que a redução na vazão dos gotejadores proporcionou aumento considerável na pressão da tubulação de distribuição de água, particularmente na condição de 50% de entupimento; 80% do comprimento da malha hidráulica apresentou pressão superior à da classe de pressão da tubulação.

No trabalho conduzido por Batista (2007) com água residuária de suinocultura verificou-se que o aumento na pressão de serviço diminuiu o nível de entupimento nas unidades de irrigação por gotejamento dotadas do gotejador não autocompensante com vazão nominal de $2,0 \text{ L h}^{-1}$, em função do aumento na velocidade do escoamento de efluente no interior do emissor com comprimento de labirinto de 327 mm. Os referidos autores notaram também que os sistemas de irrigação por gotejamento operando nas pressões de serviço 75 e 145 kPa apresentaram maiores níveis de entupimento em relação às aquelas com as pressões de serviço 145 e 285 kPa.

2.6 Impactos ambientais e legislação aplicada

Segundo Lopes et al. (2011), as águas residuárias geradas nas indústrias de beneficiamento da castanha de caju possuem elevados teores de fenóis e outros compostos aromáticos presentes no LCC. As águas residuárias contendo compostos fenólicos, como as da indústria da castanha de caju, possuem características ácidas, mutagênicas e carcinogênicas e é necessário o tratamento dos efluentes antes de sua disposição final em corpos hídricos. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, o índice permitido de compostos fenólicos totais nos efluentes tratados para lançamento em corpos hídricos receptores é de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ (BRASIL, 2011).

A presença de compostos fenólicos em águas residuárias é uma grande ameaça para o meio ambiente devido às características ácidas, tóxicas, mutagênicas e carcinogênicas desses compostos, sendo necessário a remoção adequada dos mesmos antes da disposição no ambiente (LOPES et al., 2011).

Em termos gerais, as exigências nacionais para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores segue o disposto na Resolução CONAMA nº 430/2011, que

dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/ 2005 (BRASIL, 2011).

No Artigo 21 da referida resolução constam os seguintes padrões para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos receptores (BRASIL, 2011): a) pH entre 5 e 9; b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; c) materiais sedimentáveis: até 1 mL L⁻¹ em teste de 1 hora em cone Imhoff; d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO₅ 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg L⁻¹, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO₅, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor; e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg L⁻¹; e f) ausência de materiais flutuantes.

Ainda na referida resolução, seguindo o disposto no Artigo 22 são apresentados os critérios para lançamento de esgotos domésticos tratados por meio de emissários submarinos, de forma a atender aos padrões da classe do corpo receptor, após o limite da zona de mistura e ao padrão de balneabilidade, de acordo com as normas e legislação vigentes. Este lançamento deve ser precedido de tratamento que garanta o atendimento das seguintes condições e padrões específicos (BRASIL, 2011): a) pH entre 5 e 9; b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura; c) Após desarenação; d) sólidos grosseiros e materiais flutuantes: virtualmente ausentes; e e) sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

Outra possibilidade de disposição de efluentes tratados no ambiente é o aproveitamento agrícola controlado. No Artigo 6 da Portaria n.º154, de Julho de 2002 (CEARÁ, 2002), é estabelecido que para atividades tipo 1 - irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquicultura, o efluente trado deve apresentar a seguintes características: a) nível populacional de coliformes fecais menor que 1000 microrganismos por 100 mL; b) nível populacional de ovos de helmintos menor que um ovo por litro de amostra; e condutividade elétrica menor que 3,0 dS m⁻¹. Enquanto, para atividade tipo 2 – irrigação de vegetais não consumidos crus, os critérios são: a) nível populacional de coliformes fecais inferior a 5000 microrganismos por 100 mL; b) nível populacional de ovos de helmintos inferior a um ovo por litro de amostra; e c) condutividade elétrica inferior a 3,0 dS m⁻¹.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e descrição da área experimental

O presente trabalho foi realizado na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA) instalada no Parque Zoobotânico da Universidade Federal Rural do Semi - Árido (UFERSA) em Mossoró-RN, sob coordenadas geográficas $5^{\circ}12'27''$ de latitude sul e $37^{\circ}19'21''$ de longitude oeste. Na Figura 2 está apresentada a locação da UERA no Campus da UFERSA em Mossoró-RN.



Figura 2. Localização da área experimental situada na UERA/UFERSA em Mossoró-RN.

O clima de Mossoró, segundo a classificação climática de W. Koeppen, é do tipo BSw^h, que significa “clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono”.

3.2 Montagem da bancada experimental

Para os ensaios foi montada uma bancada experimental em alvenaria na UERA com 2,0 m de largura por 8,0 m de comprimento, dotada de piso impermeabilizado com declividade de 1% e possuindo uma canaleta com declividade de 2% para recirculação do

efluente visando à minimização das perdas por evaporação. A jusante desta bancada foi construído um reservatório em alvenaria com capacidade armazenadora para $5,0 \text{ m}^3$. No interior da bancada experimental foram montadas quatro unidades de irrigação por gotejamento compostas de: um conjunto motobomba de 1,0 cv, um hidrômetro com capacidade para $1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, um filtro de tela com aberturas de $130 \mu\text{m}$, linha de derivação em PVC de 32 mm e linhas laterais de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm dotadas de três modelos de gotejadores, conforme apresentado na Figura 3.

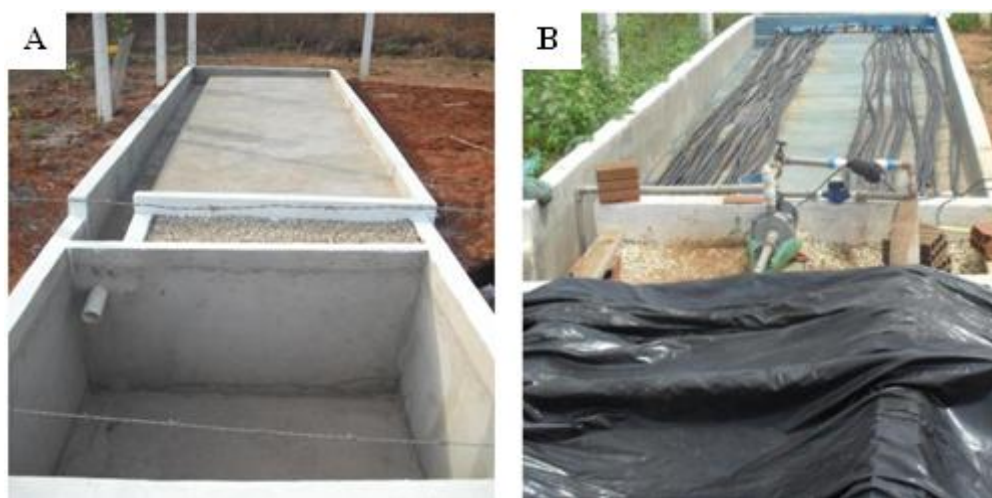


Figura 3. Bancada experimental para montagem das unidades de irrigação por gotejamento: reservatório e plataforma em alvenaria (A); e linhas laterais, linhas de derivação, conjunto motobomba, filtro e hidrômetro (B).

No início de cada linha de derivação foram instalados registros de gaveta para controle da pressão de serviço nas unidades de irrigação por gotejamento (70, 140, 210 e 280 kPa). Na linha de derivação de cada unidade de fertirrigação foram inseridos nove conectores. Para cada modelo de gotejador foram instaladas três linhas laterais com 8 m de comprimento. Na Figura 4 está apresentado o esquema da bancada experimental constituída das quatro unidades de irrigação por gotejamento 70, 140, 210 e 280 kPa.

Os três tipos de gotejadores avaliados, de acordo com os fabricantes, foram selecionados com base na sua menor suscetibilidade ao entupimento e por serem muito comercializados no mercado nacional (Tabela 2). Os gotejadores são dotados de labirintos tortuosos com saliências que provocam um regime de escoamento turbulento que ameniza a sedimentação de partículas em seu interior. Na Figura 5 estão ilustrados os modelos de gotejadores utilizados no experimento.

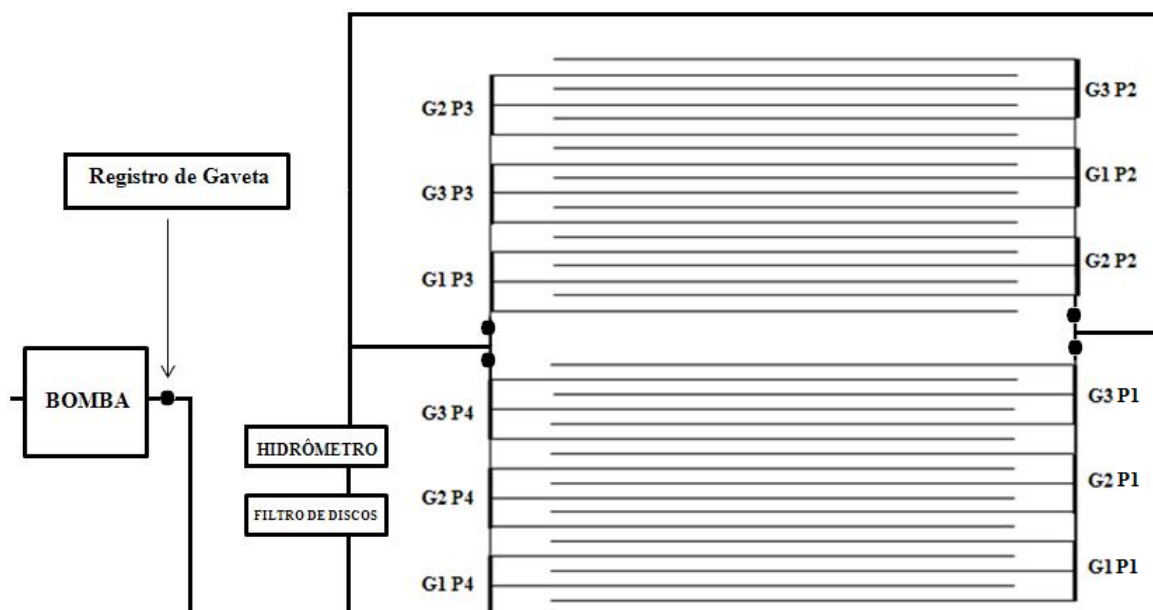


Figura 4. Esquema da bancada experimental constituindo as quatro unidades de irrigação por gotejamento operando nas pressões 280 (P4), 210 (P3), 140 (P2) e 70 (P1) kPa, e com os gotejadores G3, G2 e G1.

Tabela 2. Características dos gotejadores (G) utilizados nos ensaios: vazão nominal (Q), dispositivo de autocompensação (DA), área de filtração (A), comprimento do labirinto (L), faixa de pressão recomendada (P) e espaçamento entre emissores (EE).

G	DA	Q (L h ⁻¹)	A (mm ²)	L (mm)	P (kPa)	EE (m)
G1	Não	1,65	5,0	58	55	0,3
G2	Sim	2,0	2,0	35	70 - 400	1,0
G3	Sim	4,0	2,0	35	70 - 400	1,0

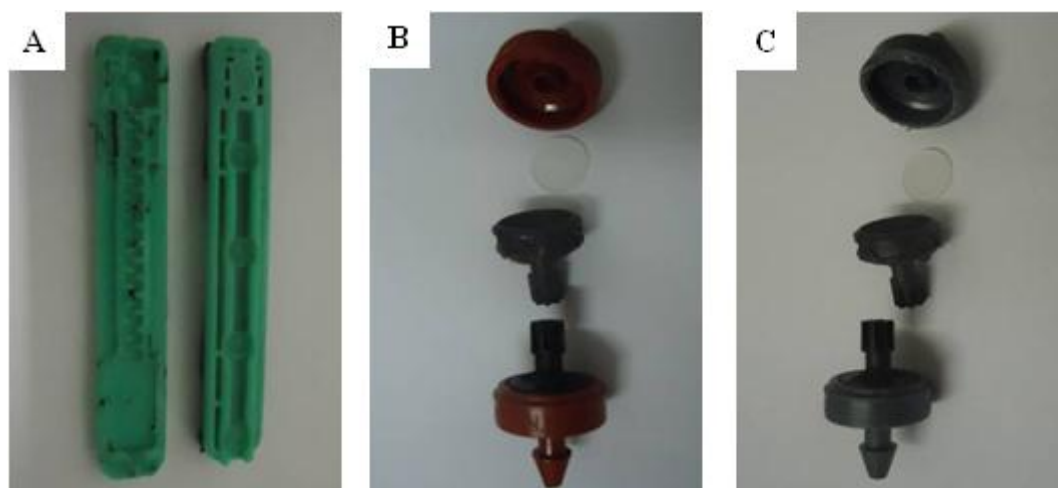


Figura 5. Ilustração dos gotejadores G1 (A), G2 (B) e G3 (C) utilizados na aplicação da água residuária gerada no processamento da castanha de caju.

Inicialmente todas as unidades de irrigação foram operadas com água limpa por duas horas, para obtenção da uniformidade de aplicação de água referencial. Posteriormente foram feitas avaliações da uniformidade de aplicação das unidades aplicação aplicando o efluente a cada 20 horas, até completar o tempo de funcionamento total de 160 h. Estudos realizados por Batista (2007) indicaram que o tempo de operação de 160 h foi suficiente para analisar a suscetibilidade ao entupimento de distintos emissores aplicando água residuária de suinocultura.

3.3 Monitoramento da bancada experimental

O experimento foi realizado no período de 11 de março a 20 de abril de 2012. As unidades de irrigação por gotejamento funcionaram, em média, quatro horas por dia até completar 160 h. Nesse período, as vazões dos gotejadores, a uniformidade de aplicação de efluente, o volume de efluente aplicado diariamente e as características física, química e biológica do efluente foram determinadas.

A vazão foi medida em sete gotejadores de todas as linhas laterais das unidades de irrigação por gotejamento, coletando-se o volume aplicado durante três minutos.

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

O desempenho das unidades de irrigação foi avaliado a cada 20 h durante o período de aplicação do efluente de 160 h. O cálculo da uniformidade de aplicação do efluente foi feito aplicando-se as equações 1, 2 e 3.

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Q_i - Q_m|}{n_e \times Q_m} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

Q_i - vazão de cada gotejador, L h⁻¹;

Q_m - vazão média dos gotejadores, L h⁻¹; e

n_e - número de gotejadores.

$$CUD = \left(\frac{Q_{25\%}}{Q_m} \right) \times 100 \quad (2)$$

em que:

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$Q_{25\%}$ - média de 25% do total dos gotejadores com as menores vazões, $L h^{-1}$; e

Q_m - média das vazões de todos os gotejadores, $L h^{-1}$.

$$CVQ = \left(\frac{\sigma_Q}{Q_m} \right) \times 100 \quad (3)$$

em que:

CVQ - coeficiente de variação da vazão dos gotejadores, %;

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

Q_m - média das vazões de todos os gotejadores, $L h^{-1}$.

As características física, química e biológica da água residuária da castanha de caju a cada 20 h de funcionamento das unidades de irrigação por gotejamento, em conformidade com as recomendações do *Standard Methods* (APHA, 2005) e Silva (2009). Para tal, obtiveram-se amostras compostas, a partir de amostras simples as quais foram analisadas em distintos laboratórios.

No Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) do Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas da UFERSA foram medidos os valores do potencial hidrogeniônico (pH), com peagâmetro de bancada; e da condutividade elétrica (CE), com condutivímetro de bancada. Determinaram-se, também, as concentrações do sódio (Na^+) e potássio (K^+) por fotometria de chama; as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu) e zinco (Zn) por espectrofotometria de absorção atômica; as concentrações de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), cálcio (Ca^{2+}), cloreto (Cl^-) e magnésio (Mg^{2+}) pelo método titulométrico. As concentrações dos sólidos suspensos (SS) e dos sólidos totais (ST) foram determinadas pelo método gravimétrico, enquanto as concentrações dos sólidos dissolvidos (SD) foram obtidas pela diferença de ST e SS. A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada com os valores de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), onde o RAS foi obtida pela equação 4.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (4)$$

em que:

RAS - Relação de Adsorção de Sódio, $(mmol_c L^{-1})^{0,5}$;

Na^+ - Sódio, $mmol_c L^{-1}$;

Ca^{2+} - Cálcio, $mmol_c L^{-1}$; e

Mg^{2+} - Magnésio, $mmol_c L^{-1}$.

Os níveis populacionais de coliformes totais (CT) foram determinados no Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal do Departamento de Ciências Animais da UFERSA, empregando o método de tubos múltiplos. Os resultados foram expressos em Número Mais Provável por 100 mL (NMP 100 mL⁻¹).

Diariamente foram efetuadas leituras no hidrômetro com a finalidade de quantificar o volume de água residuária aplicado pelas unidades de irrigação.

3.4 Origem da água residuária utilizada no experimento

A água residuária resultante do processamento da castanha de caju utilizada na pesquisa foi proveniente da estação de tratamento de efluente da indústria de beneficiamento da castanha de caju, AFICEL, localizada em Mossoró-RN, sendo a coleta realizada após a última etapa do tratamento. O tanque localizado na UERA era reabastecido semanalmente com 1,0 m³ deste efluente, para reposição das perdas de água. As águas foram transportadas em reservatório com capacidade para 1,0 m³.

3.5 Caracterização da estação de tratamento de resíduos líquidos e dos efluentes gerados na AFICEL

O efluente líquido industrial da empresa AFICEL é originado no processo de umidificação da castanha in-natura, lavagem da castanha in-natura e lavagem de piso. A umidificação e lavagem da castanha in-natura são processos realizados diariamente e

geram 49 e 10 m³ de água residuária, respectivamente. Enquanto, na lavagem do piso é gerado diariamente 1 m³ de água residuária.

Na AFICEL existe uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) que opera atualmente com 60 m³ d⁻¹. O tipo de tratamento empregado é o físico-químico, visando atender as exigências para destino final na fertirrigação de jardins, reflorestamento e pomares.

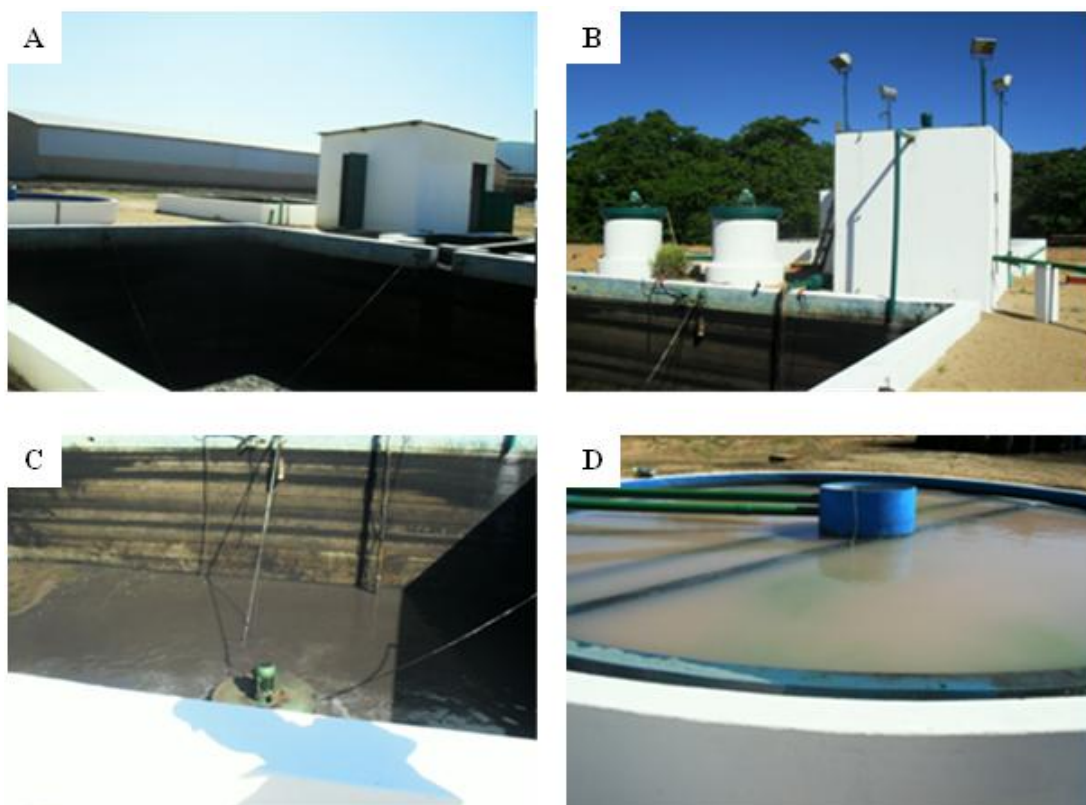
O efluente gerado no processamento da castanha de caju é lançado em tanque de armazenamento com capacidade armazenadora para 83 m³ (Figura 6A). Em seguida o efluente é bombeado para o tanque de retenção do líquido da castanha de caju – LCC (Figura 6B), onde é retirado, e misturado com pó da castanha (Figura 6C), para tornar o aspecto mais viscoso, formando a película do LCC, sendo depositado em tambores com capacidade de 200 kg, são retirados em média nove tambores por semana (Figura 6D).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2012).

Figura 6. Ilustração do tanque de armazenagem (A), tanques separadores de LCC (B), ponto de mistura de pó da castanha com LCC (C) e tambores para armazenagem do LCC coletado do sistema de tratamento (D) na ETE da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.

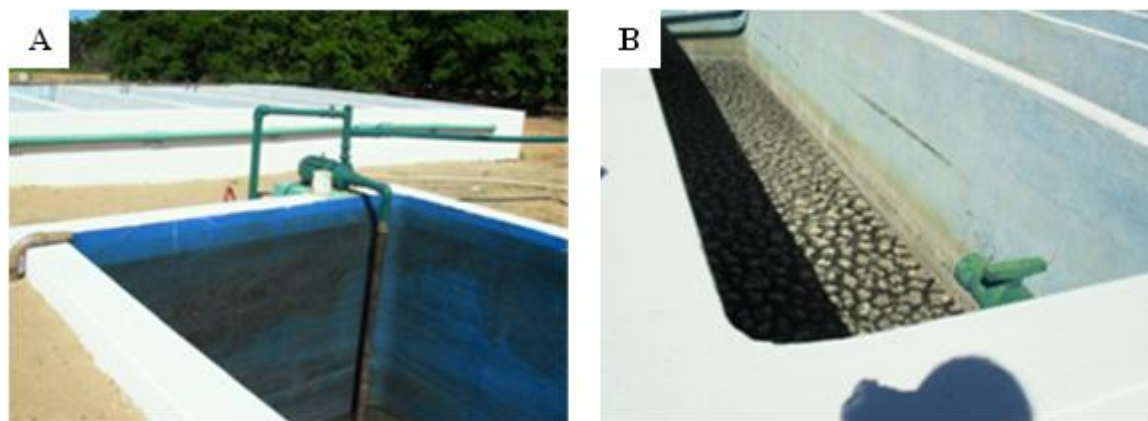
Em seguida, o efluente passa para o tanque de equalização, com capacidade armazenadora de 287 m^3 , pela ação da força da gravidade (Figura 7A), para posteriormente bombeamento até o tanque de floculação de 8 m^3 (Figura 7B), onde é adicionado sulfato de alumínio no misturador vertical (Figura 7C). A adição do agente coagulante/floculante é feita duas vezes na semana, incorporando dois sacos de 50 kg de sulfato de alumínio. É realizada a homogeneização em torno de dois minutos, logo após, segue por gravidade para o tanque de decantação de 75 m^3 (Figura 7D).



Fonte: Arquivo do pesquisador (2012).

Figura 7. Ilustração do tanque de equalização (A), tanque de floculação (B), misturador vertical (C) e tanque de decantação (D) na estação de tratamento de efluentes da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.

Por fim, depois de tratado o efluente é armazenado em tanque de 45 m^3 , para posterior fertirrigação de jardins, pomares e árvores da empresa, possibilitando economia de água e fertilizantes (Figura 8A), além de evitar a poluição do ambiente. Os lodos gerados na estação de tratamento de efluentes são dispostos em sistema de leito de secagem (Figura 8B), para retirada do excesso de umidade (efluente que retorna para a estação de tratamento de efluente). Os sólidos são utilizados como fertilizantes para adubação de áreas verdes no empreendimento.



Fonte: Arquivo do pesquisador (2012).

Figura 8. Ilustração do tanque de armazenamento de efluente para fertirrigação (A) e leito de secagem (B) na estação de tratamento de efluentes da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.

3.6 Caracterização física, química e microbiológica das águas residuárias oriundas do processamento da castanha de caju na empresa AFICEL

Na Tabela 3 está apresentada a caracterização físico-química e microbiológica de efluentes coletados na estação de tratamento da empresa AFICEL. Verifica-se, nesta tabela, que as características do efluente tratado atendem aos padrões para lançamento em corpo hídrico receptor conforme estabelecido da Resolução CONAMA nº 430/2011 (BRASIL, 2005). O tratamento físico-químico proporcionou remoções de 88, 70, 63, 51, 97, 59, 85 e 97% nas concentrações de Demanda Química de Oxigênio, bário, ferro solúvel, nitrogênio amoniacal, sulfeto total, fenóis totais, óleos vegetais e sólidos suspensos, respectivamente. O efluente tratado apresenta baixo risco de obstrução de gotejamento para as características ferro, manganês, sulfeto, pH e sólidos suspensos, conforme proposto por Nakayama, Boman e Pitts (2006).

Tabela 3. Caracterização físico-química e microbiológica de efluentes coletados na estação de tratamento da empresa AFICEL, em Mossoró-RN.

Características	Unidades	Valores de referência (CONAMA nº 430/2011)	Efluente bruto	Efluente tratado
DQO	mg L ⁻¹	—	1015,8	120,8
Arsênio Total	mg L ⁻¹	0,5	< 0,01	< 0,01
Bário	mg L ⁻¹	5	0,148	0,045
Boro	mg L ⁻¹	5	0,151	0,176
Cádmio	mg L ⁻¹	0,2	< 0,001	< 0,001
Chumbo	mg L ⁻¹	0,5	< 0,01	< 0,01
Cianeto Total	mg L ⁻¹	1	< 0,01	< 0,01
Cianeto Livre	mg L ⁻¹	0,2	< 0,01	< 0,01
Cobre Dissolvido	mg L ⁻¹	1	< 0,005	< 0,005
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹	0,1	< 0,01	< 0,01
Cromo tetravalente	mg L ⁻¹	1	< 0,01	< 0,01
Estanho	mg L ⁻¹	4	< 0,01	< 0,01
Ferro Solúvel	mg L ⁻¹	15	0,43	0,16
Fluoretos	mg L ⁻¹	10	< 0,01	0,56
Manganês Solúvel	mg L ⁻¹	1	0,03	0,022
Mercurio	mg L ⁻¹	0,01	< 0,00015	0,00038
Níquel	mg L ⁻¹	2	< 0,01	< 0,01
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	20	9,44	4,58
Prata	mg L ⁻¹	0,1	< 0,005	< 0,005
Selênio	mg L ⁻¹	0,3	< 0,008	< 0,008
Sulfeto Total	mg L ⁻¹	1	1,41	0,04
Zinco	mg L ⁻¹	5	0,85	0,6
Clorofórmio	mg L ⁻¹	1	< 0,001	< 0,01
Dicloroetano	mg L ⁻¹	1	< 0,001	< 0,01
Fenóis Totais	mg L ⁻¹	0,5	0,32	0,13
Tetracloroeto de Carbono	mg L ⁻¹	1	< 0,001	< 0,01
Tricloroetano	mg L ⁻¹	1	< 0,001	< 0,01
pH		5-9	7,29	5,5
Temperatura	°C	40	29	29,5
Sólidos Sedimentáveis	mL L ⁻¹	1	18	< 0,1
Solúveis em Hexano				
Óleos minerais	mg L ⁻¹	20	—	—
Óleos vegetais	mg L ⁻¹	50	68	10,5
Materiais flutuantes	—	Ausência	Presente	Ausente
Sulfato	mg L ⁻¹	—	75,1	1278,1
Sólidos suspensos totais	mg L ⁻¹	—	1225	39
Coliformes Termotolerantes	NMP 100 mL ⁻¹	—	> 10 ⁴	3,76×10 ³

Fonte: AFICEL (2012).

3.7 Delineamento estatístico

O experimento foi montado em esquema de parcelas subsubdivididas, tendo nas parcelas as pressões de serviço (70, 140, 210 e 280 kPa), nas subparcelas os modelos de gotejadores (G1, G2 e G3) e nas subsubparcelas os períodos das avaliações (0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 h), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, conforme a metodologia proposta por Batista (2007).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) empregando-se o teste F a 5% de probabilidade. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, aplicando-se teste “t” a 10% de probabilidade, nos parâmetros de regressão e no processo em estudo. Utilizou-se, também, o procedimento de regressão sequencial para definição das regressões lineares múltiplas.

Os programas computacionais usados nas análises estatísticas foram o SAEG 9.1 (RIBEIRO JÚNIOR; MELO, 2008) e o R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Volume trabalhado e qualidade da água residuária gerada do processamento da castanha do caju

Estão representados na Tabela 4 os volumes de água residuária da castanha de caju aplicados pelas quatro unidades de irrigação. Semanalmente foram necessários reabastecimentos de 1,0 m³ no reservatório presente na bancada.

No período de 11/03/2012 à 20/04/2012, o volume de efluente aplicado pelas unidades de irrigação foi de 17,0 m³, no período de operação de 160 horas.

Na Tabela 5 estão apresentadas as características físico-química e microbiológica da água residuária do processamento da castanha de caju tratada, ao longo do período de operação das unidades de irrigação. Verificaram-se oscilações nos resultados de várias características, ao longo do período de operação das unidades de irrigação, em função da reposição semanal da água residuária da castanha de caju e do lançamento de águas residuárias de outra natureza (águas cinza e negra) na estação de tratamento dos efluentes da castanha de caju da AFICEL.

Tabela 4. Volume de água residuária da castanha de caju aplicado pelas quatro unidades de irrigação por gotejamento.

Data	Período de operação (h)	Leitura do hidrômetro	Volume aplicado (L)
11/03/2012	0	0714,020	0
16/03/2012	20	2840,825	2127
21/03/2012	40	4967,630	2127
26/03/2012	60	7094,435	2127
31/03/2012	80	9221,240	2127
05/04/2012	100	11348,050	2127
10/04/2012	120	13474,85	2127
15/04/2012	140	15601,66	2127
20/04/2012	160	17728,46	2127

Tabela 5. Características físico-química e microbiológica da água residuária do processamento da castanha de caju tratada, ao longo do período de operação das unidades de irrigação por gotejamento.

Características	Período de operação (h)									
	0	20	40	60	80	100	120	140	160	Média
pH	8,45	8,50	7,57	7,00	7,19	7,32	7,66	7,71	7,07	7,61
CE (dS m ⁻¹)	3,45	3,59	3,44	3,88	3,84	4,04	4,32	3,78	3,43	3,75
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	3,15	3,15	4,65	3,12	2,49	2,85	3,38	2,40	2,40	3,07
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	23,80	23,38	23,31	26,52	21,81	22,99	26,67	20,64	16,66	22,86
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	9,47	12,32	15,08	9,17	9,00	12,90	12,62	11,47	14,95	11,89
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	3,58	3,52	3,91	3,85	4,02	4,30	3,76	3,40	8,50	4,32
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	22,87	24,93	20,00	19,00	22,13	25,00	30,00	26,33	20,67	23,44
CO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	6,73	6,70	6,20	4,87	4,83	4,87	4,87	5,00	8,00	5,79
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	6,93	6,34	5,50	7,61	6,34	5,66	5,66	5,42	3,92	5,93
Mn (mg L ⁻¹)	0,33	0,31	0,34	0,34	0,32	0,24	0,24	0,30	0,30	0,3
Fe (mg L ⁻¹)	0,47	0,52	0,46	0,35	0,48	0,53	0,53	0,52	0,43	0,48
Zn (mg L ⁻¹)	0,04	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07
Cu (mg L ⁻¹)	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,06	0,06	0,01	0,01	0,026
SS (mg L ⁻¹)	103	170	234	286	333	370	355	377	386	291
SD (mg L ⁻¹)	2113	2230	2340	2360	2371	2389	2408	2401	2487	2344
CT (NMP 100 mL ⁻¹)	4	495	35	97	58	50	50	545	34	153

Nota: pH = potencial hidrogeniônico; CE = condutividade elétrica, dS m⁻¹; K⁺ = potássio, mmol_c L⁻¹; Na⁺ = sódio, mmol_c L⁻¹; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; Cl⁻ = cloreto, mmol_c L⁻¹; CO₃²⁻ = carbonato, mmol_c L⁻¹; HCO₃⁻ = bicarbonato, mmol_c L⁻¹; RAS = relação de adsorção de sódio, (mmol_c L⁻¹)^{0,5}; Mn = manganês total, mg L⁻¹; Fe = ferro total, mg L⁻¹; Zn = zinco, mg L⁻¹; Cu = cobre, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; SS = sólidos suspensos, mg L⁻¹; CT = coliformes totais, NMP 100 mL⁻¹; sendo NMP = número mais provável.

Os valores de pH da água residuária da castanha de caju oscilaram de 7,00 a 8,50 em função da incorporação de esgotos sanitário contendo saponáceos (sabões e detergentes), tendo valor médio de 7,61. Tal resultado foi inferior ao valor médio 8,0 obtido por Lopes et al. (2011) com água residuária da castanha de caju tratada em reatores biológicos. Em relação ao risco de entupimento de gotejadores, parte dos valores de pH encontrava-se dentro da faixa-limite de 7,0 a 7,5, recebendo a classificação moderada; enquanto a outra parte dos valores de pH foi superior ao limite de 7,5, recebendo a classificação severa (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006). De acordo com a Resolução CONAMA n° 430, os valores de pH da água residuária da castanha de caju encontraram-se

dentro da faixa de 5 a 9 recomendada para lançamento de efluentes tratados em corpos hídricos (BRASIL, 2011). Do ponto de vista agrícola tal efluente pode causar alcalinização do solo mediante elevadas taxas de aplicação realizadas de forma sucessiva.

Para a condutividade elétrica (CE) os valores variaram de 3,43 e 4,04 dS m⁻¹, sendo o valor médio de 3,75 dS m⁻¹. No trabalho apresentado por Dias et al. (2011) o rejeito obtidos de dessalinizadores no semiárida apresentou CE de 5,7 dS m⁻¹. A CE média da água residuária da castanha de caju foi superior ao limite de 3,0 dS m⁻¹ estabelecido na Portaria nº 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) para fertirrigação de cultivos agrícolas com esgotos domésticos tratados.

No que concerne ao fator sistema de produção, as plantas cultivadas em hidroponia são mais tolerantes aos efeitos da salinidade do que as cultivadas nos sistemas convencionais, por causa da inexistência da matriz do solo (hidroponia tipo NFT) ou por ser relativamente inerte (hidroponia em substrato). Consequentemente, a absorção de água pelas plantas está condicionada apenas ao potencial osmótico, que reduz sua energia livre (SOARES et al., 2006). Assim, os sistemas hidropônicos permitem o uso de água com maior condutividade elétrica, como por exemplo, as águas de rejeito de dessalinizadores, viabilizando uma atividade produtiva geradora de renda para as comunidades rurais com maior segurança ambiental.

Estudos realizados sobre a tolerância de várias espécies à salinidade, em sistema de cultivo hidropônico, têm demonstrado que, mediante manejos adequados da água e das práticas de cultivo, pode-se produzir comercialmente com água salina (CARUSO; VILLARI, 2004; SAVVAS et al., 2007; AL-KARAKI et al., 2009).

Em seu estudo realizado com utilização da água de rejeito da dessalinização no cultivo de alface, em sistema hidropônico, com fibra de coco e irrigação por gotejamento, Dias et al. (2011) concluíram que as águas salobras da dessalinização podem ser utilizadas no preparo de solução nutritiva, com perdas de rendimento comercial da alface hidropônica em fibra de coco abaixo de 8% por unidade de CE.

As concentrações de potássio (K⁺) oscilaram de 2,4 e 4,65 mmol_c L⁻¹, tendo o valor médio de 3,07 mmol_c L⁻¹. A concentração média de potássio (K⁺) foi menor que 0,31 mmol_c L⁻¹ obtida por Santos et al. (2006) em estudos com esgoto doméstico terciário. A fertirrigação com esgoto doméstico é muito vantajosa tanto ambientalmente quanto economicamente, pois possibilita redução no uso de adubos químicos, devido ao aporte de potássio e outros nutrientes.

As concentrações sódio (Na^+) oscilaram de 16,67 e 26,67 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo o valor médio de 22,86 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Este valor sofre grande influência em virtude da limpeza de acessórios na empresa AFICEL. Sabe-se que a água residuária analisada recebe também soluções aquosas como desinfetantes e agentes alvejantes.

Pode produzir níveis críticos de sódio trocável na maioria dos solos. O uso desta água requer práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição constante de matéria orgânica. Em solos com muito gesso, pode não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável. Pode requerer uso de corretivos químicos para a substituição do sódio trocável (PRADO et al., 2004).

Entretanto, sabe-se que o sódio é essencial para algumas plantas com mecanismo de fotossíntese em C_4 . As plantas cultivadas são divididas em natrófilas e natrófobas, conforme são ou não beneficiadas pela presença do elemento. Nas plantas natrófilas o sódio substitui parcialmente o potássio, resultando em maior resistência à seca, crescimento mais rápido quando a planta é jovem e maior acumulação de glúcidos de reserva (PATERNIANI; PINTO, 2001).

As concentrações de cálcio (Ca^{2+}) variaram de 9,00 a 15,08 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, tendo valor médio de 11,89 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. De acordo com Capra e Scicolone (1998), o risco de obstrução de gotejadores referente ao Ca^{2+} presente na água residuária da castanha de caju variou de baixo à moderado.

Com relação ao Magnésio (Mg^{2+}) os valores oscilaram entre 3,4 e 4,3 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$, sendo o valor médio de 4,32 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Tal resultado foi superior ao valor médio de 2,53 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ obtido por Batista (2007) em estudos com água residuária de suinocultura. Segundo Capra e Scicolone (1998), o risco de entupimento de gotejadores foi classificado como moderado, pois os valores de Mg^{2+} se encontrariam dentro da faixa-limite de 2,0 a 7,3 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Entretanto é importante observar no tempo de 160 h de funcionamento, onde o valor encontrado apresentou-se fora dessa faixa limite.

A concentração média de Cloreto (Cl^-) foi de 23,44 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. Os valores oscilaram entre 19,0 e 30,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$. A concentração média do cloreto (Cl^-) foi maior que 3,0 $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ representando risco de toxicidade aos cultivos agrícolas, conforme sugerido por Ayers e Westcot (1999). A toxicidade do cloreto aos cultivos agrícola está associada à não retenção e adsorção pelas partículas do solo, facilitando o seu deslocamento com água do solo, porém é absorvido pelas raízes e translocando às folhas, onde se acumula pela transpiração; e se sua concentração excede a tolerância da planta, produzem-se danos como necroses e queimaduras nas folhas (AYERS; WESTCOT, 1999).

Entretanto associa-se de maneira geral a alta concentração de cloreto, à baixa população de microorganismos, limitando assim o desenvolvimento de biofilme nos gotejadores do sistema de irrigação.

Os valores de carbonato (CO_3^{2-}) foram nulos. Enquanto, as concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) oscilaram de 4,83 a 8,00 mmolc L^{-1} , tendo valor médio de 5,79 mmolc L^{-1} . O valor médio de bicarbonato (HCO_3^-) foi maior que o limite de 1,5 mmolc L^{-1} representando risco para cultivos agrícolas fertirrigados via aspersão, conforme relatado por Ayers e Westcot (1999). As águas residuárias contendo elevadas concentrações de bicarbonatos e aplicadas via aspersão podem causar problemas de incrustações em forma de depósitos brancos sobre as folhas, frutos e flores, depreciando o produto agrícola (AYERS; WESTCOT, 1999).

Com relação à razão de adsorção de sódio (RAS), os valores oscilaram entre 3,92 e 7,61 $(\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$, sendo o valor médio de 5,93 $(\text{mmolc L}^{-1})^{0,5}$. A razão de adsorção de sódio indica a porcentagem de sódio contido na água que pode ser adsorvido pelo solo. A análise do risco de adsorção de sódio é de grande importância uma vez que concentrações excessivas de sódio podem causar o endurecimento e impermeabilização do solo.

Como o perigo de sodificação depende ao mesmo tempo da concentração relativa do sódio em relação aos outros cátions e da concentração total de sais presentes na água, não se pode estabelecer valores críticos da RAS de forma independente. Em termos práticos, o valor da RAS da água de irrigação aumenta no solo em consequência do aumento da concentração total de sais e da possível precipitação dos teores de cálcio e magnésio, à medida que diminui o conteúdo de umidade a ser extraído pelas plantas e perdido por evaporação superficial (PRADO et al., 2004).

É válido ressaltar que as análises de RAS não são suficientes para definir a utilização das águas para irrigação. Outros parâmetros devem ser levados em consideração, tais como porosidade e permeabilidade dos solos, tipos de cultivo, variação de temperatura e pluviosidade (PRADO et al., 2004).

A concentração de manganês total (Mn) oscilou entre 0,24 e 0,34 mg L^{-1} , tendo valor médio de 0,3 mg L^{-1} . Em nenhum momento os valores de Mn foram superiores ao limite de 1,5 mg L^{-1} , estabelecido por Nakayama, Boman e Pitts (2006), que classifica o risco de entupimento de gotejadores como severo; todos os valores de Mn encontraram-se dentro da faixa limite de 0,1 a 1,5 mg L^{-1} , que classifica o risco de entupimento de gotejadores como moderado. É importante conhecer de fato a importância do Manganês, sua composição na água em que se trabalha, e principalmente sua forma de atuação no

solo, principalmente solos ácidos. O Manganês é lixiviado em solos ácidos bem drenados porque a oxidação e acidez aumentam sua solubilidade. O manganês dissolvido muda para posições mais úmidas e, ou mais alcalinas onde ele se precipita em pequenos corpos endurecidos de coloração escura chamada *concreções* ou *nódulos*. Nódulos são formados por camadas concêntricas com quantidades variáveis de óxidos de ferro intercalados com compostos de manganês.

Com relação à concentração de ferro total (Fe), os valores oscilaram entre 0,35 e 0,53 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 0,48 mg L⁻¹. Tal valor médio de Fe foi muito inferior à concentração de 5,50 mg L⁻¹ apresentado por Batista (2007), em seu estudo com água residuária de suinocultura para avaliar o risco de entupimento em sistema de irrigação por gotejamento. O ferro é necessário para a formação de clorofila e para algumas funções em algumas enzimas do sistema respiratório, ele é absorvido pelas plantas com íon ferroso. A quantidade necessária é maior que a necessária para qualquer outro micronutriente, mas não é grande suficiente para que o ferro seja considerado um macronutriente.

Os valores de Zinco (Zn) oscilaram entre 0,04 e 0,09 mg L⁻¹, tendo o valor médio de 0,07 mg L⁻¹. É importante ressaltar que o Zn é um elemento grandemente distribuído que aparece em pequenas concentrações, mas adequadas, na maioria dos solos e plantas. As concentrações de Zn são adsorvidas em locais de troca de cátion de argilas de sílica, e o Zn pode ser encontrado dentro de estruturas de argila através da substituição isomórfica em locais octaédricos (OBRADOR; NOVILLO; ALVAREZ, 2003).

O valor médio do cobre (Cu) foi menor que 0,20 mg L⁻¹, não sendo tóxico para plantas em soluções nutritivas (AYERS; WESTCOT, 1999). Segundo a Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2011), o valor médio de cobre é inferior ao limite de 1,0 mg L⁻¹ estabelecido para lançamento de esgoto doméstico tratado.

As concentrações de sólidos suspensos (SS) variaram de 103 a 386 mg L⁻¹ tendo o valor médio de 291 mg L⁻¹. Com exceção do tempo de funcionamento de 120 h, houve um aumento da concentração de SS na medida em que se aumentava o tempo de funcionamento do sistema operando com água residuária gerada no processamento da castanha do caju. Observou-se que os valores de SS foram superiores ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido por Nakayama, Boman e Pitts (2006), que classificaram o risco de entupimento de gotejadores como severo.

Para a concentração de sólidos dissolvidos (SD), os valores encontrados estiveram entre 2113 e 2487 mg L⁻¹, sendo o valor médio de 2344 mg L⁻¹. Houve um aumento da concentração de SD na medida em que se aumentava o tempo de funcionamento do

sistema operando com água residuária gerada no processamento da castanha do caju. O risco de obstrução de gotejadores foi classificado como severo pois as concentrações de SD ao longo de todo período experimental foram superiores a 2000 mg L^{-1} (NAKAYAMA; BOMAN; PITTS, 2006).

Os níveis populacionais de coliformes totais (CT) oscilaram de 3 a 545 NMP 100 mL^{-1} , sendo que o valor médio foi de 153 NMP 100 mL^{-1} . Esse fato pode ser explicado pelas elevadas concentrações de Na^+ e Cl^- que são elementos químicos que inibem o desenvolvimento de microrganismos. O risco biológico de obstrução de gotejadores pela água residuária da castanha de caju é classificado como baixo conforme as recomendações propostas por Nakayama, Boman e Pitts (2006).

Na Tabela 6, estão representadas as equações de regressão linear múltipla ajustadas às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação com gotejador G1 em função das características físicas (pH e SD), químicas (Ca, Mg, Mn e Fe) e microbiológicas (CT) da água residuária do processamento da castanha de caju tratada e os respectivos coeficientes de determinação.

Para a variável CUC, foi observado o efeito linear das características pH, CT, Ca e Mg, tendo coeficiente de determinação de 0,97. Na variável CUD notou-se efeito linear das características pH, SD, CT, Ca e Mg, sendo o valor do coeficiente de determinação de 0,99. A variável CUD teve efeito linear das características pH, SD, CT, Mn, Fe, Ca e Mg, tendo coeficiente de determinação de 0,99. Para a variável Q, foi observado o efeito linear das características pH, CT e Ca, sendo o valor do coeficiente determinação de 0,74.

Tabela 6. Equações de regressão ajustadas às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação com gotejador G1 em função das características físicas (pH e SD), químicas (Ca, Mg, Mn e Fe) e microbiológicas (CT) da água residuária do processamento da castanha de caju tratada e os respectivos coeficientes de determinação.

Equações de regressão	R ²
$\widehat{CUC} = 56,2867 + 6,7134^{**}pH - 0,009540^{*}CT - 0,8524^{*}Ca^{2+} - 2,7053^{**}Mg^{2+}$	0,97
$\widehat{CUD} = 417,1040 - 10,2767^{*}pH - 0,007141^{0}CT + 1,3361^{*}Ca^{2+} - 6,1307^{**}Mg^{2+} - 0,1061^{**}SD$	0,99
$\widehat{CVQ} = -115,7570 - 1,4681^{0}pH + 0,007731^{*}CT + 26,8742^{*}Mn + 26,6800^{*}Fe + 0,2057^{*}Ca^{2+} + 4,2977^{**}Mg^{2+} + 0,04457^{*}SD$	0,99
$\widehat{Q} = -0,2655 + 0,2444^{*}pH - 0,0003652^{0}CT - 0,03368^{0}Ca^{2+}$	0,74

Nota: pH = potencial hidrogeniônico; Ca²⁺ = cálcio, mmol_c L⁻¹; Mg²⁺ = magnésio, mmol_c L⁻¹; Mn = manganês total, mg L⁻¹; Fe = ferro total, mg L⁻¹; SD = sólidos dissolvidos, mg L⁻¹; e CT = coliformes totais, NMP 100 mL⁻¹; sendo NMP = número mais provável. **, *, e ⁰ significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

No trabalho apresentado por Batista et al. (2008) com esgoto doméstico terciário foram obtidos modelos de regressão linear múltipla para a relação entre a vazão média das unidades de aplicação com distintos gotejadores e os fatores de entupimento tempo de operação, manganês total, ferro total, sólidos dissolvidos e potencial hidrogeniônico. Os referidos autores verificaram que existem relações lineares entre a redução de vazão nos gotejadores, as concentrações das características de entupimento e o tempo de operação; e que os coeficientes de determinação oscilaram de 0,98 a 0,99.

4.2 Caracterização do biofilme formado nas linhas laterais e nos gotejadores

Constatou-se no equipamento de aplicação o desenvolvimento de biofilme complexo nos três modelos de gotejadores, resultante da interação entre agentes físico (PH, sólidos suspensos), químico (sólidos dissolvidos, cálcio, magnésio e manganês) e biológico (bactérias).

Os biofilmes ficaram acumulados em toda a parte interna da tubulação do sistema de irrigação, no entanto suas ocorrências mais visíveis foram percebidas nos labirintos dos três modelos de gotejadores, conforme apresentado na Figura 9, onde estão apresentadas ilustrações dos gotejadores com a presença de biofilme.

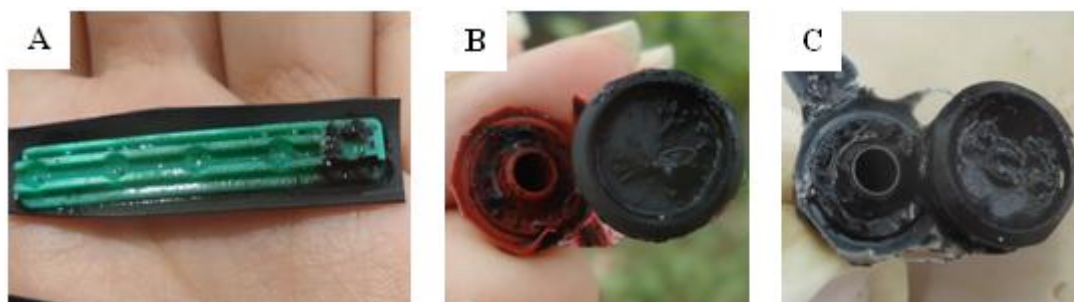


Figura 9. Gotejador G1 com a presença de biofilme (A); gotejador G2 com a presença de biofilme (B); gotejador G3 com a presença de biofilme (C).

A formação desse biofilme deveu-se, em parte, à não-realização de abertura de finais de linhas laterais para limpeza, tendo a ausência dessa prática o propósito de potencializar os efeitos do entupimento e, conseqüentemente, apontar o gotejador menos suscetível ao entupimento. Processo semelhante foi observado no trabalho conduzido por Batista (2007) com água residuária da suinocultura.

4.3 Desempenho hidráulico das unidades de irrigação por gotejamento operando com águas residuária de castanha de caju sob distintas pressões de serviço

Na Figura 10, estão representados os valores médios de CUC, CUD, CVQ e Q, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação dotadas do gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores do CUC de 96 e 68%; 98 e 97%; 95 e 95%; e 96 e 98% respectivamente (Figura 10A). De acordo com Merriam e Keller (1978), os valores de CUC, no tempo de operação de 160h, foram classificados como excelentes ($> 90\%$) nas pressões de serviço P2, P3 e P4, enquanto tal coeficiente foi classificado como ruim na pressão de serviço P1.

As unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do CUD de 96 e 48%; 97 e 95%; 93 e 92%; e 94 e 97% respectivamente (Figura 10B). Segundo Merriam e Keller (1978), os valores de CUD, no tempo de operação de 160h, foram classificados como excelentes ($> 90\%$) nas pressões de serviço P2, P3 e P4, porém na pressão de serviço P1 o valor de CUD foi classificado como ruim.

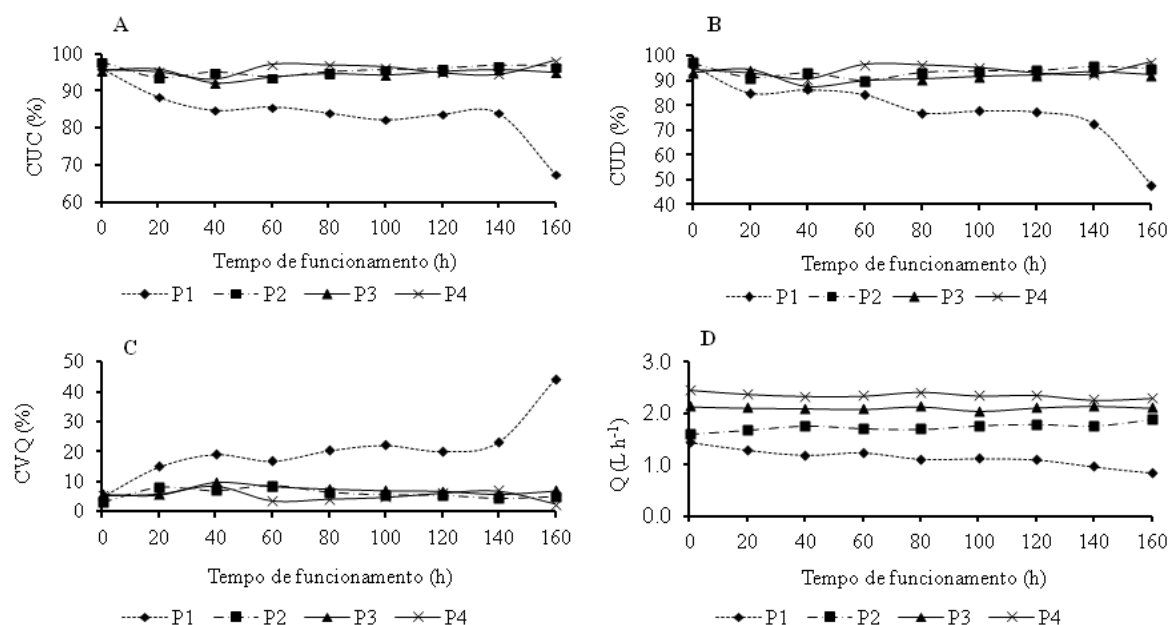


Figura 10. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, na unidade de irrigação com gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores de CVQ de 5 e 44%; 3 e 5%; 6 e 7%; e 5 e 2%, respectivamente (Figura 10C). Verificou-se que no tempo de funcionamento de 160 h o valor de CVQ da unidade de irrigação submetida à pressão de serviço P1 foi superior a 20%, recebendo, assim, a classificação inaceitável, segundo a norma ASABE EP 405 (ASABE STANDARDS, 2003). Os demais valores de CVQ das unidades de irrigação foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons.

As unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do Q de 1,44 e 0,84 L h⁻¹; 1,60 e 1,86 L h⁻¹; 2,13 e 2,10 L h⁻¹; e 2,44 e 2,29 L h⁻¹, respectivamente (Figura 10D). Neste caso, houve redução de 42%; 1%; e 6% nas pressões de serviço P1, P3 e P4 respectivamente.

Em geral, as unidades dotadas do gotejador G1 submetidas às pressões de serviço P1, P3 e P4 apresentaram tendência de decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q e de crescimento nos valores de CVQ, ao longo do tempo de funcionamento.

Na Figura 11, estão representados os valores médios de CUC, CUD, CVQ e Q, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

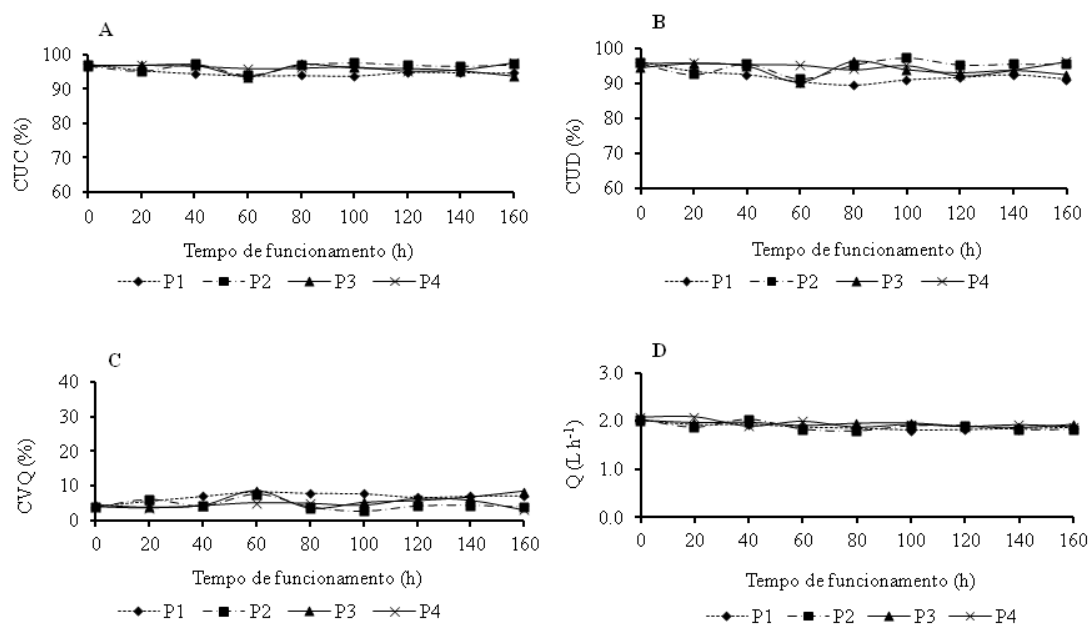


Figura 11. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores do CUC de 97 e 95%; 97 e 97%; 97 e 94%; e 97 e 98% respectivamente (Figura 11A). Todos os valores de CUC foram classificados como excelentes ($> 90\%$), de acordo com Merriam e Keller (1978).

As unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do CUD de 96 e 91%; 96 e 96%; 95 e 93%; e 96 e 96%, respectivamente (Figura 11B). Segundo Merriam e Keller (1978), todos os valores foram excelentes para o CUD ($> 90\%$).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores de CVQ de 4 e 7%; 4 e 4%; 5 e 8%; e 4 e 3%, respectivamente (Figura 11C). Verificou-se que os valores de CVQ das unidades de irrigação foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASABE EP 405 (ASABE STANDARDS, 2003).

As unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do Q de 2,01 e 1,86 L h⁻¹; 2,03 e 1,82 L h⁻¹; 2,01 e 1,93 L h⁻¹; e 2,09 e 1,87 L h⁻¹, respectivamente (Figura 11D). Neste caso, houve redução de 8%; 10%; 4 % e 10% nas unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

Em geral, as unidades dotadas do gotejador G2 submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram ligeiro decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q e pequeno aumento nos valores de CVQ, ao longo do tempo de funcionamento.

Na Figura 12, estão representados os valores médios de CUC, CUD, CVQ e Q, ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores do CUC de 97 e 94%; 97 e 97%; 98 e 97%; e 98 e 97%, respectivamente (Figura 12A). Todos os valores de CUC foram classificados como excelentes ($> 90\%$), de acordo com Merriam e Keller (1978).

As unidades submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do CUD de 97 e 91%; 96 e 95%; 96 e 95%; e 97 e 96%, respectivamente (Figura 12B). Todos os valores de CUC foram classificados como excelente ($> 90\%$), conforme proposto por Merriam e Keller (1978).

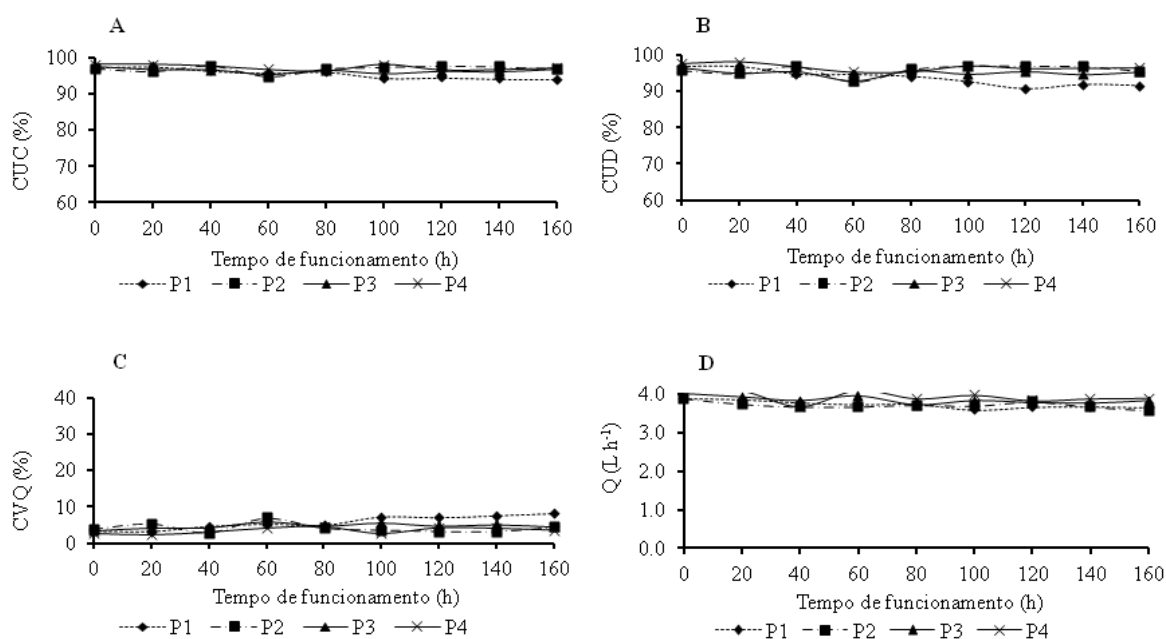


Figura 12. Valores médios de CUC (A), CUD (B), CVQ (C) e Q (D), ao longo do período de operação, nas unidades de irrigação com gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1 (70 kPa), P2 (140 kPa), P3 (210 kPa) e P4 (280 kPa).

Nos tempos de funcionamento inicial e 160h, as unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram valores de CVQ de 3 e 8%; 4 e 4%; 3 e 4%; e 3 e 4%, respectivamente (Figura 12C). Verificou-se que os valores de CVQ das

unidades de irrigação foram inferiores a 10%, sendo classificados como bons, segundo a norma ASABE EP 405 (ASABE STANDARDS, 2003).

As unidades de irrigação submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, nos tempos de funcionamento inicial e 160h apresentaram valores do Q de 3,88 e 3,65 L h⁻¹; 3,89 e 3,57 L h⁻¹; 4,01 e 3,82 L h⁻¹; e 4,10 e 3,90 L h⁻¹, respectivamente (Figura 12D). Neste caso, houve redução de 6 %; 8%; 5 % e 5% nas pressões de serviço P1, P2, P3 e P4, respectivamente.

Em geral, as unidades de irrigação dotadas do gotejador G3 submetidas às pressões de serviço P1, P2, P3 e P4 apresentaram ligeiro decréscimo nos valores de CUC, CUD e Q e pequeno crescimento nos valores de CVQ, ao longo do tempo de funcionamento.

4.4 Análises de variância e equações de regressão das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação

Na Tabela 7, encontra-se o resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação no esquema de parcelas subsubdivididas.

Verificou-se, nas variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, que a interação P x G x T foram significativas a 1% de probabilidade. A determinação do coeficiente de variação é importante, pois permite comparar a variação de conjuntos de observações que diferem na média ou são medidos em grandezas diferentes. Em vista dos resultados das análises de variância, procedeu-se ao desdobramento da interação P x G x T.

Na Tabela 8 estão apresentadas as equações de regressão que apresentaram melhor ajuste às variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação em função da pressão de serviço (P) e do tempo de funcionamento (T), para os tipos de gotejadores (G) estudados e os respectivos coeficientes de determinação.

Tabela 7. Resumo das análises de variância obtidas das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q, no esquema de parcelas subsubdivididas.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio			
		CUC	CUD	CVQ	Q
Pressão de serviço (P)	3	450,59**	917,75**	759,24**	3,83**
Resíduo (a)	6	4,06	6,17	6,37	0,0041
Tipo de gotejador (G)	2	495,41**	986,19**	806,68**	134,84**
P x G	6	219,88**	355,39**	376,08**	1,99**
Resíduo (b)	16	1,89	3,92	3,06	0,0024
Tempo de funcionamento (T)	8	27,10**	73,52**	52,55**	0,12**
P x T	24	24,78**	77,30**	46,15**	0,025**
G x T	16	11,15**	31,08**	21,71**	0,014**
P x G x T	48	13,98**	44,88**	26,41**	0,018**
Resíduo (c)	194	2,18	6,35	3,58	0,0026
CV (%) parcela		2,12	2,67	38,90	2,54
CV (%) subparcela		1,45	2,13	26,98	1,93
CV (%) subsubparcela		1,55	2,71	29,18	2,04

**F significativo a 1% de probabilidade. CV = coeficiente de variação.

Tabela 8. Equações de regressão das variáveis CUC, CUD, CVQ e Q das unidades de irrigação em função das pressões de serviço (P) e dos períodos de operação (T), para os tipos de gotejadores (G) estudados e os respectivos coeficientes de determinação.

G	Equações de regressão	R ²
1	$\widehat{CUC} = 73,0229 - 0,02257*T + 0,2309**P - 0,0005201**P^2$	0,60
2	$\widehat{CUC} = \overline{CUC} = 95,8845$	-
3	$\widehat{CUC} = \overline{CUC} = 96,4973$	-
1	$\widehat{CUD} = 79,2489 - 0,2137**T + 0,2155**P - 0,0006465**P^2 + 0,0009540**TP$	0,67
2	$\widehat{CUD} = \overline{CUD} = 93,9857$	-
3	$\widehat{CUD} = \overline{CUD} = 95,2040$	-
1	$\widehat{CVQ} = 24,3466 + 0,1591**T - 0,2390**P + 0,0006612**P^2 - 0,0007110**TP$	0,71
2	$\widehat{CVQ} = \overline{CVQ} = 5,4019$	-
3	$\widehat{CVQ} = \overline{CVQ} = 4,4692$	-
1	$\widehat{Q} = 0,4458 - 0,0006486*T + 0,01193**P - 0,00001776**P^2$	0,96
2	$\widehat{Q} = 1,9595 + 0,0003704**P - 0,002540**T + 0,00001004**T^2$	0,63
3	$\widehat{Q} = 3,7526 - 0,003078**T + 0,00001172*T^2 + 0,001095**P$	0,63

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

Nas unidades de irrigação com gotejador G1, houve efeito quadrático da pressão de serviço (P) e linear do período de operação (T) na alteração dos valores do CUC, CUD, CVQ e Q. Foi observado o efeito para a interação entre o período de operação (T) e a pressão de serviço (P) nas unidades de irrigação com os gotejadores G1 para os valores de CUD e CVQ, respectivamente. Nesse caso, as equações de regressão ajustadas aos valores de CUC, CUD, CVQ e Q apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,60; 0,67; 0,71; e 0,96, respectivamente.

No trabalho realizado por Batista (2007) com gotejador não autocompensante de $1,7 \text{ L h}^{-1}$ operando com água residuária de suinocultura, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou a relação entre CUC e CUD e o tempo de operação de 160 h. Ainda segundo o referido autor, o modelo linear foi o que melhor se ajustou aos dados de CVQ em função do tempo de operação e para Q houve efeito quadrático do período de operação (T) e linear da pressão de serviço (P).

Não houve efeito para pressão de serviço e tempo de funcionamento na alteração dos valores do CUC, CUD e CVQ nas unidades dotadas com gotejadores G2 e G3, sendo assim mantida a média.

Na Figura 13 esta apresentada a superfície de resposta relacionando o CUC em função do tempo de funcionamento e pressão de serviço na unidade de irrigação com gotejador G1.

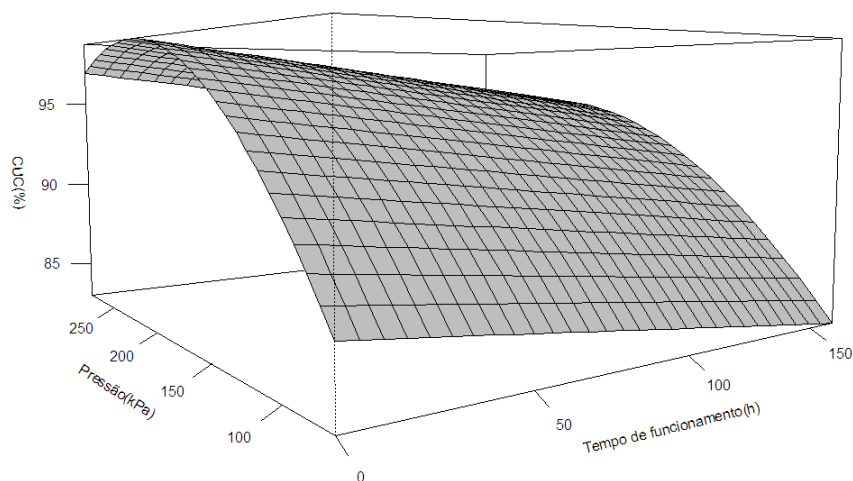


Figura 13. Superfície de resposta relacionando o CUC em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.

Verifica-se efeito quadrático da pressão de serviço e linear do período de operação na alteração dos valores do CUC nas unidades de irrigação com gotejador G1. Pode-se perceber o aumento nos valores do CUC na medida em que aumenta também os valores da

pressão de serviço, atingindo um valor máximo para o CUC na pressão 222 kPa. O aumento no tempo de funcionamento provoca redução nos valores de CUC.

Na Figura 14 esta apresentada a superfície de resposta relacionando o Q em função do tempo de funcionamento (T) e pressão de serviço (P) na unidade de irrigação com gotejador G1.

Observa-se o efeito quadrático da pressão de serviço e linear do período de operação na alteração dos valores de Q nas unidades de irrigação com gotejador G1. Notou-se que a vazão decresce com a diminuição da pressão de serviço. Isto ocorre em virtude da ausência do dispositivo de autocompensação presente no gotejador. O aumento no tempo de funcionamento do sistema também provoca redução nos valores de Q.

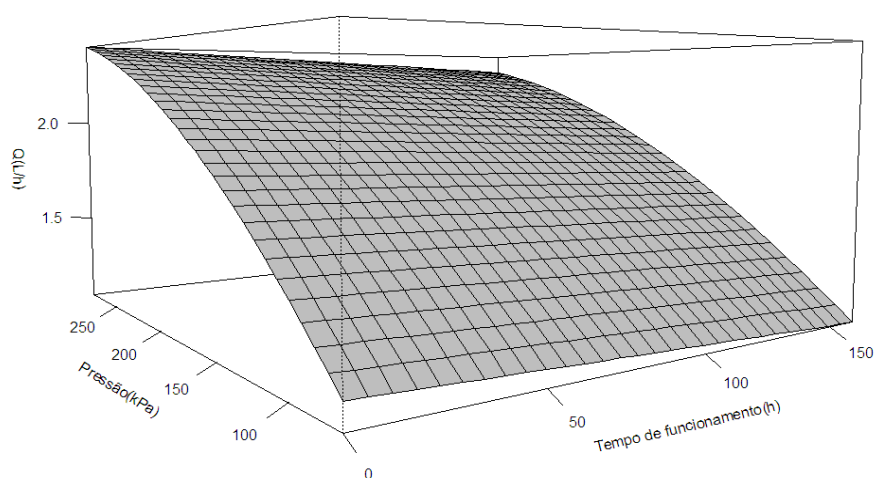


Figura 14. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.

Na Figura 15 esta apresentada a superfície de resposta relacionando o CUD em função do tempo de funcionamento e pressão de serviço na unidade de irrigação com gotejador G1. Observa-se o efeito para a interação entre o período de operação e a pressão de serviço. O CUD apresentou valor máximo quando a pressão de serviço atingiu 224 kPa. Entretanto o valor do CUD decresceu na medida em que se aumentava o tempo de funcionamento do sistema.

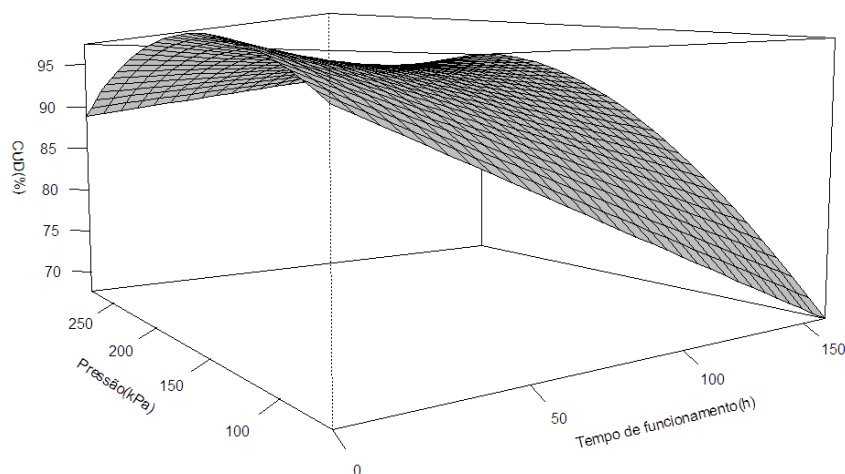


Figura 15. Superfície de resposta relacionando o CUD em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.

Na Figura 16 esta apresentada a superfície de resposta relacionando o CVQ em função do período de funcionamento e pressão de serviço na unidade de irrigação com gotejador G1. Observa-se que o CVQ apresenta seu valor mínimo na pressão 181 kPa. Foi observado o efeito para a interação entre o período de operação e a pressão de serviço. O CVQ aumenta em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação.

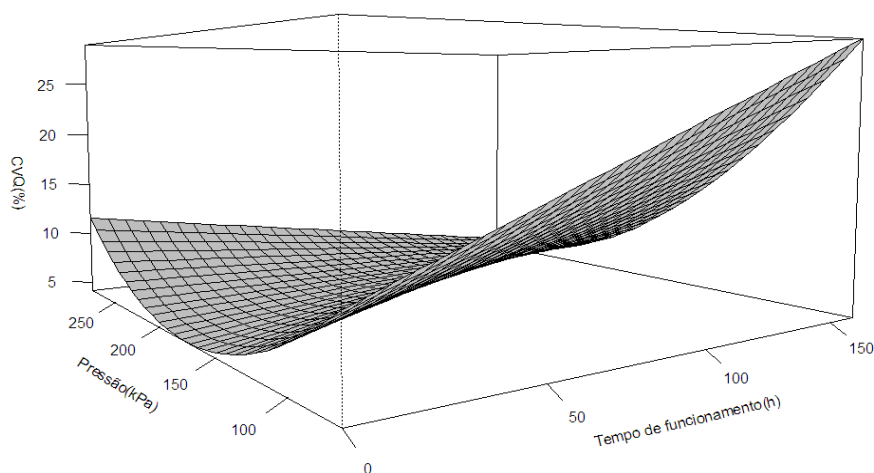


Figura 16. Superfície de resposta relacionando o CVQ em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G1.

Na Figura 17 esta apresentada a superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressão de serviço na unidade de irrigação com gotejador G2. Observa-se que Q atingiu seu valor mínimo quando o tempo de operação atingiu 126 h. Houve efeito linear da pressão de serviço e quadrático do tempo de funcionamento na alteração dos valores de Q.

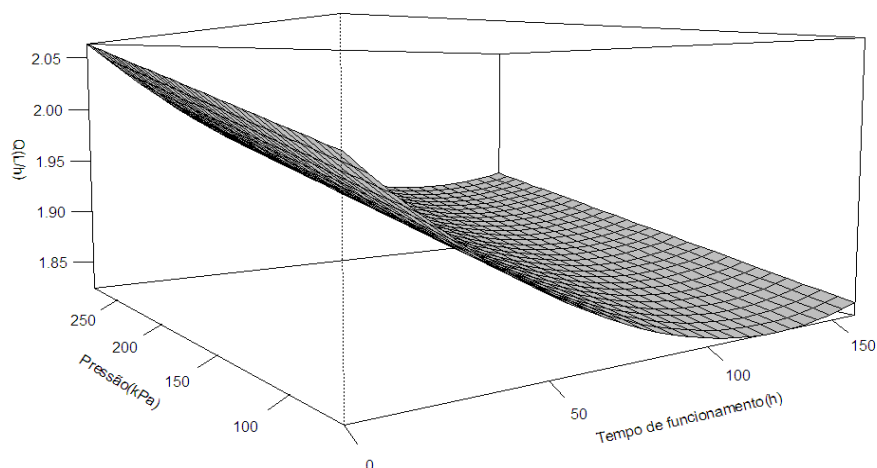


Figura 17. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G2.

Na Figura 18 esta representada a superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressão de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G3. Na unidade de irrigação com o gotejador G3, houve efeito linear da pressão de serviço (P) e quadrático do tempo de funcionamento na alteração dos valores de Q.

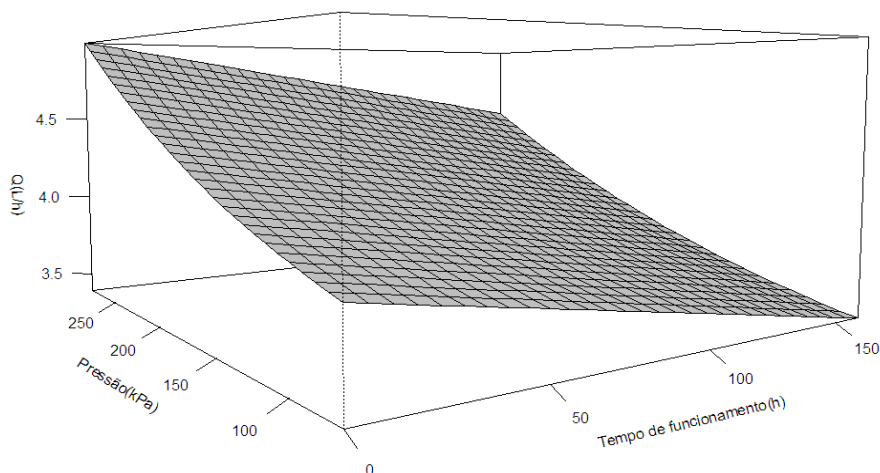


Figura 18. Superfície de resposta relacionando Q em função do tempo de funcionamento e pressões de serviço nas unidades de irrigação com gotejador G3.

No trabalho realizado por Batista (2007) com gotejador autocompensante de 3,6 L h⁻¹ operando com água residuária de suinocultura, o modelo quadrático foi o que melhor se ajustou ao CUC e CVQ em função do período de operação de 160 h; já para Q em função do período de operação o modelo que melhor se ajustou foi o linear; e houve efeito linear da pressão de serviço e quadrático do tempo de funcionamento na alteração dos valores de CUD.

Estão apresentados na Tabela 9 os valores médios da variável CUC das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço operando com água residuária do processamento da castanha do caju.

Tabela 9. Valores médios da variável CUC (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	96,12a	97,78a	95,41a	95,75a
	G2	97,30a	96,77a	96,62a	96,99a
	G3	97,22a	96,93a	97,50a	97,96a
20	G1	88,42b	93,47a	94,33a	95,21b
	G2	95,44a	95,28a	95,73a	96,98ab
	G3	97,51a	96,14a	94,91a	98,10a
40	G1	84,79b	95,00a	92,00b	93,27b
	G2	94,48a	97,29a	97,01a	96,68a
	G3	96,36a	97,72a	96,56a	97,67a
60	G1	85,77b	93,64a	93,60a	97,15a
	G2	93,85a	94,12a	93,44a	95,97a
	G3	95,75a	93,64a	95,24a	96,77a
80	G1	84,09b	95,04a	94,57a	96,99a
	G2	93,94a	96,96a	97,21a	96,10a
	G3	96,09a	96,87a	96,45a	96,39a
100	G1	82,25b	95,61a	94,17a	96,54a
	G2	93,76a	97,66a	96,09a	96,48a
	G3	94,38a	97,31a	95,45a	98,08a
120	G1	83,73b	96,03a	95,15a	94,95a
	G2	94,88a	97,04a	95,96a	95,22a
	G3	94,54a	96,03a	96,12a	96,66a
140	G1	84,02b	96,83a	95,66a	94,49a
	G2	94,75a	96,72a	95,28a	95,58a
	G3	94,17a	97,44a	95,98a	96,78a
160	G1	67,74b	96,59a	94,87ab	98,20a
	G2	94,67a	97,14a	93,62b	97,65a
	G3	94,05a	96,81a	96,73a	97,17a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 70 kPa; P2 = 140 kPa; P3 = 210 kPa; e P4 = 280 kPa.

Verificou-se na pressão de serviço P1 que o CUC da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUC das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 20h.

Na pressão de serviço P3, verificou-se que o CUC da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUC das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, no tempo de funcionamento de 40h. Verificou-se ainda que, no tempo de funcionamento de 160h, o CUC da unidade de irrigação com gotejador G3 diferiu do CUC da unidade de irrigação com gotejador G2.

Na pressão de serviço P4, verificou-se que o CUC da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUC da unidade com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 20h. No tempo de funcionamento de 40h, verificou-se diferença entre CUC da unidade de irrigação com gotejador G1, com o CUC das unidades de irrigação com os gotejadores G2 e G3.

Estão apresentados na Tabela 10 os valores médios da variável CUD das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço operando com água residuária do processamento da castanha do caju.

Constata-se, nesta tabela, na pressão de serviço P1, que o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 20h.

Na pressão de serviço P3, verificou-se que o CUD das unidades de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades com gotejadores G2 e G3, nos tempos de funcionamento de 40 e 80h.

Na pressão de serviço P4, o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD da unidade de irrigação com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 20h. Verificou-se ainda na pressão de serviço P4, que o CUD da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CUD das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, no tempo de funcionamento de 40h.

Tabela 10. Valores médios da variável CUD (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	96,14a	97,20a	92,98a	94,33a
	G2	96,14a	95,89a	94,55a	95,89a
	G3	96,75a	95,57a	96,53a	97,56a
20	G1	85,07b	91,14a	95,80a	93,04b
	G2	93,38a	92,66a	96,93a	96,05ab
	G3	96,69a	94,78a	96,62a	97,90a
40	G1	86,37b	92,99a	87,49b	90,64b
	G2	92,45a	95,73a	94,99a	95,56a
	G3	94,57a	96,70a	95,40a	96,59a
60	G1	84,40b	89,92a	89,86a	96,40a
	G2	90,41a	89,92a	90,39a	95,42a
	G3	94,43a	92,63a	92,67a	95,18a
80	G1	77,05b	93,24a	90,50b	96,21a
	G2	89,40a	95,37a	96,36a	94,04a
	G3	93,95a	95,86a	95,68a	95,92a
100	G1	77,80b	93,83a	91,53a	95,11a
	G2	90,93a	97,46a	93,96a	95,30a
	G3	92,48a	96,78a	94,63a	96,85a
120	G1	77,34b	94,02a	92,14a	93,03a
	G2	91,64a	95,44a	93,05a	92,29a
	G3	90,44a	94,02a	95,42a	96,15a
140	G1	72,52b	95,75a	93,37a	92,49a
	G2	92,41a	95,69a	93,77a	93,96a
	G3	91,70a	96,68a	94,52a	96,24a
160	G1	48,04b	94,95a	92,22a	97,43a
	G2	91,14a	95,61a	92,53a	96,44a
	G3	91,37a	95,46a	95,31a	96,27a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 70 kPa; P2 = 140 kPa; P3 = 210 kPa; e P4 = 280 kPa.

Estão apresentados na Tabela 11 os valores médios da variável CVQ das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço operando com água residuária do processamento da castanha do caju.

Verificou-se, nessa tabela que, na pressão de serviço P1, o CVQ da unidade com o gotejador G1, diferiu do CVQ das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3, a partir do tempo de funcionamento de 20h.

Na pressão de serviço P2, verificou-se que o CVQ da unidade com gotejador G1, diferiu do CVQ da unidade de irrigação com gotejador G3, no tempo de funcionamento de 40h.

Tabela 11. Valores médios da variável CVQ (%) das unidades de irrigação para o fator gotejador dentro de cada nível de tempo de funcionamento e cada nível de pressão de serviço.

Tempo de funcionamento (h)	Gotejador	Pressão de serviço*			
		P1	P2	P3	P4
0	G1	4,80a	2,83a	5,63a	5,13a
	G2	3,91a	3,84a	4,51a	4,04a
	G3	3,29a	3,79a	3,34a	2,82a
20	G1	14,81a	7,81a	5,41a	5,69a
	G2	5,51b	5,99a	3,87a	3,68a
	G3	3,15b	5,33a	4,17a	2,25a
40	G1	19,02a	6,77a	9,74a	8,46a
	G2	7,00b	4,17ab	4,44b	4,30b
	G3	4,56b	2,77b	4,23b	2,97b
60	G1	16,78a	8,49a	8,34a	3,34a
	G2	8,38b	7,48a	8,49a	5,12a
	G3	5,17b	6,92a	5,97a	4,03a
80	G1	20,28a	6,26a	7,45a	3,91a
	G2	7,88b	3,94a	3,61b	4,92a
	G3	4,84b	4,11a	4,73ab	4,46a
100	G1	22,07a	5,39a	6,92a	4,53a
	G2	7,78b	2,73a	5,22a	4,40a
	G3	7,15b	3,53a	5,62a	2,61a
120	G1	20,03a	5,24a	6,73a	6,02a
	G2	6,64b	4,21a	5,73a	6,24a
	G3	6,95b	3,13a	4,71a	4,16a
140	G1	23,11a	4,22a	5,66a	6,75a
	G2	7,07b	4,39a	6,74a	5,71a
	G3	7,47b	3,12a	5,11a	4,00a
160	G1	44,12a	4,80a	6,79ab	2,27a
	G2	7,11b	3,91a	8,42a	3,08a
	G3	8,08b	4,34a	4,49b	3,53a

* Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas colunas para cada tempo de funcionamento e pressão de serviço não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. P1 = 70 kPa; P2 = 140 kPa; P3 = 210 kPa; e P4 = 280 kPa.

Na pressão de serviço P3, foi verificado que o CVQ da unidade de irrigação com gotejador G1, diferiu do CVQ das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3 no tempo de funcionamento de 40h; o CVQ da unidade com gotejador G1 diferiu do CVQ da unidade de irrigação com gotejador G2 no tempo de funcionamento de 80h; e no tempo de

funcionamento de 160h, o CVQ da unidade de irrigação com gotejador G2, diferiu do CVQ das unidades de irrigação com gotejador G3.

Na pressão de serviço P4, foi verificado diferença apenas no tempo de funcionamento de 40h, onde o CVQ da unidade de irrigação com gotejador G1 diferiu do CVQ das unidades de irrigação com gotejadores G2 e G3.

Estes valores médios das variáveis CUC, CUD e CVQ permitem afirmar que os gotejadores G2 e G3 são os mais indicados na pressão de serviço P1(70 kPa), uma vez que ambos possuem o dispositivo de autocompensação, que minimiza o processo de obstrução.

O gotejador G1 é mais indicado para a pressão de serviço P2(140 kPa), uma vez que sua utilização se torna mais viável no ponto de vista econômico com relação as pressões de serviço P3(210 kPa) e P4 (280kPa).

5 CONCLUSÕES

A água residuária gerada no processamento da castanha de caju representa risco de obstrução de gotejadores em relação às características pH, cálcio, magnésio, manganês, sólidos suspensos, sólidos totais e coliformes totais.

A formação de biofilme resultante da interação entre os agentes físico, químico e biológico propiciou entupimento parcial dos gotejadores e, conseqüentemente, redução na uniformidade de aplicação de efluente nas unidades de irrigação.

As unidades de irrigação que funcionaram na pressão de serviço P1 (70 kPa) apresentaram maior nível de entupimento de gotejadores em relação àquelas com as pressões de serviço P2 (140 kPa), P3 (210kPa) e P4 (280 kPa).

O gotejador G1 é mais suscetível ao entupimento do que os gotejadores G2 e G3, devido ao maior comprimento de labirinto. Tal gotejador é mais indicado sob a pressão de serviço P2 (140 kPa) quando da aplicação da água residuária gerada no processamento da castanha de caju.

O gotejador G2 operando na pressão de serviço P1(70 kPa) é o mais recomendado para aplicação da água residuária gerada no processamento da castanha de caju.

REFERÊNCIAS

AGOSTINO-COSTA, T. S.; JALES, K. A.; OLIVEIRA, M. E. B.; GARRUTI, D. S. **Determinação espectrofotométrica de ácido anacárdico em amêndoas de castanha de caju**. Brasília: MAPA, 2005. 10p. (Comunicado técnico, n.122).

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washigton: APHA/AWWA/WEF, 2005. 1268p.

AL-KARAKI, G.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. Response of soilless grown bell pepper cultivars to salinity. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v. 807, n. 2, p. 227-232, 2009.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS - ASABE EP 405. Design and installation of microirrigation systems. **ASAE Standards**, St. Joseph, p.900-905, 2003.

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

BATISTA, R. O.; SOARES, A. A.; SOUZA, J. A. R.; OLIVEIRA BATISTA, R.. Modelos empíricos da irrigação localizada com esgoto sanitário tratado. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.16, n.3, p.369-377, 2008.

BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; CUNHA, F. F.; Lo MONACO, P. A. Formação de biofilme em gotejadores aplicando água residuária da despolpa dos frutos do cafeeiro. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.29, n.3, p.367-371, 2007.

BATISTA, R. O. **Desempenhos de sistemas de irrigação por gotejamento utilizado na aplicação de água residuária de suinocultura**. Viçosa: DEA/UFV, 2007. 146f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

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

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

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

BRASIL. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: < http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 20 jun. 2012.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.15, n.16, p.1529-1534, 2007.

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

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

CARUSO, G.; VILLARI, G. Effect of EC-level and plant shading on the NFT-grown "Friariello Pepper". **Acta Horticulturae**, Amsterdam, v.659, n.2, p.576-585, 2004.

CEARÁ. **Portaria nº 154, de 22 de julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 20 jun. 2012.

CHEDEVILLE, O.; DEBACQ, M.; PORTE, C. Removal of phenolic compounds present in olive mill wastewaters by ozonation. **Desalination**, Amsterdam, v.249, n.2, p.865-869, 2009.

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

COELHO, R. D. **Contribuições para a irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 f. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CORDEIRO, E. A.; VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C. Principais causas de obstruções de gotejadores e possíveis soluções. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, n.6, 41p. 2003.

DAZHUANG, Y.; ZHIHUI, B.; ROWAN, M.; LIKUN, G.; SHUMEI, R.; PEILING, Y. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**, Beijing, v.21, n.6, p.834-841, 2009.

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

DIAS, N. S.; JALES, A. J. O.; NETO, O. N. S.; GONZAGA, M. I. S.; QUEIROZ, I. S. R.; PORTO, M. A. F. Uso de rejeito da dessalinização na solução nutritiva da alface, cultivada em fibra de coco. **Revista Ceres**, Viçosa, v.58, n.5, p.632-637, 2011.

DURAN-ROS, M.; PUIG-BARGUE´S, J.; ARBAT, G.; BARRAGA´N, J.; RAMI´REZ DE CARTAGENA, F. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.96, n.1, p.67-79, 2009.

EL-GOHARY, F. A.; BADAWY, M. I.; EL-KHATEEB, M. A.; EL-KALLINY, A. S. Integrated treatment of olive mill wastewater by the combination of fenton's reaction and anaerobic treatment. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v.162, n.2-3, p.1536-1541, 2009.

EMBRAPA. **Minifábrica de processamento de castanha de caju**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Minifabrica_castanha_000fyrilq6902wx5ok0pvo4k364paqth.pdf. Acesso em: 07 jul. 2012.

EMBRAPA. **Cultivo do cajueiro**. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Caju/CultivodoCajueiro/index.htm> >. Acesso em: 11 ago. 2009.

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

FERNANDES, J. B.; HOLANDA, J. S.; CHAGAS, M. C. M.; LIMA, J. M. P.; OLIVEIRA, J. S. F. **Recomendações técnicas para o cultivo do cajueiro**. Natal: EMPARN, 2009. 18p.

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

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

INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERAÇÃO PARA AGRICULTURA – IICA. **Fruticultura: Caju parte 1 e 2**. Brasília: FBB, 2010. 42p. (Desenvolvimento Regional Sustentável, Série cadernos de propostas para atuação em cadeias produtivas, volume 4)

JAMAL, P.; IDRIS, Z. M.; ALAM, M. Z. Effects of physicochemical parameters on the production of phenolic acids from palm oil mill effluent under liquid-state fermentation by

Aspergillus niger IBS-103ZA. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.124, n.4, p.1595-1602, 2011.

LIU, H.; HUANG, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.96, n.5, p. 745-756, 2009.

SANTOS, D. C.; LOBATO, M. B.; VOLPI, N. M. P.; BORGES, L. Z. Hierarquização de medidas da conservação de água em edificações residenciais com o auxílio da análise multicritério. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.1, p.31-47, 2006.

LOPES, M. S. S.; OLIVEIRA, P. C. C.; ANDRADE, M. V. F.; ARAÚJO, R. S.; MARINHO, G.; RODRIGUES, K. Remoção de macronutrientes de efluente da indústria de castanha de caju por uso de reator aeróbio em batelada com inóculo fúngico. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.1, p.17-26, 2011.

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

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

OBRADOR, A.; NOVILLO, J.; ALVAREZ, J. M. Mobility and Availability to Plants of Two Zinc Sources Applied to a Calcareous Soil. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v.67, n.1, p.564-572, 2003.

OLIVEIRA, V. H. Cajucultura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, n.1, p. 0-0. 2008.

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

PATERNIANI, J. E. S.; PINTO, J. M. Qualidade da água. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M (Eds.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP/SBEA, 2001, p.195-253. (Série engenharia agrícola, volume 1).

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

PRADO, R. B.; TAVARES, S. R. L.; BEZERRA, F. B.; RIOS, L. C.; ESCALEIRA, V. **Manual técnico de coleta, acondicionamento, preservação e análises laboratoriais de amostras de água para fins agrícolas e ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 97p. (Documento n. 65.)

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

R Development Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, 2010. URL <http://www.R-project.org>.

REJANI, R.; YADUKUMAR, N. Soil and water conservation techniques in cashew grown along steep hill slopes. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.126, n.3, p.371-378, 2010.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; MELO, A. L. P. **Guia prático para utilização do SAEG**. Viçosa-MG: UFV, 2008. 288p.

RIBEIRO, T. A. P.; AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S. Efeito da qualidade da água na perda de carga em filtros utilizados na irrigação localizada, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.1, p.1-6, 2005.

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

SANTOS, S. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; MANTOVANI, E. C.; BATISTA, R. O. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.14, n.2, p.32-36 38, 2006.

SAVVAS, D.; STAMATIB,E.; TSIROGIANNISB, I.L.; MANTZOSB, N.; BAROUCHASB, P.E.; KATSOULASC, N.; KITTAS, C. Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed-cycle hydroponic systems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.91, n.1-2, p.102-111, 2007.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SCULLY, C.; COLLINS, G.; O'FLAHERTY, V. Anaerobic biological treatment of phenol at 9.5–15 °C in an expanded granular sludge bed (EGSB)-based bioreactor. **Water Research**, Oxford, v.40, n.20, p.3737-3744, 2006.

SOARES T, M.; SILVA I.J.O.; DUARTE S.N.; SILVA E.F.F.; Destinação de águas residuárias provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3 p.730-737, 2006.

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

SOUZA, K. R. **Degradação foto-fenton de carbono orgânico total em efluentes da indústria de beneficiamento de castanha de caju**. Natal: 2005. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

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

SUGUIO, K. **Água**. Ribeirão Preto: Holos Editora Ltda, 2006. 242 p.

VIEIRA, G. H. S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; RAMOS, M. M.; SILVA, C. M. Recuperação de gotejadores obstruídos de devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.1-6, 2004.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.3, p.621-33, 2000.