

**BRENO LEONAN DE CARVALHO LIMA**

**CULTIVO DO ALGODOEIRO BRS RUBI COM ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO  
TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO**

**RECIFE**

**2018**

BRENO LEONAN DE CARVALHO LIMA

CULTIVO DO ALGODOEIRO BRS RUBI COM ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO  
TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Engenharia de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

Coorientador: Prof. Dr. Luís Fernando de Souza Magno Campeche

RECIFE

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

L732c Lima, Breno Leonan de Carvalho.  
Cultivo do algodoeiro BRS Rubi com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no semiárido pernambucano / Breno Leonan de Carvalho Lima. – Recife, 2018.  
141 f.: il.

Orientador(a): Ênio Farias de França e Silva.  
Coorientador(a): Luís Fernando de Souza Magno Campeche.  
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola, Recife, BR-PE, 2018.  
Inclui referências.

1. Gossypium hirsutum L. 2. Reuso 3. Irrigação 4. Fonte hídrica 4. Indústria têxtil I. Silva, Ênio Farias de França e, orient. II. Campeche, Luís Fernando de Souza Magno, coorient. III. Título

CDD 630

BRENO LEONAN DE CARVALHO LIMA

CULTIVO DO ALGODOEIRO BRS RUBI COM ÁGUA DE ESGOTO DOMÉSTICO  
TRATADO E DOSES DE POTÁSSIO NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Tese de Doutorado defendida e aprovada pela banca examinadora em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ênio Faria de França e Silva (Presidente)  
DEAGRI – UFRPE

---

Dr. José Renato Cortez Bezerra  
CNPA – EMBRAPA

---

Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza  
DEPA – UFRPE

---

Dr. Hugo Rafael Bentzen Santos  
PPGCS – UFRPE

---

Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva  
DEAGRI – UFRPE

Aos meus avós, Severina Etelvina de Carvalho  
e Antônio Salustiano de Carvalho (*in  
memoriam*).

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar, abençoar e interceder no meu caminho.

À minha amada filha, Liz Maria Calafange de Carvalho, pelo amor incondicional e motivação para sempre seguir em frente.

Aos meus pais, Maria de Fátima Carvalho e Iran Trindade, por todo amor, carinho, apoio, educação e incentivo nos meus estudos e na minha formação pessoal.

Aos meus tios, Ana Maria de Carvalho e Raimundo Nonato de Carvalho, por toda ajuda e apoio que me concederam quando da minha vinda e estabelecimento em Recife.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA/DEAGRI/UFRPE) pela oportunidade de cursar o doutorado e realizar minhas atividades de pesquisa no âmbito desta instituição.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro à realização desta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo suporte financeiro com a concessão da bolsa de estudos.

À Estação de Agricultura Irrigada de Ibimirim (EAI/UAAS/UFRPE) e ao seu coordenador (*in memoriam*), José Mário de Andrade Santana, pelo suporte à utilização das instalações de dormitório e refeitório no âmbito deste câmpus avançado.

À Prefeitura Municipal de Ibimirim (PMI), pelo suporte as instalações do experimento no Bairro Lages, o qual foi de grande importância à realização desta pesquisa.

À Embrapa Algodão (CNP/EMBRAPA) e ao Dr. João Henrique Zonta, pela orientação, disponibilidade e presteza dada durante a condução e análises do experimento.

Ao Dr. Cícero Pereira Cordão Terceiro Neto, pela amizade, paciência, orientação e presteza na condução do experimento e no processo de qualificação.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva, pela paciência, disponibilidade, orientação e confiança na execução desta Tese de Doutorado.

Aos membros da banca examinadora: Dr. José Renato Cortez Bezerra, Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza, Dr. Hugo Rafael Bentzen Santos e o Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva, pela significativa contribuição e presteza sempre que solicitados.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e aos do Departamento de Química, Prof. Dr. Egídio Bezerra Neto e Prof. Dr. Levy Paes Barreto, pela amizade, conselhos e ensinamentos durante o doutoramento.

Ao Prof. Dr. Claudivan Feitosa de Lacerda, pela amizade, orientação e pelos seus ensinamentos e exemplo de dedicação à pesquisa, servindo sempre de motivação para minha pessoa desde o período de mestrado acadêmico.

Ao Prof. Dr. Miguel Ferreira Neto, pela amizade, orientação, ensinamentos e conselhos, motivando-me pessoalmente e profissionalmente.

Ao Prof. Dr. José Francismar de Medeiros, pela amizade, ensinamentos e dedicação ao trabalho, o qual sempre serviu como inspiração na realização das minhas atividades de pesquisas.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis de oliveira (Thikão), pela amizade, exemplo, dedicação e compromisso, sempre inspirando e motivando nos meus estudos.

Ao Prof. Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite, pela amizade, ensinamentos e pelo passo inicial que me proporcionou na pesquisa científica.

Ao Prof. Dr. Salvador Barros Torres, pela presteza e disponibilidade no início do experimento, esclarecendo aspectos técnicos e relevantes sobre fisiologia de sementes.

Aos amigos da turma de doutorado: Cleene Agostinho de Lima, José Jairo Florentino Cordeiro Junior, Luiz Antônio de Almeida Neto e Miguel Júlio Machado Guimarães, pelos momentos de distração e confraternização juntos.

Aos amigos da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, pelos inúmeros momentos de descontração e confraternização ao longo desses quatro anos.

Ao ex-secretário e à secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Manuel Monteiro Cunegundes Capano e Nadia Soares Lins Cassemiro, pela presteza e assistência dadas sempre que solicitados.

Ao Sisgo Rachith Acuña Chinchilla, pela ajuda e colaboração na montagem do experimento de tese em Ibimirim.

À Família Santos, pelo acolhimento e ajuda na montagem do experimento de tese.

Aos amigos de moradia em Recife: Agenor Bezerra de Almeida Júnior e Daniel da Costa Dantas, pela amizade e convivência que tivemos.

Aos amigos Alcione Guimarães Freire e Flávio José Rodrigues Cruz pela amizade, conselhos, paciência e convivência na reta final do doutorado.

À Cynara Moura de Oliveira, pela dedicação, carinho, paciência, companheirismo, amizade e presteza na reta final do doutorado.

À todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desta Tese de Doutorado e fizeram parte deste processo durante esses quatro anos.

À todos vocês...minha gratidão e MUITO OBRIGADO!

“Se todo dinheiro gasto nas guerras fosse utilizado para acabar com a pobreza... para achar soluções para os problemas ambientais... que lugar maravilhoso a Terra seria”. (Seven Suzuki, ECO 92).

## RESUMO

LIMA, Breno Leonan de Carvalho. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Fevereiro de 2018. **Cultivo do algodoeiro BRS Rubi com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no semiárido pernambucano.** Orientador: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva. Conselheiros: Dr. José Renato Cortez Bezerra, Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza, Dr. Hugo Rafael Bentzen Santos, Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva.

Diante da escassez mundial de água, é imprescindível a utilização de fontes alternativas para usos menos restritivos. A cotonicultura no contexto da agricultura familiar é uma importante opção agrícola se tratando da região semiárida, pela sua adaptação as condições de escassez de água. Nos dias atuais, a reutilização de águas servidas se torna uma estratégia primordial para o enfrentamento do problema da falta de água na região semiárida, bem como, visando a obtenção de elevados índices de produtividade e rentabilidade satisfatória. O potássio é um íon relevante às plantas, porém, na maioria dos solos brasileiros onde se cultiva o algodoeiro, a reserva deste nutriente é baixa, sendo imprescindível seu fornecimento. Diante do exposto, estudou-se o efeito da irrigação com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no cultivo do algodoeiro BRS Rubi no semiárido pernambucano. O experimento foi conduzido na Unidade Piloto de Reuso Hidroagrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial (5 x 5) + 1 com 4 repetições, no delineamento de blocos casualizados, consistindo de cinco lâminas de irrigação utilizando água de esgoto doméstico tratado (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% de acordo com o recomendado para a cultura) com uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento com lâmina correspondendo a 100% da ETc e adubada com N, P e K. A aplicação de lâminas com águas de esgoto doméstico tratado e as doses potássicas aumentaram as trocas gasosas foliares, proporcionando melhores índices de crescimento, rendimento e qualidade tecnológica da fibra. A lâmina de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado promoveu ganhos de 983 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço em relação à TA. A utilização de águas residuárias proporcionou fibras com características desejáveis para a indústria têxtil. Portanto, o estudo revela uma fonte alternativa viável viabilizando o cultivo do algodoeiro colorido no sertão pernambucano com a qualidade da fibra atendendo aos requisitos da indústria têxtil nacional e internacional.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L. Reuso. Irrigação. Fonte hídrica. Indústria têxtil.

## ABSTRACT

LIMA, Breno Leonan de Carvalho. Federal University Rural of Pernambuco. February 2018. **Cultivation cotton BRS Rubi with sewage domestic treaty and potassium doses in semiarid pernambucano.** Advisor: Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva. Advisors: Dr. José Renato Cortez Bezerra, Prof. Dr. Edivan Rodrigues de Souza, Dr. Hugo Rafael Bentzen Santos, Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva.

In the face of global water scarcity, it is imperative to use alternative sources for less restrictive uses. Cotton farming in the context of family farming is an important agricultural option when dealing with the semi-arid region, due to its adaptation to water scarcity conditions. At the present time, the reuse of wastewater becomes a primordial strategy to address the water shortage problem in the semi-arid region, as well as to obtain high rates of productivity and satisfactory profitability. Potassium is an ion relevant to plants, however, in most Brazilian soils where cotton is cultivated, the reserve of this nutrient is low, and its supply is essential. In view of the above, the effect of irrigation with treated domestic sewage water and potassium doses on the BRS Rubi cotton crop in the semi-arid region of Pernambuco was studied. The experiment was conducted in the Pilot Unit of hydrous reuse of the Federal Rural University of Pernambuco. The treatments were arranged in a factorial (5 x 5) + 1 scheme with 4 replications, in the randomized block design, consisting of five irrigation slides using treated domestic sewage water (50, 75, 100, 125 and 150% ETc) and five doses of potassium (0, 50, 100, 150, and 200% as recommended for the crop) and an absolute control (AC) irrigated with water from a blade supply corresponding to 100% ETc and fertilized with N, P and K. The application of slides with treated domestic sewage and potassic doses increased leaf gas exchange, providing better growth rates, yield and technological quality of the fiber. The 100% ETc slide with treated domestic sewage water promoted gains of 983 kg ha<sup>-1</sup> of cotton seed in relation to AC. The use of wastewater provided fibers with desirable characteristics for the textile industry. Therefore, the study reveals a viable alternative source, enabling the cultivation of the colored cotton in the backlands of Pernambuco with the quality of the fiber, meeting the requirements of the national and international textile industry.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. Reuse. Irrigation. Water source. Textile industry.

## SÚMARIO

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
<b>CAPÍTULO I – Introdução Geral e Revisão.....</b>	<b>11</b>
1 INTRODUÇÃO.....	12
2 HIPÓTESES.....	14
3 OBJETIVOS.....	14
3.1 Geral.....	14
3.2 Específicos.....	14
4 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
4.1 A necessidade de reutilizar águas residuárias.....	15
4.2 Reuso de água na agricultura.....	16
4.3 Potencialidades do uso de águas residuárias em regiões semiáridas.....	18
4.4 A cultura do algodoeiro.....	21
4.5 O potássio e as respostas do algodoeiro à fertilização potássica.....	22
REFERÊNCIAS.....	24
<b>CAPÍTULO II – Trocas gasosas do algodoeiro colorido sob doses de potássio e lâminas de irrigação com esgoto tratado.....</b>	<b>28</b>
RESUMO.....	29
ABSTRACT.....	29
1 INTRODUÇÃO.....	30
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4 CONCLUSÕES.....	51
REFERÊNCIAS.....	52
<b>CAPÍTULO III – Respostas morfológicas do algodoeiro colorido sob adubação potássica e irrigação com água residuária tratada.....</b>	<b>55</b>
RESUMO.....	56
ABSTRACT.....	57
1 INTRODUÇÃO.....	57
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	59
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72

<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>79</b>
	<b>CAPÍTULO IV – Componentes de produção do algodoeiro colorido sob lâminas de irrigação com água residuária tratada e doses de potássio.....</b>	<b>83</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>84</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>84</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>85</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>87</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>100</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>
	<b>CAPÍTULO V – Qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro colorido irrigado com água residuária e fertilização potássica.....</b>	<b>112</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>113</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>114</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>114</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>116</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>129</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>135</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>136</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>140</b>

**CAPÍTULO I**

---

**Introdução Geral e Revisão**

## 1 INTRODUÇÃO

A região semiárida é caracterizada pelas baixas precipitações pluviométricas, irregularmente distribuídas no espaço e no tempo, com índice de aridez de até 0,5 e risco de seca superior aos 60%. Além dessas características, os longos períodos de estiagens e a diminuição do volume de água dos reservatórios, contribuem negativamente para a prática agrícola.

Devido à falta de saneamento que acomete muitos municípios da região semiárida, é comum observar a deposição de esgotos domésticos nos cursos d'água contribuindo para a poluição destes e diminuindo a qualidade das águas. Além disso, os esgotos domésticos possuem grande carga de agentes patogênicos como bactérias, fungos e vírus, onde esses organismos causam enfermidades, se tornando graves problemas de saúde pública.

Diante das limitações das reservas naturais e da constante preocupação ambiental que afetam a região semiárida, tem-se buscado novas alternativas de cultivo com finalidade do correto aproveitamento dos recursos naturais e agrícolas.

Não obstante a essa realidade, a reutilização de águas servidas na agricultura visando obter elevados índices de produtividade das culturas às comunidades rurais são fatores que requerem integração de esforços em favor da preservação dos recursos naturais, principalmente quando voltados para exploração de culturas potencialmente econômicas, a exemplo da cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.).

No século 20, a cotonicultura foi uma atividade agrícola de reconhecida importância socioeconômica para a região semiárida brasileira, sendo executada por pequenos agricultores da região Nordeste, constituindo-se numa importante fonte de geração de emprego e de renda no campo.

Considerada uma importante opção agrícola para a condição semiárida brasileira, devido a sua maior capacidade de tolerar períodos de estiagens mais longos, recentemente, a cotonicultura vem sendo uma importante fonte de receita em alguns municípios do Nordeste Brasileiro, garantindo os ganhos quando culturas como feijão, milho e fava não suportam as estiagens, e o que é gerado, atendendo somente a subsistência de agricultores familiares. Nesse sentido, empresas de assistência técnica vêm auxiliando o cultivo do algodoeiro, promovendo reuniões diretamente com empresários da indústria têxtil e gerando contratos de compra e venda com preço justo.

A cotonicultura é uma atividade secular na região Nordeste do país, onde empresas de pesquisas como a Embrapa, nos anos 2000, disponibilizaram variedades de algodão colorido para o cultivo exclusivo dos pequenos agricultores, promovendo a economia de água que seria consumida no processo de tingimento, agregando valor ao produto com maior geração de renda.

Em diversas regiões brasileiras, a intensificação das explorações agrícolas sob condições irrigadas vem se estabilizando como uma alternativa promissora para obtenção de produtos em quantidade e qualidade.

Salienta-se, que a utilização de tecnologias visando o aproveitamento de águas de qualidade inferior na agricultura, a exemplo das águas servidas, integra uma importante solução para o problema de falta de água no mundo, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

Logo, a irrigação com água de esgoto doméstico tratado tem sido uma fonte hídrica alternativa quanto ao fornecimento de água e de nutrientes no solo, sendo, em alguns casos, dispensado o uso de fertilizantes químicos pelo fato de que a própria irrigação com esgoto doméstico tratado supre nutricionalmente as culturas.

Devido às inúmeras funções desempenhadas na fisiologia das plantas, o potássio apresenta reconhecida importância às plantas, participando da atividade de diversas enzimas, na homeostase iônica, abertura e fechamento estomático, translocação de carboidratos, manutenção do potencial hídrico e aumento do influxo de água para as células.

Estudos com potássio têm demonstrado que o menor crescimento e produtividade das plantas estão associados à deficiência deste elemento. O potássio é o segundo elemento mais absorvido pela cultura do algodoeiro, no entanto, a maioria dos solos brasileiros que se produz o algodão, tem sido relatado a deficiência desse nutriente, sendo imprescindível a fertilização potássica.

Nessa lógica, o fornecimento de nutrientes via esgoto doméstico tratado, em quantidades adequadas e no momento oportuno, integra uma alternativa tecnológica economicamente viável e ecologicamente correta para o processo de produção agrícola. Sabe-se, entretanto, que o aproveitamento de água de esgoto doméstico tratado e a utilização de fertilizantes químicos na agricultura apresentam limitações, uma vez que, em qualquer forma de exploração, por mais cuidadosas que sejam os produtos de sua transformação provocam poluição ambiental, havendo, portanto, a necessidade de se realizar estudos que visem a sua adequação, permitindo atender às exigências hídricas e nutricionais das culturas tendo em vista a obtenção de produtos de qualidade sem danos ambientais.

## **2 HIPÓTESES**

A reposição hídrica com água de esgoto doméstico tratado e o fornecimento de potássio no solo, em excessos, comprometem as trocas gasosas do algodoeiro colorido BRS Rubi em condições semiáridas do sertão pernambucano;

A reposição hídrica com água de esgoto doméstico tratado e o fornecimento de potássio no solo favorecem as características de crescimento do algodoeiro colorido BRS Rubi no sertão pernambucano;

O aumento da reposição hídrica no solo proporcionado pela aplicação de lâminas de irrigação com águas de esgoto doméstico tratado e da concentração de potássio no solo proporcionada pela aplicação de doses desse elemento, aumentam as características produtivas do algodoeiro colorido BRS Rubi no sertão pernambucano;

A aplicação de água de esgoto doméstico tratado e o fornecimento de potássio no solo melhoram as características tecnológicas da fibra do algodoeiro BRS Rubi em condições semiáridas do sertão pernambucano, atendendo aos requisitos da indústria têxtil.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Geral**

Estudar as respostas da combinação de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e diferentes doses de potássio sobre os aspectos agrônômicos no cultivo do algodoeiro, cv. BRS Rubi, nas condições semiáridas do sertão pernambucano.

### **3.2 Específicos**

Avaliar a combinação de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e de doses de potássio que maximizam as trocas gasosas foliares do algodoeiro BRS Rubi nas condições semiáridas do sertão pernambucano;

Avaliar a combinação de diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e de doses de potássio que propicia melhores condições de crescimento para o algodoeiro BRS Rubi;

Determinar a melhor combinação dos fatores lâminas de irrigação e adubação potássica que maximizam a produção e a eficiência no uso de água do algodoeiro BRS Rubi em condições semiáridas;

Avaliar as características tecnológicas da fibra do algodoeiro em função da aplicação de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e fertilização potássica e se estas atendem aos requisitos da indústria têxtil nacional.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 A necessidade de reutilizar águas residuárias**

Com a água se tornando fator cada vez mais limitante para o desenvolvimento industrial, urbano e agrícola nas regiões áridas e semiáridas, os gestores dos recursos hídricos nessas regiões têm procurado continuamente novas fontes para complementar e em muitos casos, suprir a disponibilidade de água (HESPANHOL, 2002).

Nos anos 90, muitos países já se preocupavam com a importância do reuso, onde, muitos Chefes de Estado e de Governo assinaram a “Agenda 21”, documento voltado para a implementação de um ambicioso programa de ação sobre desenvolvimento sustentável, onde um dos três objetivos gerais é a proteção dos ecossistemas (HAINES *et al.*, 2012).

A falta de água não está restrita somente às regiões áridas e semiáridas. Em casos como o da bacia do Alto Tietê, localizada em uma região de recursos hídricos abundantes, devido a quantidade de habitantes que estão abrigados nesta região e por concentrar um dos maiores complexos industriais do mundo, sua vazão é insuficiente para atender a região e municípios circunvizinhos, onde a complementação da demanda de água nestes casos, muitas vezes tem de ser buscada em outras bacias, aumentando os custos.

Frente a organização e fortalecimento dos comitês de bacias hidrográficas, da preocupação das entidades e agências reguladoras, bem como a conscientização da sociedade civil como um todo, a importação ou transposição tem-se tornado uma prática cada vez menos comum (SANTIN; GOELLNER, 2013).

Diante das condições acima destacadas, Hespanhol (2002) cita que o conceito de “substituição de fontes hídricas” pode ser aplicado nestes casos, quando a demanda por água é menos restritiva, para tanto, economizando água de boa qualidade para uso doméstico. Desde 1985, o Conselho Econômico e Social das Nações Unidas estabelece políticas que conceituam

que mesmo em grande disponibilidade, as águas de boa qualidade não devem ser utilizadas quando o referido uso pode suportar águas de qualidade inferior.

Nesse sentido, as águas de esgotos domésticos, de drenagem agrícola e as águas salobras, se tornam fontes alternativas potenciais para usos menos restritivos (HESPANHOL, 2002). Diante do contexto citado, o uso de tecnologias que possibilitem a utilização de águas de qualidade inferior, se constitui nos dias atuais, numa estratégia primordial na mitigação do problema de falta de água em regiões áridas e semiáridas no mundo (AZIZ; FARISSI, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

#### **4.2 Reuso de água na agricultura**

A agricultura irrigada é responsável pelo consumo de 70% das águas disponíveis no mundo, porém, nas regiões áridas e semiáridas, a disponibilidade de água e o manejo da irrigação tem merecido maior importância, principalmente pelos consecutivos anos de seca e ao crescente aumento populacional, diminuindo a disponibilidade de água para a agricultura consideravelmente, e como consequência, muitos países tem incluído a reutilização de águas residuárias no planejamento dos recursos hídricos (AZIZ; FARISSI, 2014).

Alguns estudos direcionados à disponibilidade de água e o crescimento populacional no mundo tem sido discutido amplamente por diversos pesquisadores, bem como, a projeção de cenários futuros visando o potencial agrícola das águas residuárias tratadas para a irrigação (ABUGHLELESHA; LATEH, 2013; AHMADI; MERKLEY, 2017).

A utilização de águas residuárias, especificamente as de esgotos domésticos tratados, é um importante atrativo na agricultura, uma vez que seu uso economiza 100% da água potável destinado ao nobre uso. Algumas pesquisas tem demonstrando sua viabilidade econômica, nutricional e ambiental na agricultura (AZIZ; FARISSI, 2014; SANTOS *et al.*, 2016a), além disso, quando as águas residuárias domésticas são tratadas, é verificado uma redução direta da carga de contaminantes, melhorando as condições higiênicas dos rios, mares, aquíferos e reservatórios (MARTÍNEZ *et al.*, 2013).

Apesar dos diversos direcionamentos nos sistemas de saneamento, em muitas regiões semiáridas o reuso tende a aumentar, se tornando uma prática generalizada na agricultura irrigada, principalmente por aqueles que executam agricultura de baixo custo e que não dispõe de fontes de águas superficiais que não sejam poluídas (DRECHSEL; EVANS, 2010). Ainda, de acordo com esses autores, 80% dos esgotos gerados nos países em desenvolvimento são descarregados sem nenhum tratamento no meio ambiente, sendo que

metade da população destes países depende destas fontes para os diversos usos, inclusive na agricultura.

Com o aumento da utilização de águas residuárias na irrigação, aumenta-se também a exposição aos riscos de contaminação por agentes microbiológicos, trazendo sérias consequências ao que concerne à saúde do agricultor. Para tanto, Dickin *et al.* (2016) recomendam pesquisas que considerem a exposição múltipla e as implicações ao longo do tempo, bem como, a ampliação de estudo dos diversos agentes contaminadores com a finalidade de que se possa ter uma compreensão mais abrangente quanto a utilização de águas residuárias domésticas.

Pesquisas realizadas por Antwi-Agyei *et al.* (2016) alertam para a questão higiênica dos alimentos irrigados com águas residuárias, uma vez que, a utilização de esgotos domésticos na agricultura para a produção alimentícia, quando mal manejada, pode tornar-se um risco mundial à saúde, sugerindo assim, uma abordagem sobre as múltiplas barreiras que prescrevam medidas de proteção à saúde nos diversos pontos de entrada da cadeia alimentar.

Para garantir a qualidade higiênica dos esgotos para uso na irrigação, faz-se necessário seu tratamento corrigindo características indesejáveis como as altas concentrações de sólidos e matéria orgânica putrescível encontrada nestes (SOUSA *et al.*, 2005).

Em regiões semiáridas no mundo, e não diferente no Brasil, a alteração da qualidade das águas ocasionadas pela contaminação das águas servidas impulsiona o emprego de técnicas de tratamento das águas residuárias para o uso agrícola. No Brasil, por exemplo, o lançamento de esgotos domésticos nos cursos d'água é uma prática comum, uma vez que, em muitos municípios da região semiárida, não existe sistemas de coleta ou tratamento (SANTOS *et al.*, 2016b).

Alguns pesquisadores consideram que a descarga de águas residuárias tratadas em cursos d'água como os rios, possibilita a vazão regular destes, ofertando água em outras áreas agrícolas, principalmente nas áreas sujeitas a estiagens, como as regiões semiáridas (MOLLE; VENOT; HASSAN, 2008).

No entanto, mesmo com o atendimento da legislação quanto à quantidade de carga orgânica que é despejada nos rios, os sistemas de tratamentos nem sempre atendem as perspectivas positivas dos agricultores que desta utilizam, pelo fato de que, em alguns casos, a qualidade das águas tratadas pode salinizar os solos e reduzir a produtividade das culturas (CARR; POTTER; NORTCLIFF, 2011).

Contudo, o aproveitamento de águas residuárias domésticas tratadas na agricultura, quando adotado um manejo criterioso, pode fornecer nutrientes e água as plantas,

suprindo em muitos casos, 100% das exigências da cultura (SOUZA NETO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016a).

### 4.3 Potencialidades do uso de águas residuárias em regiões semiáridas

Além de aumentar a oferta de água na agricultura em regiões semiáridas, especificamente na irrigação dos cultivos agrícolas, muitos podem ser os benefícios da utilização de águas residuárias tratadas, tais como: economia de 100% da água potável para destinar ao uso nobre, viabilidade econômica, nutrição das plantas e ciclagem de nutrientes bem como diminuição dos impactos ambientais (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014; AZIZ; FARISSI, 2014; SANTOS *et al.*, 2016a; MARGENAT *et al.*, 2017; ROSA *et al.*, 2017), fato também que, quando tratada, reduz diretamente a carga de contaminantes em algumas áreas carecidas de saneamento, melhorando as condições higiênicas dos rios, mares, aquíferos e reservatórios (MARTÍNEZ *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016b; URBANO *et al.*, 2017).

A utilização de águas residuárias na agricultura por meio da irrigação, pode, desde que haja adoção de um planejamento e manejo adequados, melhorar a fertilidade do solo sem causar danos à estrutura deste (URBANO *et al.*, 2017).

Rosa *et al.* (2017) verificaram, em um solo irrigado com doses crescentes de águas residuárias tratada da suinocultura, aumento progressivo da concentração dos atributos nitrogênio total, nitrogênio orgânico, fósforo, potássio, capacidade de troca catiônica, cobre e zinco e uma diminuição nas concentrações de sódio. O aumento na CTC observado por estes autores pode está relacionado com a adição de matéria orgânica via aplicação das águas residuárias. Já em relação ao efeito não progressivo para as concentrações de sódio, pode ser devido à saturação com potássio que ocupa o mesmo sítio de ligação.

Silva *et al.* (2016) constataram para um Luvissole Crômico que a utilização de águas residuárias tratadas em relação ao manejo convencional com água de abastecimento, proporciona maior acúmulo de micronutrientes e de potássio no solo.

Xu *et al.* (2010) afirmam que a irrigação por longo período de tempo pode ser de interesse agrícola devido principalmente pela acumulação de matéria orgânica e nutrientes ao solo, no entanto, cautela deve ser tomada uma vez que, vestígios de contaminantes são encontrados.

Tarchouna *et al.* (2010) verificaram para um solo arenoso no Mediterrâneo, o efeito da irrigação com águas residuárias tratadas por um longo período de tempo (~20 anos).

Estes autores constataram que a irrigação com águas residuárias tratadas foi benéfica quanto ao fornecimento de água e nutrientes, porém, verificaram alterações em propriedades físicas do solo como diminuição da condutividade hidráulica. Entretanto, esta se manteve alta o suficiente para permitir a percolação da água em períodos chuvosos e lixiviação de sais.

Um dos efeitos que a aplicação de águas residuárias pode promover é a economia de fertilizantes minerais na agricultura (SOUSA NETO *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016a). Em experimento avaliando os indicadores de qualidade e produção do algodoeiro no Norte de Minas Gerais, Santos *et al.* (2016a) verificaram que a adubação potássica pode ser substituída pela aplicação de água residuária tratada.

Sousa Neto *et al.* (2012), avaliando o crescimento do algodoeiro nas condições semiáridas de Mossoró, Estado do Rio Grande do Norte, constataram que a aplicação de esgoto doméstico tratado via irrigação, promove a substituição da adubação convencional do algodoeiro.

Nas plantas, o efeito da irrigação com águas residuárias tratadas tem demonstrado resultados positivos em diversas espécies (ZAVADIL, 2009; SINGH; DESHBHRATAR; RAMTEKE, 2012; LAL *et al.*, 2013).

Além de melhorar as propriedades físico-químicas do solo, Singh, Deshbhratar e Ramteke (2012), a irrigação com águas residuárias domésticas aumentou o rendimento de diversas culturas e estado nutricional destas quando comparou ao tratamento irrigado com águas subterrâneas e adubação convencional.

Lal *et al.* (2013) verificaram melhora da fertilidade do solo e maior rendimento do capim limão, indicando que esta cultura pode ser irrigada com sucesso com água residuária tratada para alcançar maiores produtividades em massa e rendimento em óleo essencial, sem contaminação deste.

Dentre os tratamentos de água mais utilizados, o anaeróbio é um dos mais eficientes. Paralelo a isso, progressos científicos e tecnológicos que mais contribuíram para o desenvolvimento do tratamento anaeróbio de águas residuárias, destaca-se a notável evolução do conhecimento dos processos microbiológicos, interagindo com os avanços obtidos pelas várias configurações de reatores estudadas (SANTANA; OLIVEIRA, 2005).

Ainda conforme esses autores, o bom desempenho dos reatores anaeróbios modernos é consequência da organização dos microrganismos anaeróbios e sua retenção no reator. Os reatores UASB, do inglês *upflow anaerobic sludge blanket*, (reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo), apresenta características hidrodinâmicas favoráveis, acomodando altas cargas orgânicas volumétricas.

A associação com outros meios de tratamento, como lagoas de estabilização, aumenta a eficiência da eliminação de carga microbiológica, tornando o sistema de tratamento de água mais eficiente. Na Tabela 1, verifica-se a composição média do esgoto bruto e tratado por um reator UASB associado a uma lagoa de polimento no Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do esgoto doméstico bruto e tratado por um reator UASB associado a uma lagoa de polimento no Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, República Federativa do Brasil

Parâmetro	Unidade	Concentração	
		EDB <sup>c</sup>	EDT <sup>d</sup> / UASB
CE	dS m <sup>-1</sup>	1,66	2,14
pH	-	7,3	6,8
Dureza-total	mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	127,45	221,60
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	71,33	155,60
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	38,98	44,70
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	-	99,10
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	123,68	43,60
Cloretos	mg L <sup>-1</sup>	179,88	171,10
Sulfatos	mg L <sup>-1</sup>	132,35	19,80
Nitrogênio-total	mg L <sup>-1</sup>	104,25	106,90
Fosforo-total	mg L <sup>-1</sup>	10,16	10,30
SST <sup>a</sup>	mg L <sup>-1</sup>	816,30	36,10
RAS <sup>b</sup>	mmol <sub>c</sub> L <sup>-0,5</sup>	332,34	1,80

Fonte: Silva (2010); Zaidan (2010) (adaptado).

(<sup>a</sup>) Sólidos solúveis totais; (<sup>b</sup>) Relação de adsorção de sódio; (<sup>c</sup>) Esgoto doméstico bruto; (<sup>d</sup>) Esgoto doméstico tratado por um reator UASB.

A região semiárida do Nordeste do Brasil é caracterizada por apresentar um curto período chuvoso, temperatura elevada e alta taxa de evaporação, logo, na maioria dos meses do ano, verifica-se um balanço hídrico negativo quanto à água no solo disponível para as plantas. Nesse sentido, o reuso planejado de águas residuárias tem sido apontada como uma alternativa quanto a atenuação das limitações hídricas devida o problema da escassez (SOUSA *et al.*, 2005).

A utilização de águas residuárias oriundas de esgotos domésticos na agricultura tem se mostrado bastante promissora, devido à presença de nutrientes essenciais ao bom

desenvolvimento e produção das culturas, sendo aplicados também em grandes quantidades por meio das irrigações, reduzindo, consideravelmente, a aquisição de fertilizantes químicos.

Diversas vantagens são obtidas com a utilização deste tipo de efluente na agricultura, como a substituição da fertirrigação pelo efluente de estações de tratamento de esgoto, permitindo reduzir a fertilização nitrogenada recomendada, minimização da poluição hídrica dos mananciais, economia de água de melhor qualidade e a diminuição dos gastos com fertilizantes químicos (DEON *et al.*, 2010). Conforme Piveli *et al.* (2008), o tratamento de esgoto é ideal para associação com o uso agrícola do efluente, pois remove constituintes biológicos, mas, apresenta baixo desempenho na remoção de nutrientes.

Porém, deve-se haver uma avaliação prévia antes da utilização das águas residuárias tratadas destinadas à agricultura, uma vez que, devido à alta carga de nutrientes presentes, estas podem provocar no solo, problemas de salinidade e sodicidade, como também, quanto ao aspecto sanitário, problemas de saúde pública, devido a carga de cistos de protozoários, vírus e ovos de helmintos, acarretando em enfermidades (METCALF; EDDY, 2003).

#### 4.4 A cultura do algodoeiro

Atualmente classificado como: divisão – *Embriophita sifanogamae*; subdivisão – *Fanerogamea*; Filo – *Angiospermae*; Classe – *dicotiledônea*; Subclasse – *Archichlamidae*; Ordem – *Malvales*; Família – *Malvaceae*; Tribo – *Hibisceae*; Gênero: *Gossypium*; Espécie – *G. hirsutum*; Raça - *G. hirsutum latifolium* (BELTRÃO *et al.*, 2008), o algodoeiro herbáceo é uma planta tropical, perene, de crescimento indeterminado sendo cultivada anualmente como uma cultura de fibra (CONSTABLE; BANGE, 2015).

Atualmente, o Brasil é o 5º maior produtor mundial de algodão, seguido da Índia, China, Estados Unidos e Paquistão, respectivamente. No sexto levantamento de safra realizado no mês de março de 2018, a estimativa da produção de algodão em caroço foi de mais de 4.600 toneladas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2018).

No Brasil, a Região do Cerrado é a mais importante área produtora de algodão no país (ZONTA *et al.*, 2017), sendo os Estados do Mato Grosso e Bahia os maiores produtores, respectivamente. Na safra agrícola 2017/2018, realizado no período de março de 2018, a produtividade média de algodão em caroço foi de 4.054 kg ha<sup>-1</sup> (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2018).

No aspecto histórico, a cultura do algodoeiro herbáceo, tem sido referenciada como uma tradicional atividade agrícola de importância socioeconômica para a maior parte da região semiárida do Nordeste brasileiro, em virtude principalmente, do grande contingente de mão-de-obra que congrega no campo e na cidade (OLIVEIRA; CAMPOS, 1997).

A partir dos anos 2000, a Embrapa deu início ao lançamento de variedades naturalmente coloridas, à exemplo, as variedades BRS 200 Marrom, BRS Safira, BRS Rubi e BRS Topázio, para exploração comercial na região Nordeste com o objetivo de gerar renda e melhoria das condições de vida dos agricultores familiares que apresentam poucas opções de produtos que podem ser cultivados sob condições mínimas de precipitação (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

Nesse sentido, o algodoeiro colorido vem se tornando uma importante opção agrícola, também por dispensar o tingimento químico (não poluindo o meio ambiente) e propiciando economia de 70% da água consumida no processo convencional de fabricação de tecidos e malhas. Assim, agregando valores ao produto devido à procura por tecidos naturalmente coloridos que aumentam a cada ano, principalmente por pessoas alérgicas, para vestuário de recém-nascidos e tendências da moda (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

#### **4.5 O potássio e as respostas do algodoeiro à fertilização potássica**

O potássio participa de inúmeras funções nas plantas, dentre elas, abertura e fechamento dos estômatos, síntese e estabilidade de proteínas, relações osmóticas, translocação de carboidratos entre outras, predominando principalmente na forma iônica no tecido vegetal (MENGEL, 2006).

No solo, o potássio pode ser encontrado de diversas formas, desde sua forma iônica, presente na solução do solo, ou mesmo na forma de mineral como silvinita e silvita, além do que, a maioria dos depósitos comerciais de potássio é de fontes marinhas, sejam elas enterradas em mares antigos ou nos depósitos de águas salgadas, como as salmouras (FIXEN, 2009).

O potássio apresenta elevada mobilidade no solo, onde os dois principais mecanismos de transporte deste elemento às raízes são a difusão, sendo este o principal meio de transporte do potássio, contribuindo em mais de 90%, e o fluxo de massa, com este apresentando maior importância quando em solos mais secos (OLIVEIRA; ROSOLEM; TRIGUEIRO, 2004).

No algodoeiro, o potássio é o segundo elemento mais absorvido sendo primeiro, o nitrogênio. Segundo Carvalho *et al.* (2008), o fornecimento de potássio promove a manutenção da folhagem e regulariza o ciclo do algodoeiro, proporcionando maior deposição de celulose nas paredes internas da fibra, apresentando melhora acentuada no índice micronaire e em outras características da fibra.

Conforme Vivancos (1989), para um rendimento de 3500 kg ha<sup>-1</sup>, são extraídos 157 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Já pesquisas realizada por Sousa e Lobato (2004), cerca de 48 a 60 kg de K<sub>2</sub>O são extraídos por toda a planta na produção de uma tonelada de algodão em caroço.

De acordo com os resultados obtidos por Cassman *et al.* (1990), a produção de sementes e pluma pelo algodoeiro apresenta respostas positivas em função do aumento de doses crescentes aplicadas desse nutriente. Entretanto, na maioria dos solos onde se produz o algodão, a reserva do nutriente não é suficiente para suprir a quantidade extraída pela cultura ao longo do seu cultivo, de modo que a adubação potássica torna-se imprescindível para o crescimento e produção do algodoeiro (CARVALHO *et al.*, 2008).

## REFERÊNCIAS

- ABUGHLELESHA, S. M.; LATEH, H. B. A review and analysis of the impact of population growth on water resources in Libya. **World Applied Sciences Journal**, v. 23, n. 7, p. 965–971, 2013.
- AHMADI, L.; MERKLEY, G. P. Wastewater reuse potential for irrigated agriculture. **Irrigation Science**, v. 35, n. 4, p. 275–285, 2017.
- ANTWI-AGYEI, P.; PEASEY, A.; BIRAN, A.; BRUCE, J.; ENSINK, J. Risk perceptions of wastewater use for urban agriculture in Accra, Ghana. **PLoS ONE**, v. 11, n. 3, p. 1–18, 2016.
- AZIZ, F.; FARISSI, M. Reuse of treated wastewater in agriculture : solving water deficit problems in arid areas. **Annals of West University of Timișoara**, v. 17, n. 2, p. 95–110, 2014.
- BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D. Fitologia do algodoeiro herbáceo: sistemática, organografia e anatomia. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 6, p. 181-217.
- CARR, G.; POTTER, R. B.; NORTCLIFF, S. Water reuse for irrigation in Jordan: Perceptions of water quality among farmers. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 5, p. 847–854, 2011.
- CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, O. S.; SILVA, O. R. R. F.; MEDEIROS, J. C. Nutrição, calagem e adubação. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 23, p. 677-789.
- CASSMAN, K. G.; KERBY, T. A.; ROBERTS, B. A.; BRYANT, D. C.; HIGASHI, S. L. Potassium nutrition effects on lint yield and fiber quality of Acala cotton. **Crop Science**, v. 30, n. 3, p. 672-677, 1990.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Proposta de preços mínimos – Safra 2013/2014**: produtos da safra de verão. vol. 2. Brasília: Conab. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2017/2018**: sexto levantamento. vol. 5. Brasília: Conab. 2018.
- CONSTABLE, G. A.; BANGE, M. P. The yield potential of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). **Field Crops Research**, v. 182, p. 98–106, 2015.
- DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n. 10, p.1149 - 1156, 2010.
- DICKIN, S. K.; SCHUSTER-WALLACE, C. J.; QADIR, M.; PIZZACALLA, K. A review of health risks and pathways for exposure to wastewater use in agriculture. **Environmental Health Perspectives**, v. 124, n. 7, p. 900–909, 2016.

DRECHSEL, P.; EVANS, A. E. V. Wastewater use in irrigated agriculture. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 24, n. 2, p. 1–3, 2010.

FIXEN, P. E. **Reservas mundiais de nutrientes dos fertilizantes**. Georgia: IPNI, 2009. (Informações Agronômicas, N. 126).

HAINES, A.; ALLEYNE, G.; KICKBUSCH, I.; DORA, C. From the Earth Summit to Rio+20: Integration of health and sustainable development. **The Lancet**, v. 379, n. 9832, p. 2189–2197, 2012.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil: Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

LAL, K.; YADAV, R. K.; KAUR, R.; BUNDELA, D. S.; KHAN, M. I.; CHAUDHARY, M.; MEENA, R. L.; DAR, S. R.; SINGH, G. Productivity, essential oil yield, and heavy metal accumulation in lemon grass (*Cymbopogon flexuosus*) under varied wastewater-groundwater irrigation regimes. **Industrial Crops and Products**, v. 45, p. 270–278, 2013.

MARGENAT, A.; MATAMOROS, V.; DÍEZ, S.; CAÑAMERAS, N.; COMAS, J.; BAYONA, J. M. Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity. **Science of the Total Environment**, v. 599–600, p. 1140–1148, 2017.

MARTÍNEZ, S.; SUAY, R.; MORENO, J. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of *Cucumis melo* L. **Irrigation Science**, v. 31, n.4, p. 661-672, 2013.

MENGEL, K. Potassium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. 2006. London: Taylor and Francis Group, 2006. Cap. 4, p. 91-120.

METCALF; EDDY. **Wastwater Engineering: treatment disposal reuse**. 4 ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1815 p.

MOLLE, F.; VENOT, J. P.; HASSAN, Y. Irrigation in the Jordan Valley: Are water pricing policies overly optimistic? **Agricultural Water Management**, v. 95, n. 4, p. 427–438, 2008.

OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, T. G. S. Manejo da cultura do algodoeiro herbáceo em condições semi-áridas do Nordeste. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 5, p. 521-531, 1997.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 439–445, 2004.

OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S.; FREITAS, J. J. R.; MARTINS, D. F. F.; RABELO, L. N. Avaliação físico-química das águas do processo de dessalinização de poços salobros e salinos em comunidades rurais do oeste potiguar. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 2, p. 58–73, 2017.

PIVELI, R. P.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; GOMES, T. M. Uma reflexão sobre a qualidade e uso de esgoto tratado por lagoas de estabilização na agricultura: caso de Lins/SP. **Revista DAE**, n.177, p. 63-70, 2008.

ROSA, D. M.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; REIS, R. R.; SBIZZARO, M. Corn fertilization using swine wastewater and soil-water environmental quality. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 801–810, 2017.

SANTANA, A. M.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 817-830, 2005.

SANTIN, J. R.; GOELLNER, E. A Gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 34, n. 67, p. 199–221, 2013.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; MATOS, A. T.; MAIA, V. M. Indicadores de produção e qualidade da fibra do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 525–536, 2016a.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 40–57, 2016b.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P. DOS; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014.

SILVA, M. M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2010.

SILVA, L. V. B. D.; LIMA, V. L. A.; PEARSON, H. W.; SILVA, T. T. S.; CRIS L. MACIEL, S.; SOFIATTI, V. Chemical properties of a Haplustalf soil under irrigation with treated wastewater and nitrogen fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 308–315, 2016.

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v. 103, p. 100–104, 2012.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

SOUSA, J. T.; VAN HAANDEL, A. C.; CAVALCANTI, P. F. F.; FIGUEIREDO, A. M. F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 3, p.260-265, 2005.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; DINIZ, A. A. Fertigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 200-208, 2012.

TARCHOUNA, L. G.; MERDY, P.; RAYNAUD, M.; PFEIFER, H. R.; LUCAS, Y. Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties. **Applied Geochemistry**, v. 25, n. 11, p. 1703–1710, 2010.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108–115, 2017.

VIVANCOS, A. D. **Tratado de fertilización**. Madri: Mundi-Prensa, 1989. 601 p.

XU, J.; WU, L.; CHANG, A. C.; ZHANG, Y. Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 183, n. 1, p. 780–786, 2010.

ZAIDAN, L. E. M. C. **Produção de biodiesel a partir da mammona e pinhão manso fertirrigados com efluentes sanitários tratados dos municípios de Ibimirim – PE e Pesqueira – PE**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Recife, 2010.

ZAVADIL, J. The effect of municipal wastewater irrigation on the yield and quality of vegetables and crops. **Soil and Water Research**, v. 4, n. 3, p. 91–103, 2009.

ZONTA, J. H.; BRANDÃO, Z. N.; RODRIGUES, J. I. S.; SOFIATTI, V. Cotton response to water deficits at different growth stages. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 980–990, 2017.

## **CAPÍTULO II**

---

### **Trocas gasosas do algodoeiro colorido sob doses de potássio e lâminas de irrigação com esgoto tratado**

## TROCAS GASOSAS DO ALGODOEIRO COLORIDO SOB DOSES DE POTÁSSIO E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ESGOTO TRATADO

### RESUMO

A utilização de esgotos domésticos tratados na agricultura mostra-se promissora por apresentar nutrientes essenciais para culturas, particularmente, no algodoeiro. Nesse sentido, o conhecimento das trocas gasosas foliares auxilia no entendimento de estratégias utilizadas pelas plantas sob manejos de água e nutrientes, uma vez que, os processos fisiológicos são diretamente influenciados por esses fatores. Diante do exposto e com o desígnio de servir como referência na investigação de respostas de plantas do algodoeiro aos fatores abióticos, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água de esgoto tratado e doses de potássio nas trocas gasosas do algodoeiro colorido no semiárido pernambucano. O experimento foi em blocos casualizados em esquema fatorial com cinco lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% do recomendado para a cultura) com quatro repetições. Os maiores valores para condutância estomática, transpiração, assimilação líquida, concentração intercelular de CO<sub>2</sub> e eficiência de carboxilação foram obtidos nas plantas irrigadas com 110, 99, 117, 150 e 113% da ETc nos níveis percentuais de potássio relativos a 96, 113, 97, 100 e 100% da dose recomendada para a cultura. O aumento das lâminas de irrigação proporcionou, também, a maior difusão de CO<sub>2</sub> às plantas. A maior eficiência instantânea no uso de água foi na lâmina de 150% da ETc sem adubação potássica. Pelos dados da interação lâminas de irrigação versus doses de potássio, a dose mais eficiente de potássio ao algodoeiro colorido depende da lâmina de irrigação aplicada.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L. Fotossíntese. Condutância estomática. Reposição hídrica. Esgoto doméstico tratado.

## GAS EXCHANGE OF COLORED COTTON UNDER POTASSIUM DOSES AND IRRIGATION DEPTHS WITH TREATED SEWAGE

### ABSTRACT

The use of domestic sewage treated in agriculture is promising because it presents essential nutrients for crops, particularly in cotton. In this sense, knowledge of foliar gas exchange

helps to understand the strategies used by plants under water and nutrient management, since the physiological processes are directly influenced by these factors. In view of the above and with the purpose of serving as a reference in the investigation of responses of cotton plants to abiotic factors, the objective was to evaluate the effect of irrigation with treated sewage and potassium doses in the gaseous exchanges of the colored cotton in the semiarid region of Pernambuco. The experiment was a randomized block design with five irrigation depth (50, 75, 100, 125 and 150% ETc) and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200% of the recommended one for the crop) with four replicates. The highest values for stomatal conductance, transpiration, net assimilation, intercellular CO<sub>2</sub> concentration and carboxylation efficiency were obtained in the irrigated plants with 110, 99, 117, 150 and 113% of ETc at the potassium percentages relative to 96, 113, 97, 100 and 100% of the recommended dose for culture. The increase of the irrigation slides also provided the greatest diffusion of CO<sub>2</sub> to the plants. The highest instantaneous efficiency in water use was in the 150% ETc depth without potassium fertilization. From the interaction data between irrigation depth versus potassium doses, the most efficient dose of potassium to colored cotton depends on the applied irrigation depth.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. Photosynthesis. Stomatal conductance. Water replenishment. Treated domestic sewage.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de esgotos tratados na agricultura é uma promissora fonte hídrica e nutricional para as plantas, propiciando economia de água para o uso humano e ofertando água quando em longos períodos de estiagem e menor disponibilidade de água nos reservatórios em regiões semiáridas (ANDRADE-FILHO *et al.*, 2017).

A cotonicultura apresenta reconhecida importância na geração de emprego e renda. Além disso, a utilização de variedades coloridas incrementa a produção agrícola pela adaptação as condições de clima e solo da região semiárida (FERRAZ *et al.*, 2014).

O conhecimento da fisiologia das plantas é de suma importância para o desenvolvimento e transferência de tecnologias que visam potencializar os cultivos agrícolas (OLIVEIRA *et al.*, 2012). Nesse sentido, o monitoramento das trocas gasosas foliares auxilia no entendimento de estratégias utilizadas pelas plantas sob manejos de água e nutrientes, uma vez que os processos fisiológicos são diretamente influenciados por esses fatores.

Dinâmica na taxa de fotossíntese líquida, do mesmo modo que, no crescimento e rendimento do algodoeiro foram observadas em função da disponibilidade hídrica no solo, sendo esta proporcionada pela aplicação de lâminas de irrigação (ZONTA *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2016).

O potássio apresenta reconhecida importância na fisiologia de plantas do algodoeiro herbáceo, sendo vital para o crescimento, produção, qualidade e resistência ao estresse (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014; HU *et al.*, 2016; TSIALTAS *et al.*, 2016). Sua deficiência resulta em baixo crescimento e diminui a produtividade dos cultivos (OOSTERHUIS *et al.*, 2013).

No entanto, grandes áreas agrícolas têm sido relatadas deficiência desse elemento, principalmente em solos arenosos, alagados, salinos ou ácidos, bem como em sistemas de produção intensiva, se tornando o potássio, um elemento limitante (ZÖRB; SENBAYRAM; PEITER, 2014), sendo imprescindível a adubação potássica.

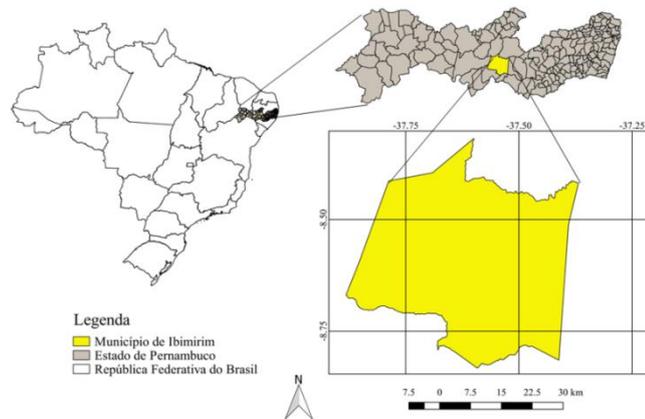
Diante do exposto e com o desígnio de assistir como referência na investigação de respostas das plantas aos fatores abióticos, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água de esgoto tratado e doses de potássio nas trocas gasosas foliares do algodoeiro colorido no semiárido pernambucano.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização da área geográfica**

O experimento foi conduzido no período de 15 de abril a 30 de agosto de 2016 em condições de campo na unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, à 334 km da capital Recife. A área experimental está localizada na latitude 8° 32' 05'' Sul, longitude 37° 41' 50'' Oeste com altitude média de 408 m, conforme sistema de referência de coordenadas UTM: datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, República Federativa do Brasil

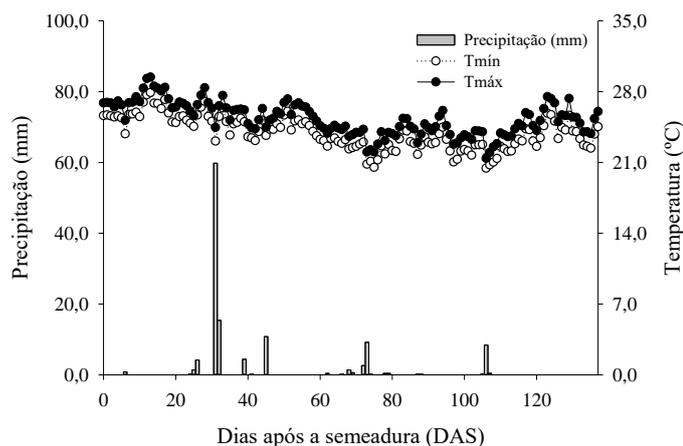


Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.2 Caracterização da área experimental

O clima da região classifica-se como BSh (semiárido muito quente) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 454 mm. Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 122 mm e temperatura média de 24,6 °C, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Dados diários de precipitação, temperatura máximas e mínimas registradas durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

– SiBCS (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014). O material de solo foi coletado na camada de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema *et al.* (2011), apresentando textura franco arenosa com 760, 80 e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental

Camada de solo (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Al	(H+Al) <sup>a</sup>	CTC <sup>b</sup>	SB <sup>c</sup>	m <sup>d</sup> ---	V <sup>e</sup> ---
								----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----		--- (%) ---		
0 – 0,20	25	4,60	1,25	0,75	0,03	0,19	0,15	1,56	3,78	2,22	6	59
0,20 – 0,40	19	4,30	1,40	0,70	0,04	0,24	0,40	2,14	4,52	2,38	14	53

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Acidez potencial; <sup>(b)</sup> Capacidade de troca catiônica; <sup>(c)</sup> Soma de bases; <sup>(d)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(e)</sup> Saturação por bases.

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5) + 1, compondo 26 tratamentos com quatro repetições, totalizando 104 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação, correspondentes a 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), tendo como fonte hídrica, água de esgoto doméstico tratado por um reator UASB (fator lâmina de irrigação, L), cinco doses de potássio, correspondendo a 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem sugerida para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigado com base no resultado da análise de solo (fator dose, D), utilizando-se a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRÔNOMICO DE PERNAMBUCO, 2008) e uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento (AA) de acordo com sua necessidade hídrica (100% ET<sub>c</sub>) e adubada com nitrogênio, fósforo e potássio em consonância com as recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. A parcela experimental apresentava 15 m<sup>2</sup>, composta por três fileiras simples de comprimento linear igual a 5,0 m, espaçadas 1,0 m e distância entre plantas de 0,20 m, considerando para a área útil da parcela a fileira central desprezando-se 1,0 m de cada extremidade desta.

## 2.4 Caracterização da fonte hídrica

A caracterização da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB é indicada na Tabela 2, cuja análise seguiu metodologia padrão da American Public Health Association (2012).

Tabela 2 – Caracterização físico-química da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB

Parâmetro	Unidade	Concentração	
		AA	UASB
Condutividade Elétrica	dS m <sup>-1</sup>	0,3	2,1
pH	-	9,2	7,2
Dureza Total	mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	153,3	273,4
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	54,4	74,9
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	4,3	21,0
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	19,0	133,1
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	10,6	43,6
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	126
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	8,5	13,7
Enxofre	mg L <sup>-1</sup>	4,0	5,3
Mangânes	mg L <sup>-1</sup>	1,28	1,30
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	10,3	9,2
DQO <sup>a</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	34,0	154,0
DBO <sup>b</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6,5	39,0
O <sub>2</sub> Dissolvido	%	85,5	46,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	-	2,2 x 10 <sup>7</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	-	1,4 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor.

(a) Demanda química de oxigênio; (b) Demanda bioquímica de oxigênio.

## 2.5 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado em função do clima ao longo do desenvolvimento da cultura. O cálculo da ET<sub>c</sub> foi determinado com base na evapotranspiração diária de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo modelo de Penman-Monteith - FAO (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1) e coeficiente de cultivo (K<sub>C</sub>) proposto por Bezerra *et al.* (2010) (Equação 2). A aquisição dos dados climáticos para a determinação da ET<sub>o</sub> foi obtido pela estação meteorológica de observação de superfície automática (marca Campbell

Scientific, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_O = \frac{0,408(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

$ET_O$  – evapotranspiração de referência, mm dia<sup>-1</sup>;

$Rn$  – radiação líquida na superfície da cultura, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$G$  – densidade do fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>;

$T_2$  – temperatura do ar a 2 m de altura, °C;

$u_2$  – velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;

$e_s$  – pressão de vapor de saturação, KPa;

$e_a$  – pressão atual de vapor, KPa;

$e_s - e_a$  – déficit de pressão de vapor de saturação, KPa;

$\Delta$  – declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura, KPa °C<sup>-1</sup>;

$\gamma$  – constante psicrométrica, KPa °C<sup>-1</sup>.

$$K_c = 0,632 + 0,009*DAE - 0,00006*DAE^2 \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

$K_c$  – coeficiente de cultivo adotado, adimensional;

$DAE$  – dias após a emergência das plantas.

Para o cálculo da  $ET_O$ , foram utilizados dados diários de temperatura média do ar, umidade relativa média, velocidade do vento e radiação solar. A estimativa da  $ET_c$  foi realizada com os dados de  $ET_O$ ,  $K_c$  e o coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ), que varia de 0 a 1, para a correção da  $ET_c$  conforme Equação 3.

$$ET_C = ET_O K_C K_{L\text{méd}} \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

$ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$ET_O$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_C$  – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

$K_{L\text{méd}}$  – coeficiente de localização médio, dependente da percentagem de área sombreada, adimensional.

Na Tabela 3, é indicado o número de dias para cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro BRS Rubi e na Figura 3, os valores diários de  $ET_O$ ,  $ET_C$  e  $K_C$  durante o período experimental com base nas observações diárias de campo.

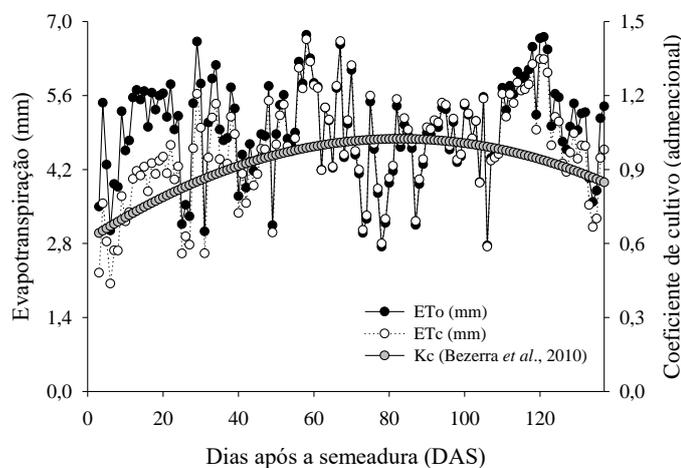
Tabela 3 – Ciclo fenológico do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, observado durante o período experimental

Fases	Estádios de desenvolvimento <sup>1</sup>	DAE <sup>2</sup>	Duração <sup>3</sup>
I	Emergência a 10% de cobertura do solo	1 - 19	19
II	10% de cobertura do solo ao início da floração	20 - 41	22
III	Início da floração ao início da maturação	42 - 89	48
IV	Início ao final da maturação	90 - 135	46

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(1)</sup> Determinado de acordo com observações diárias de campo; <sup>(2)</sup> Dias após a emergência; <sup>(3)</sup> em dias.

Figura 3 – Médias diárias da evapotranspiração de referência ( $ET_O$ ), da cultura ( $ET_C$ ) e coeficiente de cultivo ( $K_C$ ) do algodoeiro colorido BRS Rubi durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O coeficiente de localização médio foi determinado considerando a projeção da área sombreada (S) da planta ao meio-dia (12:00h), ao longo do seu desenvolvimento de acordo com Aljibury, Marsh e Huntamer (1974) (Equação 4), Hoare, Garzoli e Blackwell (1974) (Equação 5), Decroix (1978) (Equação 6), Keller (1978) (Equação 7) e Keller e Bliesner (1990) (Equação 8), com o  $K_{Lméd}$  obtido pela média aritmética destes:

$$K_L = 1,34 * S \quad \text{eq.(4)}$$

$$K_L = S + 0,50 * (1 - S) \quad \text{eq.(5)}$$

$$K_L = 0,10 + S \quad \text{eq.(6)}$$

$$K_L = S + 0,15 * (1 - S) \quad \text{eq.(7)}$$

$$K_L = 0,10 * \sqrt{S} \quad \text{eq.(8)}$$

Os valores de coeficiente de localização médio utilizados no manejo da irrigação para o algodoeiro colorido são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de coeficiente de localização médio ( $K_{Lméd}$ ) utilizados durante o período experimental

DAE <sup>a</sup>	S <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> )	PAS <sup>c</sup> (%)	$K_L^1$	$K_L^2$	$K_L^3$	$K_L^4$	$K_L^5$	$K_{Lméd}$
5	0,0081	0,81	0,0109	0,0109	0,1081	0,5041	0,1569	0,1740
10	0,0554	5,54	0,0742	0,0742	0,1554	0,5277	0,1971	0,2379
15	0,0826	8,26	0,1106	0,1106	0,1826	0,5413	0,2202	0,2684
20	0,1086	10,86	0,1455	0,1455	0,2086	0,5543	0,2423	0,2961
25	0,2406	24,06	0,3223	0,3223	0,3406	0,6203	0,3545	0,4256
30	0,3959	39,59	0,5305	0,5305	0,4959	0,6979	0,4865	0,5680
40	1,0314	103,14	1,0156	1,3821	1,1314	1,0157	1,0267	1,1143

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Dias após a emergência; <sup>(b)</sup> Área sombreada; <sup>(c)</sup> Percentual de área sombreada; <sup>(1)</sup> Keller e Bliesner (1990); <sup>(2)</sup> Aljibury, Marsh e Huntamer (1974); <sup>(3)</sup> Decroix (1978); <sup>(4)</sup> Hoare, Garzoli e Blackwell (1974); <sup>(5)</sup> Keller (1978); <sup>(d)</sup> Apesar de o coeficiente  $K_{Lméd}$  ter sido 1,1143 aos 40 DAE, adotou-se o valor de 1,00 no manejo da irrigação até o final do ciclo da cultura.

As lâminas de irrigação (L) foram expressas em tempo de irrigação (Ti) estabelecido para cada tratamento, com Ti calculado pela Equação 9 em turno de rega (TR) diário.

$$Ti = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (9)}$$

Em que:

$T_i$  – tempo de irrigação, min;

$F$  – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,50, 0,75, 1,00, 1,25 e 1,50 para  $L_1 = 50$ ,  $L_2 = 75$ ,  $L_3 = 100$ ,  $L_4 = 125$  e  $L_5 = 150\%$  da  $ET_C$ , respectivamente);

$ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $mm\ dia^{-1}$ ;

$E_{LL}$  – espaçamento entre linhas laterais, m;

$E_g$  – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;

$q_g$  – vazão do emissor,  $L\ h^{-1}$ ;

$E_a$  – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Antes do plantio, efetuou-se uma irrigação em todas as parcelas experimentais, deixando-se o solo na capacidade de campo. Terminado o plantio, efetuaram-se irrigações diárias no período da manhã de modo a deixar o solo sempre úmido na profundidade em que as sementes foram colocadas até a emergência das plântulas de algodão, para garantir o pleno estabelecimento destas. Após a emergência, três dias após o plantio (DAP), foi iniciado o manejo da irrigação em função do clima, aplicando-se lâmina de irrigação correspondente a 100% da  $ET_c$  para todas as parcelas experimentais.

Com o estabelecimento da cultura e por ocasião da operação de desbaste, 25 dias após a emergência das plantas (DAE), iniciou-se a diferenciação das lâminas de irrigação para as parcelas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado, introduzindo no cálculo do tempo de irrigação ( $T_i$ ), o fator de correção “F” para as lâminas estabelecidas conforme os tratamentos supracitados. Ao final do experimento, 135 DAE, a lâmina de irrigação acumulada para cada tratamento foi de 307,75, 461,62, 615,49, 769,36 e 923,24 mm para 50, 75, 100, 125 e 150% da  $ET_c$ , respectivamente.

## 2.6 Manejo da adubação

Foi utilizado cloreto de potássio (KCl, 60% de  $K_2O$ ) como fonte do elemento em estudo para o fator “D”, onde foi aplicado 50% da dosagem recomendada no sulco de plantio à 0,10 m de profundidade antes da semeadura, 25% após o desbaste em cobertura em sulco 0,05 m ao lado da linha de plantio na profundidade de 0,10 m e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2002; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004), com o adubo

distribuído manualmente nos sulcos, totalizando 0, 20, 40, 60 e 80 kg de  $K_2O$   $ha^{-1}$  para 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem recomendada para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigada, de acordo com a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008).

Seguiu-se o mesmo manejo para a TA, colocando-se a formulação de 90-40-40 kg  $ha^{-1}$  de N,  $P_2O_5$  e  $K_2O$  conforme recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008). Foi utilizada a ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio, superfosfato simples (20% de  $P_2O_5$ ) como fonte de fósforo e cloreto de potássio (KCl, 60% de  $K_2O$ ) como fonte de potássio. O fósforo foi aplicado todo na fundação. Para o nitrogênio e o potássio, foram aplicados 50% da dosagem recomendada na fundação, e o restante, parcelados em cobertura, colocando-se 25% em após o desbaste e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta.

## **2.7 Caracterização do sistema de tratamento**

O esgoto bruto foi oriundo do sistema de esgotamento condominial implantado para o atendimento de 500 habitações, cerca de 3.000 habitantes, localizados nas proximidades do bairro Lajes, Ibimirim, PE. O tratamento do esgoto bruto compreendeu a passagem deste por um tratamento preliminar integrado por uma grade de barras de ferro (Figura 4A), onde foi realizado o tratamento preliminar, seguindo depois para a barragem adjacente para sedimentação (Figura 4B), e em seguida para a caixa de areia associada a uma calha Parshall (Figura 4C) para conduzir o afluente ao poço úmido (Figura 4D) e então bombeado para o tratamento secundário realizado por um reator UASB operando com fluxos ascendente e descendente (modo híbrido) e por fim, este seguia por gravidade para a lagoa de estabilização.

Figura 4 – Detalhe do sistema de pré-tratamento integrado pela grade de barras de ferro (A), barragem de sedimentação (B), caixa de areia + calha Parshall (C) e poço úmido (D)



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 5A é indicado o percurso do afluente partindo-se da estação elevatória (poço úmido) até o reator UASB (Figura 5B), onde é feita a remoção da matéria orgânica, sendo em seguida, despejado nas lagoas de estabilização (Figura 5C) confeccionada nas dimensões de 3,0 m de largura x 7,0 m de comprimento x 1,0 m de profundidade e impermeabilizada com lona plástica.

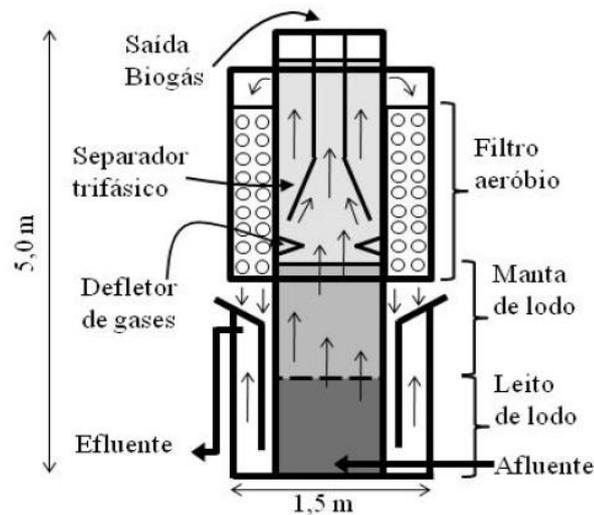
Figura 5 – Layout esquemático do percurso do tratamento do afluente (A), visão geral do reator UASB associado a lagoa de estabilização (B) e visão detalhada da lagoa de estabilização com o esgoto doméstico tratado (C)



Fonte (A): Silva, 2010 (adaptado); Fonte (B e C): Elaborada pelo autor.

O esquema de funcionamento do reator (UASB) é descrito na Figura 6. O tratamento consiste no fluxo ascendente do afluente (esgoto bruto) pela manta de lodo, responsável pela filtração e remoção da matéria orgânica em seguida passando pelo separador trifásico sendo então direcionado para o compartimento aeróbio (fluxo descendente).

Figura 6 – Esquema de funcionamento do reator de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)



Fonte: Silva, 2010 (adaptado).

## 2.8 Caracterização do sistema de irrigação

A irrigação foi realizada por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição de água foram utilizadas fitas gotejadoras autocompensantes de carga hidráulica (marca Netafim, modelo Dripnet PC 16250) com diâmetro e vazão nominais de 16 mm e 2,0 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a sucção e recalque do efluente, utilizou-se uma bomba centrífuga de eixo horizontal (marca Schneider, com potência de 1,0 cv.).

## 2.9 Calagem, preparo do solo, material vegetal, plantio e tratamentos culturais

A calagem do solo foi realizada colocando-se a quantidade de 86 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 70%, calculada com base no método da neutralização do alumínio trocável, sendo incorporada na profundidade de 0,20 m com auxílio de grade niveladora. O preparo do solo da área experimental ocorreu por ocasião da incorporação do calcário no solo, constando de duas gradações cruzadas com a grade niveladora.

Foi utilizado o material genético BRS Rubi, o qual é indicado para o cultivo em região semiárida do Nordeste brasileiro, possuindo características como: coloração marrom escura ou marrom avermelhada, altura média de 1,10 m, ciclo de 120 a 140 dias, com rendimento em ensaios de sequeiro de 1.871 kg ha<sup>-1</sup> e superior a 3.500 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço em condições irrigadas, nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

O plantio do algodoeiro foi realizado em sulco na profundidade de 0,05 m colocando-se cinco sementes a cada intervalo de 0,20 m no sulco, deixando-se 10 plantas por metro linear após o desbaste (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

O controle das plantas invasoras (daninhas) foi realizado manualmente com o auxílio de enxada, mantendo-se a lavoura livre destas, desde a emergência das plântulas do algodoeiro até os 40 DAE, quando a cultura atingiu pleno estágio vegetativo, entrando no início da floração.

Foi adotado o manejo integrado de pragas (MIP) recomendado pela Embrapa Algodão, com a realização diária de amostragens de pragas a partir da emergência das plântulas até o final do ciclo da cultura utilizando-se produtos seletivos quando a população de pragas atingia o nível de controle (ALMEIDA; SILVA; RAMALHO, 2008). Não houve incidência do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman).

## 2.10 Variáveis analisadas

Aos 130 DAE, foi medida a condutância estomática ao vapor d'água ( $g_s$ , mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa transpiratória foliar ( $E$ , mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> ( $A$ , μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ , μmol CO<sub>2</sub> mol ar<sup>-1</sup>). Com os dados de  $A$ ,  $C_i$  e  $E$ , foram estimadas a eficiência aparente de carboxilação da ribulose-1,5-bifosfato ( $EC_i$ , μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ppm CO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) calculada pela razão entre  $A/C_i$ , e a eficiência instantânea no uso de água ( $EUA_i$ , μmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup>) calculada pela razão entre  $A/E$ .

As medições de trocas gasosas foliares foram realizadas entre 8:00 e 11:00 h da manhã em folhas saudáveis, totalmente expandidas, sendo padronizada a folha n. 4 a contar do ápice para a base, considerando como primeira, àquela emitida mais recentemente (HU *et al.*, 2016). As medições foram obtidas por meio de um analisador de gás no infra-vermelho (IRGA, modelo LI-6400 XT) realizadas aleatoriamente em uma planta da área útil de cada parcela dentro dos blocos com a finalidade de minimizar os erros.

Os dados foram coletados em sistema aberto com a câmara foliar ajustada para densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos, temperatura ambiente e concentração de CO<sub>2</sub> capsular, aproximadamente, de  $1800 \pm 267$  μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>,  $31 \pm 1$  °C e 500 μmol CO<sub>2</sub> mol ar<sup>-1</sup>, respectivamente.

O agendamento do IRGA ao DEAGRI/UFRPE só foi conseguido por um período de dois dias, uma vez que, no durante o período experimental, o departamento demandava por

sua utilização em outros experimentos. Durante as medições de trocas gasosas, as TAs foram deixadas por último e no momento de suas medições, houve sombreamento pela formação de nuvens, inviabilizando a obtenção dos dados, uma vez que, não se dispunha de câmara de luz artificial. Logo, no presente trabalho, são apresentados apenas os resultados e discussão referentes às parcelas submetidas à adubação potássica e lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado.

## 2.11 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância. Quando constatado efeito significativo da interação entre os fatores estudados, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando as lâminas (L) e as doses (D) como variáveis independentes. Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM, para análise de variância e PROC RSREG, para análise de superfície de resposta (ZIMMERMANN, 2014).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores lâmina (L) e dose (D) nas trocas gasosas do algodoeiro colorido aos 130 DAE, ao nível de 0,01 de probabilidade (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para a condutância estomática (gs), Transpiração (E), taxa de assimilação líquida (A), concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci), eficiência de carboxilação (ECi) e eficiência instantânea no uso de água (EUAi)

FV	GL	Quadrado Médio					
		gs	E	A	Ci	ECi	EUAi
Bloco	3	0,000007 <sup>NS</sup>	1,6720 <sup>**</sup>	2,056352 <sup>NS</sup>	709,8277 <sup>**</sup>	0,00013 <sup>**</sup>	0,134729 <sup>NS</sup>
Lâmina (L)	4	0,138124 <sup>**</sup>	20,4478 <sup>**</sup>	186,1721 <sup>**</sup>	1704,1986 <sup>**</sup>	0,00232 <sup>**</sup>	3,245990 <sup>**</sup>
Dose (D)	4	0,035990 <sup>**</sup>	9,5019 <sup>**</sup>	19,9220 <sup>**</sup>	852,9031 <sup>**</sup>	0,00014 <sup>**</sup>	0,536827 <sup>**</sup>
L x D	16	0,004732 <sup>**</sup>	1,5397 <sup>**</sup>	7,1465 <sup>**</sup>	218,8244 <sup>**</sup>	0,00009 <sup>**</sup>	0,312096 <sup>**</sup>
Resíduo	72	0,0002	0,2237	1,1259	36,4856	0,00001	0,072310
CV (%)		5,84	7,83	6,94	2,4198	6,63	10,41

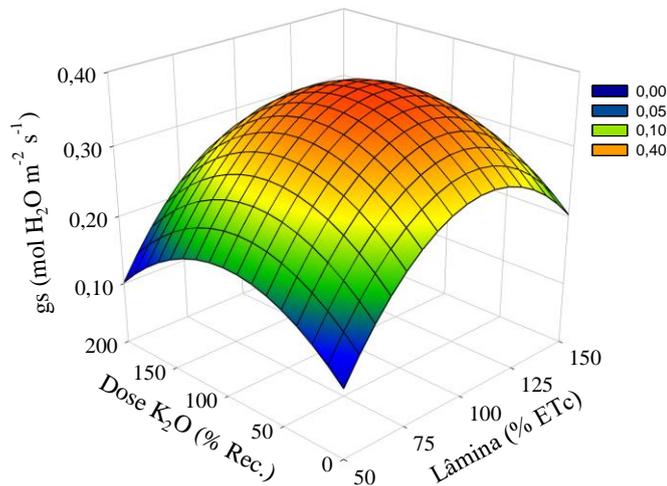
(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O aumento da reposição hídrica até a lâmina correspondente à 110% da ETc e da dosagem de potássio recomendada até 96% estimularam a condutância estomática até o máximo valor de  $0,3720 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Valores de lâmina de irrigação e doses de potássio acima dos máximos estimados comprometeram a condutância estomática do algodoeiro colorido (Figura 7).

Figura 7 – Superfície de resposta para a condutância estomática ao vapor d'água (gs) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$gs = -0,356982 + 0,011394**L + 0,002198**D - 0,000050142**L^2 - 0,000009019**D^2 - 0,000004305*LD$$

$$R^2 = 0,6831$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Lâminas de irrigação acima de 110% da ETc e doses de potássio superiores a 96% da dose recomendada evidenciam ter submetido as plantas do algodoeiro colorido ao estresse pelo excesso de ambos os insumos, como inclusive justificam Silva *et al.* (2015) ao constatarem efeito semelhante para a cultura da berinjela.

Sob condições de estresse hídrico, as plantas fecham os estômatos em resposta às perdas de água, reduzindo a condutância e conseqüentemente a transpiração, assimilação e concentração de  $\text{CO}_2$  na câmara subestomática (TAIZ *et al.*, 2017). Em condições de solo arenoso e com aplicação de lâminas e doses excessivas, Albuquerque *et al.* (2011a) constatarem maiores perdas de potássio por lixiviação, evidenciando a predisposição desse elemento à lixiviação, principalmente em solos arenosos e de baixa CTC, o que pode explicar a diminuição da condutância nas doses de potássio acima da máxima estimada (96%).

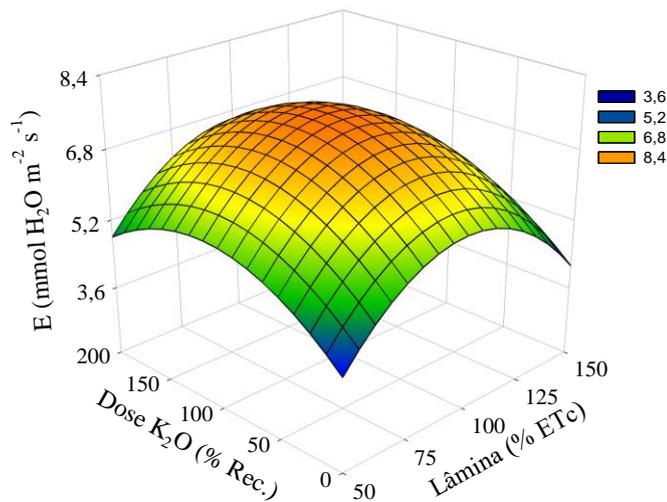
Avaliando a cultura da soja sob reposição hídrica de 40 e 100% da capacidade de campo e doses potássicas de 0, 90 e 180 mg dm<sup>-3</sup>, Catuchi *et al.* (2012) observaram que o aumento da dose de potássio no regime de 100% da reposição hídrica, promove aumento da condutância estomática, mas, em condição de restrição hídrica (40% da reposição), ocorre diminuição desse parâmetro fisiológico.

A resposta da transpiração das plantas aos fatores L x D foi máxima ( $E = 7,60$  mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) quando aplicada a reposição hídrica de 99% da ETc combinada com a dose de 113% do recomendado (Figura 8).

Figura 8 – Superfície de resposta para a transpiração foliar (E) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$E = -1,992771 + 0,158872^{**}L + 0,030669^{**}D - 0,000776^{**}L^2 - 0,000116^{**}D^2 - 0,000046163^{NS}LD$$

$$R^2 = 0,5729$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A resposta da transpiração semelhante à condutância estomática corrobora o fato de que esta determina a demanda com a qual a taxa transpiratória está potencialmente sujeita, controlando sua perda de água para o ambiente (LIMA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2015). Constata-se também que no solo com umidade à capacidade de campo, as plantas apresentam elevadas taxas transpiratórias, mas, diminui expressivamente à diminuição do teor de água no solo como constatado também em culturas como a (SILVA *et al.*, 2015).

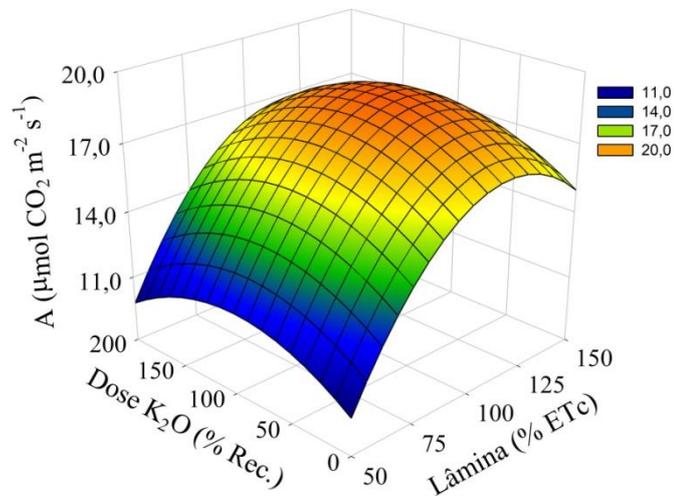
O aumento da reposição hídrica até 117% da ETc e da dose de potássio até 97% do recomendado, estimula a taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> até o valor máximo estimado de

18,64  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , entretanto, aumentos superiores a referida combinação L x D, inibe a fotossíntese do algodoeiro colorido BRS Rubi (Figura 9).

Figura 9 – Superfície de resposta para a taxa de assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  (A) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$A = -5,704727 + 0,375605^{**}L + 0,048897^{**}D - 0,001563^{**}L^2 - 0,000191^{**}D^2 - 0,000101^{\text{NS}}LD$$

$$R^2 = 0,6701$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Com relação às doses de potássio, o ajuste quadrático com aumento da taxa de assimilação até a dose máxima de 97%, relaciona-se com as funções do potássio na dinâmica estomática bem como da ativação da função carboxilase da Rubisco, conferindo-lhe uma maior atividade fotossintética (CAKMAK, 2005; CATUCHI *et al.*, 2012).

A diminuição das taxas de assimilação provocadas pelas doses superiores a 97% do recomendado para a cultura, é reflexo da diminuição da condutância estomática que pode ter sido intensificada pelo efeito osmótico no solo, ocasionada pela própria composição da água de esgoto doméstico tratado acumulada ao longo do ciclo do algodoeiro, cuja concentração era 74,9, 21,0, 133,1 e 43,6  $\text{mg L}^{-1}$  de cálcio, magnésio, sódio e potássio, respectivamente com condutividade elétrica da água de esgoto doméstico tratado igual a 2,1  $\text{dS m}^{-1}$ .

É notório que as trocas gasosas foliares e o crescimento das culturas são sensivelmente influenciados pela reposição hídrica e adubação potássica, de modo que, a

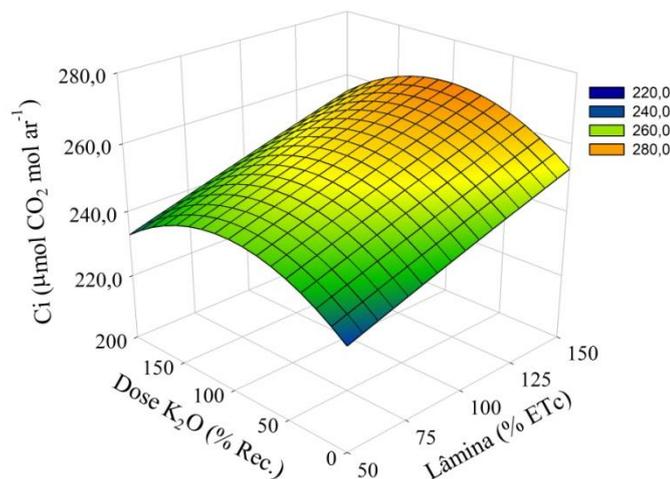
interação entre esses fatores é um indicativo de que a dose potássio depende da reposição hídrica ao solo como constatado por Albuquerque *et al.* (2011b) e Catuchi *et al.* (2012).

A concentração intercelular de CO<sub>2</sub> aumentou linearmente em função das lâminas de irrigação e apresentou ajuste quadrático para as doses de potássio. A máxima Ci (272,37 μmol de CO<sub>2</sub> mol ar<sup>-1</sup>) foi observada quando se combinou a lâmina 150% da ETc e 100% da dose de potássio (Figura 10).

Figura 10 – Superfície de resposta para a concentração intercelular de CO<sub>2</sub> (Ci) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$Ci = 203,2304 + 0,4021 * L + 0,4358 ** D - 0,0001^{NS} L^2 - 0,0013 ** D^2 - 0,0013 ** LD$$

$$R^2 = 0,5802$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Pela resposta obtida, a reposição hídrica ao solo constitui fator limitante a assimilação foliar de CO<sub>2</sub> em plantas de algodoeiro, conforme discutem também Catuchi *et al.* (2012), uma vez que foi observada uma maior Ci quando proporcionada a maior reposição hídrica, fato este corroborado por Silva *et al.* (2015), que constataram em plantas de berinjela, maiores concentrações de CO<sub>2</sub> quando foi lhes imposta, maiores lâminas de irrigação.

O aumento da Ci, em geral, expressa também um aumento da gs; isso indica que a restrição estomática prejudica o desempenho fotossintético das plantas com reflexos negativos na difusão de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática (HU *et al.*, 2016; TSIALTAS *et al.*, 2016). Para Ferraz *et al.* (2014), diminuições na Ci são reflexos da diminuição das taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, justificadas pelo fato de que, a absorção de CO<sub>2</sub> acarreta em

perdas hídricas, onde no sentido inverso, a diminuição ou restrição hídrica, diminui a assimilação de CO<sub>2</sub>, diminuindo a Ci.

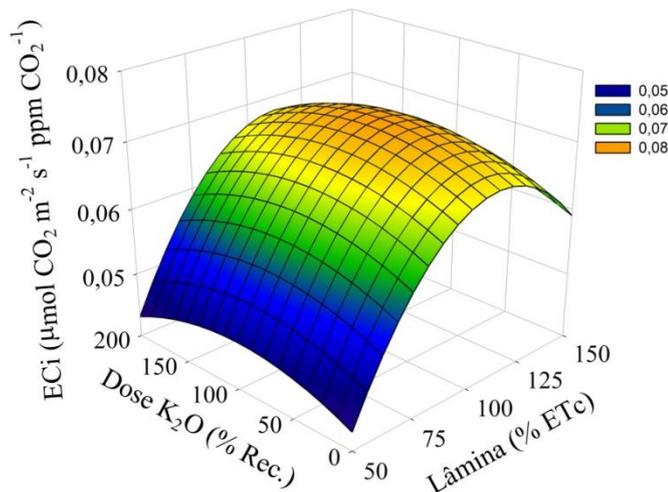
O aumento da Ci com o aumento da reposição hídrica pode ser explicado pela EUAi, que eleva-se com o aumento das lâminas de irrigação, onde as plantas fazem maior difusão de CO<sub>2</sub> por perda de água, aumentando a Ci e mantendo o efeito linear crescente para esta variável.

A eficiência aparente de carboxilação do CO<sub>2</sub> (ECi) respondeu de forma quadrática aos fatores L x D. Valores máximos da ECi (0,0720 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ppm CO<sub>2</sub><sup>-1</sup>) foram observados com a reposição hídrica de 113% da ETC e dose de 100% da recomendação (Figura 11).

Figura 11 – Superfície de resposta para a eficiência instantânea de carboxilação (ECi) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$ECi = -0,01286 + 0,001418^{**}L + 0,00009451 * D - 0,000006241^{**}L^2 - 0,000000427 * D^2 - 0,0000000766^{NS}LD$$

$$R^2 = 0,6067$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

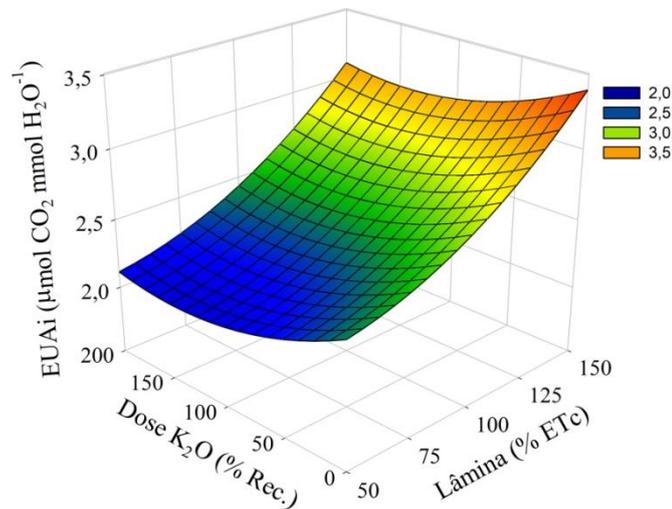
O aumento na reposição hídrica, implica em maior disponibilidade de água no solo e conseqüentemente, maior condutância estomática, que, associado a maior concentração intercelular de CO<sub>2</sub>, promove incremento na ECi devido ao aumento na assimilação de CO<sub>2</sub>. Deste modo, verifica-se que ECi depende da Ci no mesófilo, bem como, de fatores abióticos para a realização de fotossíntese (SILVA *et al.*, 2015).

Com relação à eficiência instantânea no uso de água (EUAi), foi observado máxima resposta deste parâmetro fotossintético ( $EUAi = 3,42 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$ ) nas plantas irrigadas com lâmina correspondente a 150% da ETc independentemente da dose de potássio (Figura 12).

Figura 12 – Superfície de resposta para a eficiência instantânea no uso de água (EUAi) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$EUAi = 2,4340 - 0,0041^{NS}L - 0,0047*D + 0,000071*L^2 + 0,000017*D^2 - 0,0000015^{NS}LD$$

$$R^2 = 0,5588$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Aumentos na EUAi também foram evidenciados por Brito *et al.* (2012) em cultivares de citros com o aumento da reposição hídrica no solo. Em condições de maior disponibilidade hídrica ( $L = 150\% \text{ ETc}$ ), constata-se menores valores de E nas plantas de algodoeiro, mediados pela resistência estomática como comentado anteriormente. Sendo EUAi a relação entre o que a planta assimila de  $\text{CO}_2$  por perda de água, e constatando-se que as maiores taxas de assimilação ocorreram com lâminas próximas a 150% da ETc, é evidenciado o aumento deste quociente implicando que as plantas, sob condições de reposição hídrica excessiva, precisam realizar maior difusão de  $\text{CO}_2$  como consequência do fechamento estomático.

Por ocasião da abertura estomática, a assimilação de  $\text{CO}_2$  pela ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase nos cloroplastos promove perdas hídricas para a atmosfera, o que, em condições de menor reposição hídrica, ocorre menor difusão de  $\text{CO}_2$  nas plantas. Para

tanto, as mesmas precisam absorver maiores quantidades de CO<sub>2</sub> com o mínimo de perda de água (SHIMAZAKI *et al.*, 2007; BRITO *et al.*, 2012; TAIZ *et al.*, 2017).

Com relação às doses de potássio aplicadas, foi verificado que mesmo sendo significativa, as variações na EUAi em função das doses foram inferiores a 1,0 μmol CO<sub>2</sub> mmol H<sub>2</sub>O<sup>-1</sup> independente da lâmina de irrigação aplicada.

Apesar de o potássio desempenhar funções vitais na fisiologia das plantas, a EUAi parece ser regida principalmente pela disponibilidade hídrica no solo para as plantas do algodoeiro colorido, uma vez que, a redução da condutância limitou mais as perdas de água (E) do que a entrada de CO<sub>2</sub> (A) pelos estômatos, refletindo no aumento da EUAi com o aumento da reposição hídrica, o que pode ser um indicativo de tolerância desta espécie ao estresse hídrico.

Quando se observa este efeito para as doses aplicadas, observa-se uma manutenção da transpiração em detrimento da fotossíntese, refletindo em baixa variação da EUAi com o aumento das doses de potássio. A não variação da EUAi em função da adubação potássica também foi observada por Catuchi *et al.* (2012) em cultivares de soja e por Tsialtas *et al.* (2016) em cultivares de algodoeiro.

#### **4 CONCLUSÕES**

Com base na interação lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) vs doses de potássio (D), a necessidade de aplicação de potássio depende da reposição hídrica ao solo.

Com base na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> (A), a lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado para repor 117% da ETc associada a dose correspondente a 97% da recomendação de potássio é a que propiciou maior valor desse parâmetro fisiológico.

Os maiores valores para a condutância estomática, assimilação e concentração intercelular de CO<sub>2</sub> obtidos com a reposição hídrica superior à necessidade da cultura (100% da ETc, associadas as doses de potássio, indicam que a máxima eficiência dos parâmetros fotossintéticos do algodoeiro colorido BRS Rubi, cultivado no semiárido Pernambucano, dependem de um manejo com aplicações suplementares desses insumos.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; SOUZA, A. E. R.; ROLIM, M. M. Lixiviação de potássio em um cultivo de pimentão sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Caatinga**, v.24, n. 3, p.135-144, 2011a.
- ALBUQUERQUE, F. S.; SILVA, E. F. F.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; NUNES, M. F. F. N. Growth and yield of sweet pepper fertigated under different irrigation depths and potassium doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 686–694, 2011b.
- ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. **Water use with drip irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 341-345.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56
- ALMEIDA, R. P.; SILVA, C. A. D.; RAMALHO, F. S. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no Brasil. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 30, p. 1034-1098.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.
- ANDRADE-FILHO, J.; NASCIMENTO, I. B.; SOUSA-NETO, O. N.; DIAS, N. S.; RIVERA, R. C.; PORTELA, J. C.; COSTA, J. D. Foliar content of N, P and K in cotton fertigated with treated sewage Contenido foliar de N , P y K en algodón fertirrigado con efluente de alcantarillado tratado. **Revista Dyna**, v. 84, p. 147–154, 2017.
- BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.625-632, 2010.
- BRITO, M. E. B.; SOARES, L. A. D. A.; FERNANDES, P. D.; LIMA, G. S.; SÁ, F. V. S.; MELO, A. S. Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.857–865, 2012.
- CAKMAK, I. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIORIZI, K. A.; BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, n. 4, p.519-527, 2012.

DECROIX, M. **Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell.** Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo cultural da cultivar BRS Marrom – cultivos convencional e orgânico.** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão : o produtor pergunta, a Embrapa responde.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos.** 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar.** 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018. (Sistemas de produção Embrapa). Disponível em:  
<[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3718&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=1307](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3718&p_r_p_-996514994_topicoId=1307)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina**, v.35, p.735–748, 2014.

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation.** *In*: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

HU, W.; JIANG, N.; YANG, J.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHAO, W.; OOSTERHUIS, D. M.; ZHOU, Z. Potassium (K) supply affects K accumulation and photosynthetic physiology in two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars with different K sensitivities. **Field Crops Research**, v. 196, p. 51–63, 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3.ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212p.

KELLER, J. **Trickle irrigation.** En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129 p.

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

LIMA, M. A.; BEZERRA, M. A.; GOMES FILHO, E.; PINTO, C. M.; ENÉAS FILHO, J. Trocas gasosas em folhas de sol e sombreadas de cajueiro anão em diferentes regimes hídricos. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.654-663, 2010.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. R. A.; FREIRE, A. G.; SOARES, L. C. S. Produção do algodoeiro em função da salinidade e tratamento de sementes com regulador de crescimento. **Revista Ciência Agronômica**, v.43, p.279-287, 2012.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; RAPER, T. B. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.173, p.331-343, 2013.

SHIMAZAKI, K. I.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, v.58, p.219-247, 2007.

SILVA, M. M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2010.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.946-952, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. MAX; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TSIALTAS, I. T.; SHABALA, S.; BAXEVANOS, D.; MATSI, T. Effect of potassium fertilization on leaf physiology, fiber yield and quality in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 193, p. 94–103, 2016.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; WEITANG; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. **Field Crops Research**, v. 197, p. 1–9, 2016.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 748–754, 2015.

ZÖRB, C.; SENBAYRAM, M.; PEITER, E. Potassium in agriculture - Status and Perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 171, n. 9, p. 656–669, 2014.

### **CAPÍTULO III**

---

#### **Respostas morfológicas do algodoeiro colorido sob adubação potássica e irrigação com água residuária tratada**

## RESPOSTAS MORFOLÓGICAS DO ALGODOEIRO COLORIDO SOB ADUBAÇÃO POTÁSSICA E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA

### RESUMO

Características de crescimento são importantes para prática da colheita manual do algodoeiro no contexto da agricultura familiar, visto que plantas mais altas favorecem a colheita do capulho. Estudos com a utilização de águas residuárias tem evidenciado crescimento adequado para esta cultura. O potássio apresenta reconhecida importância na fisiologia das plantas, onde, concentrações adequadas no solo promovem um maior influxo de água e nutrientes para as células vegetais, bem como a manutenção da folhagem para as plantas do algodoeiro. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com águas de esgotos domésticos tratados e doses de potássio no crescimento do algodoeiro colorido BRS Rubi. O experimento foi desenvolvido em blocos ao acaso em esquema fatorial (5 x 5) + 1, cinco lâminas de irrigação (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% do recomendado para a cultura) e uma testemunha absoluta irrigada com lâmina de 100% da ETc e adubada com fertilizante mineral, com quatro repetições. Avaliaram-se a altura de plantas, diâmetro caulinar, área foliar do algodoeiro e o acúmulo de massa seca da parte aérea, aos 130 dias após a emergência das plantas. As plantas do algodoeiro de fibra colorida obtiveram maior crescimento com o aumento da reposição hídrica com água de esgoto doméstico tratado associada à suplementação potássica. A lâmina de irrigação de 127% da ETc associada a dose de 100% do recomendado para a cultura promove maior manutenção da folhagem e área foliar do algodoeiro. O diâmetro do caule foi máximo quando se irrigou com a lâmina de irrigação de 150% da ETc com água de esgoto doméstico tratado, sem a necessidade da suplementação potássica. A irrigação efetuada somente com água de esgoto doméstico tratado para a reposição de 100% da ETc promove maior crescimento em altura, com diâmetro caulinar e acúmulo de massa seca semelhante ao cultivo adubado com fertilizante mineral.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L., Altura de plantas. Biomassa seca. Lâminas de irrigação. Águas residuárias.

## MORPHOLOGICAL RESPONSES OF COLORED COTTON WITH POTASSIUM FERTILIZATION AND IRRIGATION WITH TREATED WASTE WATER

### ABSTRACT

Growth characteristics are important for the manual harvesting of cotton in the context of family agriculture, since higher plants favor harvesting of the beet. Studies with the use of wastewater have shown adequate growth for this crop. Potassium has a recognized importance in the physiology of plants, where, adequate concentrations in the soil promote a greater influx of water and nutrients to the plant cells, as well as the maintenance of the foliage for the cotton plants. The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation with treated domestic sewage water and potassium doses on the growth of BRS Rubi colored cotton. The experiment was carried out in a randomized block in a factorial scheme  $(5 \times 5) + 1$ , five irrigation depths (50, 75, 100, 125 and 150% ETc) and five doses of potassium (0, 50, 100, 150 and 200% recommended for the crop) and an absolute control irrigated with a 100% ETc slide and fertilized with mineral fertilizer, with four replicates. The plant height, stem diameter, leaf area of the cotton plant and the accumulation of dry mass of the shoot were evaluated at 130 days after emergence of the plants. The cotton fiber plants showed higher growth with the increase of water replacement with treated domestic sewage water associated with potassium supplementation. The irrigation depth of 127% ETc associated with 100% recommended dose for the crop promotes greater maintenance of foliage and leaf area of the cotton. The diameter of the stem was maximal when irrigated with the irrigation amine of 150% ETc with treated domestic sewage, without the need of potassium supplementation. The irrigation carried out with treated domestic sewage water for 100% ETc replacement promotes higher height growth, with shoot diameter and dry mass accumulation similar to the fertilized mineral fertilizer crop.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. Plant height. Dry biomass. Irrigation depths. Wastewater.

### 1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.) é uma importante opção agrícola para a região semiárida brasileira, adaptando-se as baixas precipitações pluviométricas que atinge uma região de grande importância socioeconômica para o país. Ainda, a utilização de

variedades coloridas criadas nos anos 2000 pela Embrapa, além de serem ecoadaptadas as condições adversas desta região, promove a economia de água nos processos de tingimento, agregando valor ao produto e gerando maior renda ao trabalhador rural (FERRAZ *et al.*, 2014).

Recentemente, a cotonicultura vem sendo uma importante fonte de receita em alguns municípios do Nordeste brasileiro, garantindo os ganhos quando culturas como feijão, milho e fava não suportam as estiagens, e o que é gerado, atende somente a subsistência de agricultores familiares. Nesse sentido, empresas de assistência técnica, por meio de projetos de revitalização da cadeia produtiva, vêm auxiliando o cultivo do algodoeiro, promovendo reuniões diretamente com empresários e gerando contratos de compra e venda com preço justo (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

Diante da escassez de água e da distribuição irregular das chuvas que acometem as regiões semiáridas, a utilização de fontes hídricas alternativas como as águas salobras, de drenagem agrícola e de esgotos domésticos tratados têm se caracterizado como alternativas potenciais para usos menos restritivos (HESPANHOL, 2002).

Em se tratando das águas de esgotos domésticos tratados, além de aumentar a oferta hídrica, muitos são os benefícios da utilização destas no âmbito da agricultura como economia de água potável para uso doméstico, nutrição da plantas e ciclagem de nutrientes, melhora da fertilidade do solo, diminuição de impactos ambientais gerados pela deposição de afluentes diretamente nos cursos d'água, etc. (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014; AZIZ; FARISSI, 2014; MARGENAT *et al.*, 2017; ROSA *et al.*, 2017).

No algodoeiro, estudos com a utilização de águas de esgotos domésticos tratados tem possibilitado a economia de nutrientes aplicados via fertilização mineral, bem como, propiciado maior crescimento e acúmulo de biomassa desta espécie (SOUSA NETO *et al.*, 2012; ANDRADE FILHO *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2016).

Algumas características de crescimento, como a altura de plantas, são de suma importância quando se trabalha no contexto da agricultura familiar, por se tratar de colheita manual, onde é desejável plantas mais altas facilitando a colheita do capulho pelo agricultor.

O potássio apresenta reconhecida importância na fisiologia das plantas, sendo considerado o principal cátion inorgânico devido ao seu papel na atividade enzimática, manutenção do equilíbrio iônico, potencial osmótico e absorção de água, regulação estomática etc. (OOSTERHUIS *et al.*, 2014; HU *et al.*, 2016).

O algodoeiro possui hábito de crescimento indeterminado, requerendo concentrações de potássio que sejam suficientes para seu crescimento. Logo, a absorção deste

nutriente apresenta impacto profundo no crescimento, rendimento e qualidade das fibras desta espécie (ASHFAQ; HUSSAIN; ATHAR, 2015).

A deficiência de potássio pode levar à diminuição da expansão foliar e na capacidade de assimilação líquida de CO<sub>2</sub>, conseqüentemente, diminuindo seu crescimento e rendimento. Além do que, a deficiência de potássio nos últimos anos tem se tornado um problema muito comum no mundo e na maioria dos solos onde se produz o algodão, a reserva desse nutriente não é suficiente para suprir as quantidades extraídas pela cultura, sendo imprescindível seu fornecimento (ASHFAQ; HUSSAIN; ATHAR, 2015).

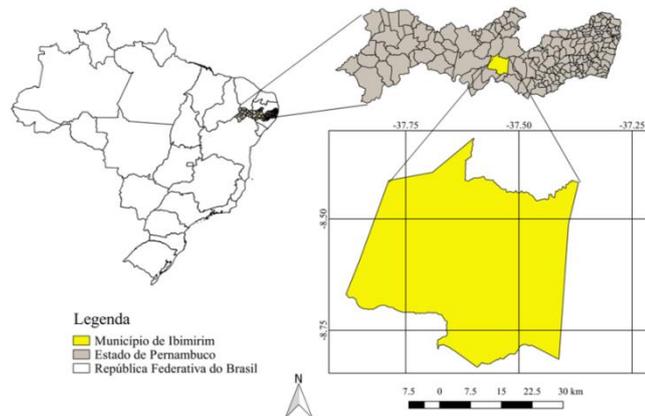
Diante do exposto e com o propósito de avaliar a utilização de águas residuárias no contexto da agricultura familiar, objetivou-se investigar o crescimento do algodoeiro colorido sob lâminas de irrigação com água de esgoto tratado e doses de potássio no semiárido pernambucano.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização da área geográfica**

O experimento foi conduzido no período de 15 de abril a 30 de agosto de 2016 em condições de campo na unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, à 334 km da capital Recife. A área experimental está localizada na latitude 8° 32' 05'' Sul, longitude 37° 41' 50'' Oeste com altitude média de 408 m, conforme sistema de referência de coordenadas UTM: datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, República Federativa do Brasil

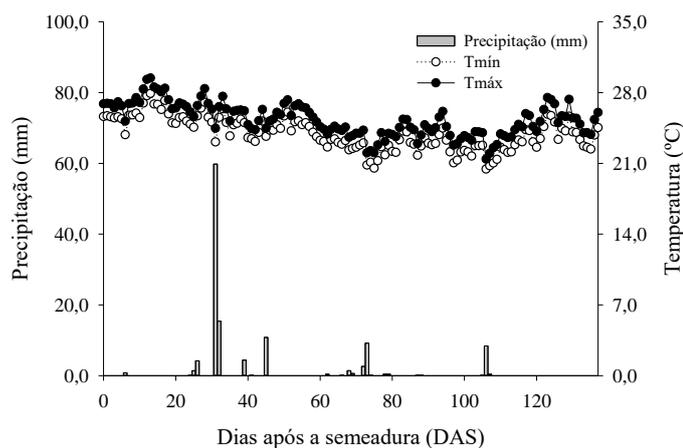


Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.2 Caracterização da área experimental

O clima da região classifica-se como BSh (semiárido muito quente) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 454 mm. Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 122 mm e temperatura média de 24,6 °C, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Dados diários de precipitação, temperatura máximas e mínimas registradas durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014). O material

de solo foi coletado na camada de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema *et al.* (2011), apresentando textura franco arenosa com 760, 80 e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental

Camada de solo (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Al	(H+Al) <sup>a</sup>	CTC <sup>b</sup>	SB <sup>c</sup>	m <sup>d</sup> --- (%) ---	V <sup>e</sup>
----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----												
0 – 0,20	25	4,60	1,25	0,75	0,03	0,19	0,15	1,56	3,78	2,22	6	59
0,20 – 0,40	19	4,30	1,40	0,70	0,04	0,24	0,40	2,14	4,52	2,38	14	53

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Acidez potencial; <sup>(b)</sup> Capacidade de troca catiônica; <sup>(c)</sup> Soma de bases; <sup>(d)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(e)</sup> Saturação por bases.

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5) + 1, compondo 26 tratamentos com quatro repetições, totalizando 104 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação, correspondentes a 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), tendo como fonte hídrica, água de esgoto doméstico tratado por um reator UASB (fator lâmina de irrigação, L), cinco doses de potássio, correspondendo a 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem sugerida para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigado com base no resultado da análise de solo (fator dose, D), utilizando-se a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008) e uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento (AA) de acordo com sua necessidade hídrica (100% ET<sub>c</sub>) e adubada com nitrogênio, fósforo e potássio em consonância com as recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. A parcela experimental apresentava 15 m<sup>2</sup>, composta por três fileiras simples de comprimento linear igual a 5,0 m, espaçadas 1,0 m e distância entre plantas de 0,20 m, considerando para a área útil da parcela a fileira central desprezando-se 1,0 m de cada extremidade desta.

### 2.4 Caracterização da fonte hídrica

A caracterização da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB é indicada na Tabela 2, cuja análise seguiu metodologia padrão da American Public Health Association (2012).

Tabela 2 – Caracterização físico-química da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB

Parâmetro	Unidade	Concentração	
		AA	UASB
Condutividade Elétrica	dS m <sup>-1</sup>	0,3	2,1
pH	-	9,2	7,2
Dureza Total	mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	153,3	273,4
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	54,4	74,9
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	4,3	21,0
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	19,0	133,1
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	10,6	43,6
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	126
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	8,5	13,7
Enxofre	mg L <sup>-1</sup>	4,0	5,3
Mangânes	mg L <sup>-1</sup>	1,28	1,30
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	10,3	9,2
DQO <sup>a</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	34,0	154,0
DBO <sup>b</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6,5	39,0
O <sub>2</sub> Dissolvido	%	85,5	46,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	-	2,2 x 10 <sup>7</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	-	1,4 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor.

(a) Demanda química de oxigênio; (b) Demanda bioquímica de oxigênio.

## 2.5 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado em função do clima ao longo do desenvolvimento da cultura. O cálculo da ET<sub>c</sub> foi determinado com base na evapotranspiração diária de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo modelo de Penman-Monteith - FAO (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1) e coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) proposto por Bezerra *et al.* (2010) (Equação 2). A aquisição dos dados climáticos para a determinação da ET<sub>o</sub> foi obtido pela estação meteorológica de observação de superfície automática (marca Campbell Scientific, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_{O} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

$ET_O$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$R_n$  – radiação líquida na superfície da cultura,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$G$  – densidade do fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$T_2$  – temperatura do ar a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u_2$  – velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  – pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$e_a$  – pressão atual de vapor,  $\text{KPa}$ ;

$e_s - e_a$  – déficit de pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$\Delta$  – declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\gamma$  – constante psicrométrica,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$$K_c = 0,632 + 0,009 \cdot \text{DAE} - 0,00006 \cdot \text{DAE}^2 \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

$K_c$  – coeficiente de cultivo adotado, adimensional;

$\text{DAE}$  – dias após a emergência das plantas.

Para o cálculo da  $ET_O$ , foram utilizados dados diários de temperatura média do ar, umidade relativa média, velocidade do vento e radiação solar. A estimativa da  $ET_c$  foi realizada com os dados de  $ET_O$ ,  $K_C$  e o coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ), que varia de 0 a 1, para a correção da  $ET_c$  conforme Equação 3.

$$ET_C = ET_O K_C K_{L\text{méd}} \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

$ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$ET_O$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_C$  – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

$K_{Lméd}$  – coeficiente de localização médio, dependente da percentagem de área sombreada, adimensional.

Na Tabela 3, é indicado o número de dias para cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro BRS Rubi e na Figura 3, os valores diários de  $ET_o$ ,  $ET_c$  e  $K_c$  durante o período experimental com base nas observações diárias de campo.

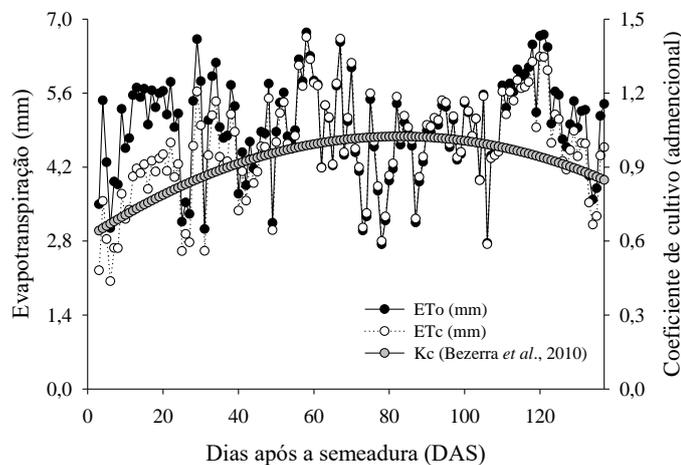
Tabela 3 – Ciclo fenológico do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, observado durante o período experimental

Fases	Estádios de desenvolvimento <sup>1</sup>	DAE <sup>2</sup>	Duração <sup>3</sup>
I	Emergência a 10% de cobertura do solo	1 - 19	19
II	10% de cobertura do solo ao início da floração	20 - 41	22
III	Início da floração ao início da maturação	42 - 89	48
IV	Início ao final da maturação	90 - 135	46

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(1)</sup> Determinado de acordo com observações diárias de campo; <sup>(2)</sup> Dias após a emergência; <sup>(3)</sup> em dias.

Figura 3 – Médias diárias da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do algodoeiro colorido BRS Rubi durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O coeficiente de localização médio foi determinado considerando a projeção da área sombreada ( $S$ ) da planta ao meio-dia (12:00h), ao longo do seu desenvolvimento de acordo com Aljibury, Marsh e Huntamer (1974) (Equação 4), Hoare, Garzoli e Blackwell (1974) (Equação 5), Decroix (1978) (Equação 6), Keller (1978) (Equação 7) e Keller e Bliesner (1990) (Equação 8), com o  $K_{Lméd}$  obtido pela média aritmética destes:

$$K_L = 1,34 * S \quad \text{eq.(4)}$$

$$K_L = S + 0,50 * (1 - S) \quad \text{eq.(5)}$$

$$K_L = 0,10 + S \quad \text{eq.(6)}$$

$$K_L = S + 0,15 * (1 - S) \quad \text{eq.(7)}$$

$$K_L = 0,10 * \sqrt{S} \quad \text{eq.(8)}$$

Os valores de coeficiente de localização médio utilizados no manejo da irrigação para o algodoeiro colorido são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ) utilizados durante o período experimental

DAE <sup>a</sup>	S <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> )	PAS <sup>c</sup> (%)	$K_L^1$	$K_L^2$	$K_L^3$	$K_L^4$	$K_L^5$	$K_{L\text{méd}}$
5	0,0081	0,81	0,0109	0,0109	0,1081	0,5041	0,1569	0,1740
10	0,0554	5,54	0,0742	0,0742	0,1554	0,5277	0,1971	0,2379
15	0,0826	8,26	0,1106	0,1106	0,1826	0,5413	0,2202	0,2684
20	0,1086	10,86	0,1455	0,1455	0,2086	0,5543	0,2423	0,2961
25	0,2406	24,06	0,3223	0,3223	0,3406	0,6203	0,3545	0,4256
30	0,3959	39,59	0,5305	0,5305	0,4959	0,6979	0,4865	0,5680
40	1,0314	103,14	1,0156	1,3821	1,1314	1,0157	1,0267	1,1143

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Dias após a emergência; <sup>(b)</sup> Área sombreada; <sup>(c)</sup> Percentual de área sombreada; <sup>(1)</sup> Keller e Bliesner (1990); <sup>(2)</sup> Aljibury, Marsh e Huntamer (1974); <sup>(3)</sup> Decroix (1978); <sup>(4)</sup> Hoare, Garzoli e Blackwell (1974); <sup>(5)</sup> Keller (1978); <sup>(d)</sup> Apesar de o coeficiente  $K_{L\text{méd}}$  ter sido 1,1143 aos 40 DAE, adotou-se o valor de 1,00 no manejo da irrigação até o final do ciclo da cultura.

As lâminas de irrigação (L) foram expressas em tempo de irrigação (Ti) estabelecido para cada tratamento, com Ti calculado pela Equação 9 em turno de rega (TR) diário.

$$Ti = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (9)}$$

Em que:

Ti – tempo de irrigação, min;

F – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,50, 0,75, 1,00, 1,25 e 1,50 para  $L_1 = 50$ ,  $L_2 = 75$ ,  $L_3 = 100$ ,  $L_4 = 125$  e  $L_5 = 150\%$  da  $ET_C$ , respectivamente);

- ET<sub>C</sub> – evapotranspiração da cultura, mm dia<sup>-1</sup>;  
 E<sub>LL</sub> – espaçamento entre linhas laterais, m;  
 E<sub>g</sub> – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;  
 q<sub>g</sub> – vazão do emissor, L h<sup>-1</sup>;  
 E<sub>a</sub> – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Antes do plantio, efetuou-se uma irrigação em todas as parcelas experimentais, deixando-se o solo na capacidade de campo. Terminado o plantio, efetuaram-se irrigações diárias no período da manhã de modo a deixar o solo sempre úmido na profundidade em que as sementes foram colocadas até a emergência das plântulas de algodão, para garantir o pleno estabelecimento destas. Após a emergência, três dias após o plantio (DAP), foi iniciado o manejo da irrigação em função do clima, aplicando-se lâmina de irrigação correspondente a 100% da ET<sub>C</sub> para todas as parcelas experimentais.

Com o estabelecimento da cultura e por ocasião da operação de desbaste, 25 dias após a emergência das plantas (DAE), iniciou-se a diferenciação das lâminas de irrigação para as parcelas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado, introduzindo no cálculo do tempo de irrigação (Ti), o fator de correção “F” para as lâminas estabelecidas conforme os tratamentos supracitados. Ao final do experimento, 135 DAE, a lâmina de irrigação acumulada para cada tratamento foi de 307,75, 461,62, 615,49, 769,36 e 923,24 mm para 50, 75, 100, 125 e 150% da ET<sub>C</sub>, respectivamente.

## 2.6 Manejo da adubação

Foi utilizado cloreto de potássio (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) como fonte do elemento em estudo para o fator “D”, onde foi aplicado 50% da dosagem recomendada no sulco de plantio à 0,10 m de profundidade antes da semeadura, 25% após o desbaste em cobertura em sulco 0,05 m ao lado da linha de plantio na profundidade de 0,10 m e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2002; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004), com o adubo distribuído manualmente nos sulcos, totalizando 0, 20, 40, 60 e 80 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> para 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem recomendada para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigada, de acordo com a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRÔNOMICO DE PERNAMBUCO, 2008).

Seguiu-se o mesmo manejo para a TA, colocando-se a formulação de 90-40-40 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O conforme recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008). Foi utilizada a ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio, superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como fonte de fósforo e cloreto de potássio (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio. O fósforo foi aplicado todo na fundação. Para o nitrogênio e o potássio, foram aplicados 50% da dosagem recomendada na fundação, e o restante, parcelados em cobertura, colocando-se 25% em após o desbaste e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta.

## **2.7 Caracterização do sistema de tratamento**

O esgoto bruto foi oriundo do sistema de esgotamento condominial implantado para o atendimento de 500 habitações, cerca de 3.000 habitantes, localizados nas proximidades do bairro Lajes, Ibimirim, PE. O tratamento do esgoto bruto compreendeu a passagem deste por um tratamento preliminar integrado por uma grade de barras de ferro (Figura 4A), onde foi realizado o tratamento preliminar, seguindo depois para a barragem adjacente para sedimentação (Figura 4B), e em seguida para a caixa de areia associada a uma calha Parshall (Figura 4C) para conduzir o afluente ao poço úmido (Figura 4D) e então bombeado para o tratamento secundário realizado por um reator UASB operando com fluxos ascendente e descendente (modo híbrido) e por fim, este seguia por gravidade para a lagoa de estabilização.

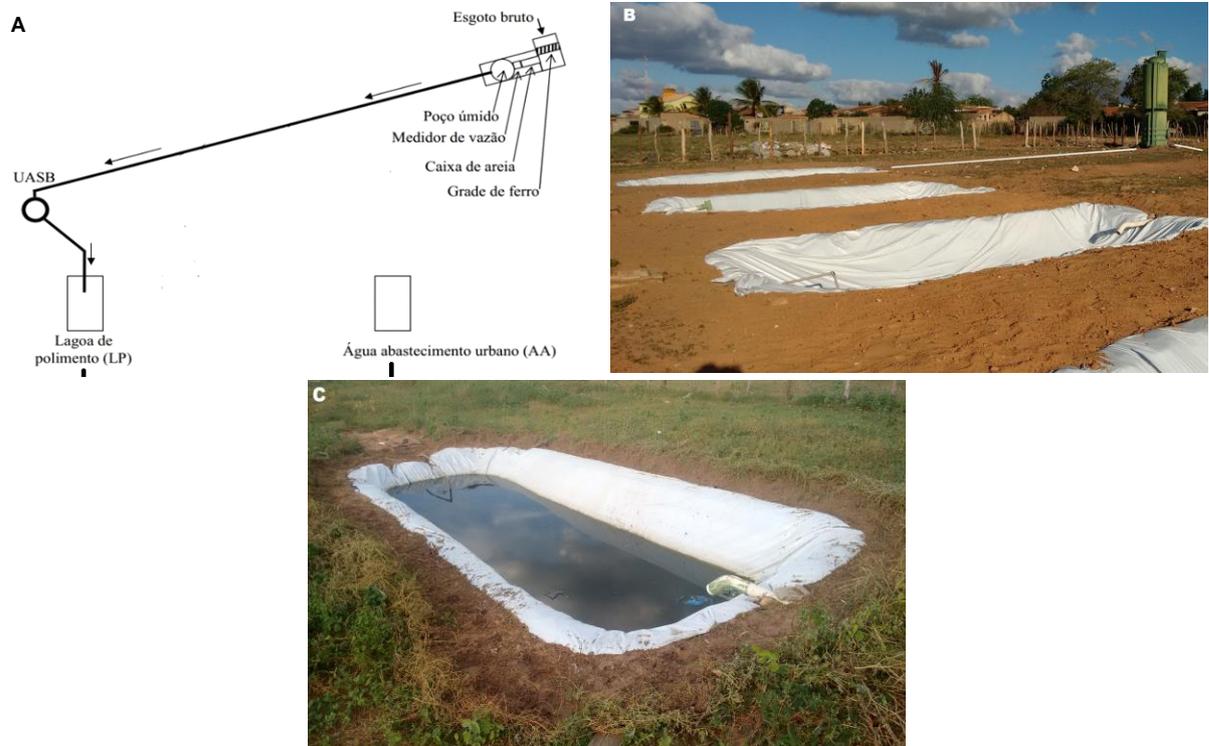
Figura 4 – Detalhe do sistema de pré-tratamento integrado pela grade de barras de ferro (A), barragem de sedimentação (B), caixa de areia + calha Parshall (C) e poço úmido (D)



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 5A é indicado o percurso do afluyente partindo-se da estação elevatória (poço úmido) até o reator UASB (Figura 5B), onde é feito a remoção da matéria orgânica, sendo em seguida, despejado nas lagoas de estabilização (Figura 5C) confeccionada nas dimensões de 3,0 m de largura x 7,0 m de comprimento x 1,0 m de profundidade e impermeabilizada com lona plástica.

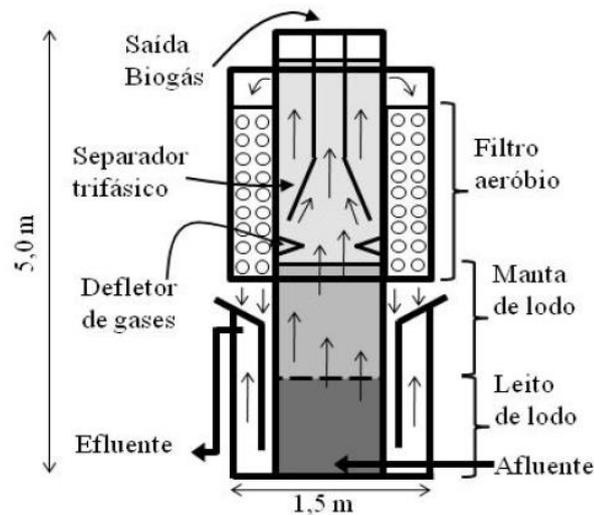
Figura 5 – Layout esquemático do percurso do tratamento do afluente (A), visão geral do reator UASB associado a lagoa de estabilização (B) e visão detalhada da lagoa de estabilização com o esgoto doméstico tratado (C)



Fonte (A): Silva, 2010 (adaptado); Fonte (B e C): Elaborada pelo autor.

O esquema de funcionamento do reator (UASB) é descrito na Figura 6. O tratamento consiste no fluxo ascendente do afluente (esgoto bruto) pela manta de lodo, responsável pela filtração e remoção da matéria orgânica em seguida passando pelo separador trifásico sendo então direcionado para o compartimento aeróbio (fluxo descendente).

Figura 6 – Esquema de funcionamento do reator de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)



Fonte: Silva, 2010 (adaptado).

## 2.8 Caracterização do sistema de irrigação

A irrigação foi realizada por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição de água foram utilizadas fitas gotejadoras autocompensantes de carga hidráulica (marca Netafim, modelo Dripnet PC 16250) com diâmetro e vazão nominais de 16 mm e 2,0 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a sucção e recalque do efluente, utilizou-se uma bomba centrífuga de eixo horizontal (marca Schneider, com potência de 1,0 cv.).

## 2.9 Calagem, preparo do solo, material vegetal, plantio e tratos culturais

A calagem do solo foi realizada colocando-se a quantidade de 86 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 70%, calculada com base no método da neutralização do alumínio trocável, sendo incorporada na profundidade de 0,20 m com auxílio de grade niveladora. O preparo do solo da área experimental ocorreu por ocasião da incorporação do calcário no solo, constando de duas gradações cruzadas com a grade niveladora.

Foi utilizado o material genético BRS Rubi, o qual é indicado para o cultivo em região semiárida do Nordeste brasileiro, possuindo características como: coloração marrom escura ou marrom avermelhada, altura média de 1,10 m, ciclo de 120 a 140 dias, com rendimento em ensaios de sequeiro de 1.871 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018b).

O plantio do algodoeiro foi realizado em sulco na profundidade de 0,05 m colocando-se cinco sementes a cada intervalo de 0,20 m no sulco, deixando-se 10 plantas por metro linear após o desbaste (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

O controle das plantas invasoras (daninhas) foi realizado manualmente com o auxílio de enxada, mantendo-se a lavoura livre destas, desde a emergência das plântulas do algodoeiro até os 40 DAE, quando a cultura atingiu pleno estágio vegetativo, entrando no início da floração.

Foi adotado o manejo integrado de pragas (MIP) recomendado pela Embrapa Algodão, com a realização diária de amostragens de pragas a partir da emergência das plântulas até o final do ciclo da cultura utilizando-se produtos seletivos quando a população de pragas atingia o nível de controle (ALMEIDA; SILVA; RAMALHO, 2008). Não houve incidência do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman).

## 2.10 Variáveis analisadas

Medidas de crescimento foram realizadas aos 130 DAE em quatro plantas da área útil, constituindo-se das seguintes variáveis: altura da planta (H), sendo considerado para esta, a distância do colo ao ápice da planta, aferida por meio de trena graduada; diâmetro do caule (DC), obtido pela média das medições do maior e menor diâmetro, aferido por meio de paquímetro digital à 2,0 cm da superfície do solo; área foliar (AF, cm<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>) obtido pelo somatório da área foliar de cada folha (AF folha<sup>-1</sup>, cm<sup>2</sup>) utilizando-se a equação proposta por Grimes e Carter (1969) conforme Equação 10.

$$Y = \sum(0,4322X^{2,3003}) \quad \text{eq. (10)}$$

Em que:

Y – área foliar por planta, cm<sup>2</sup>;

X – comprimento da nervura principal da folha, cm;

Para a obtenção da massa seca da parte aérea (MSPA), os órgãos vegetais (folha+caule) foram acondicionados em sacos de papel Kraft e colocados em estufa de

circulação de ar forçado à 65°C ( $\pm 1$ ) até obtenção de massa constante, sendo então pesados em balança digital com precisão de 0,01g.

### **2.11 Análise estatística**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância à 0,05 de probabilidade. Nos casos em que as lâminas (L) e doses (D) foram significativas, as médias foram submetidas à análise de regressão linear, selecionando o polinômio que melhor reflete o fenômeno biológico estudado. Quando constatado efeito significativo da interação entre os fatores, as médias dos tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando as lâminas (L) e as doses (D) como variáveis independentes.

Nos casos em que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão múltipla foram inferiores a 50%, efetuou-se o desdobramento da interação selecionando os modelos polinomiais que melhor refletem o fenômeno estudado com  $R^2$  superior a 0,50.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM, para análise de variância, PROC REG para análise de regressão e PROC RSREG, para análise de superfície de resposta (ZIMMERMANN, 2014).

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foi verificada interação significativa entre os fatores lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e dose de potássio (D) a  $p < 0,01$  para altura de planta (H) e à  $p < 0,05$  para a área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) ( $p < 0,01$ ). Para o diâmetro do caule (DC), houve resposta isolada apenas para o fator lâmina (L) (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para altura (H), diâmetro caulinar (DC), área foliar (AF) e massa seca da parte aérea (MSPA) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

FV	GL	Quadrado Médio			
		H	DC	AF	MSPA
Bloco	3	66,0826*	3,4605*	87022 <sup>NS</sup>	45,6011 <sup>NS</sup>
Lâmina (L)	4	559,2520**	7,0310**	889217**	453,8360**
Dose (D)	4	597,5087**	0,9949 <sup>NS</sup>	399933**	110,5630**
L x D	16	31,3363*	1,5499 <sup>NS</sup>	87938**	136,1866**
Resíduo	72	16,8162	1,1319	37633	21,4882
CV (%)		5,51	10,66	15,82	12,65

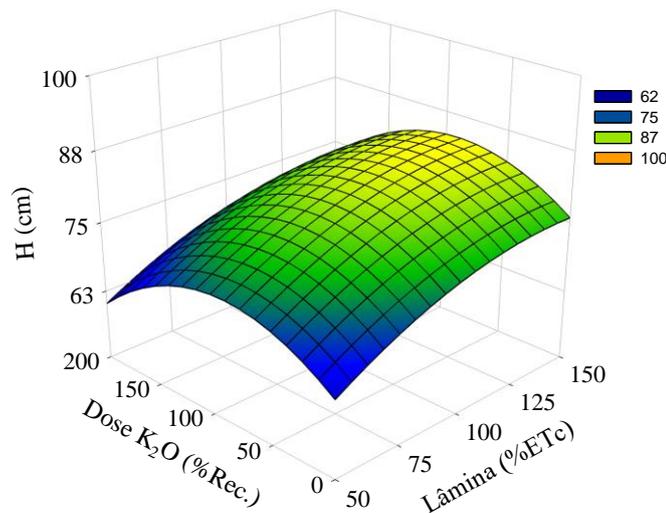
(\*\*), (\*) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste F de Snedecor; (<sup>NS</sup>) e não significativo.

A máxima altura do algodoeiro colorido (H = 83,84 cm) foi impulsionada quando se elevou a lâmina de irrigação com água de esgoto doméstico tratado até 146% da ETC combinada com a dosagem de 80% de K<sub>2</sub>O recomendado para a cultura (Figura 7). A testemunha absoluta (TA), nas condições deste estudo, obteve altura média de 69,3 cm.

Figura 7 – Superfície de resposta para a altura (H) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$H = 42,737143 + 0,446391**L + 0,211884**D - 0,001407**L^2 - 0,000930**D^2 - 0,000435*LD$$

$$R^2 = 0,5883$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (<sup>NS</sup>) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

As maiores lâminas de irrigação favoreceu uma maior disponibilidade de água no solo, o que nestas condições, permitiu uma maior abertura estomática e conseqüentemente, maior assimilação fotossintética, contribuindo para uma maior altura de plantas. Do contrário, o déficit de irrigação promove menor crescimento em altura (HU *et al.*, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

Avaliando o crescimento do algodoeiro sob três regimes de irrigação, sendo eles: saturação, regular e com déficit, ou seja, 120, 100 e 80% da capacidade de campo, Zhang *et al.* (2016) encontraram diferenças significativas para as condições estudadas, verificando maior altura de plantas na condição saturada, seguida da regular e posteriormente da irrigação com déficit.

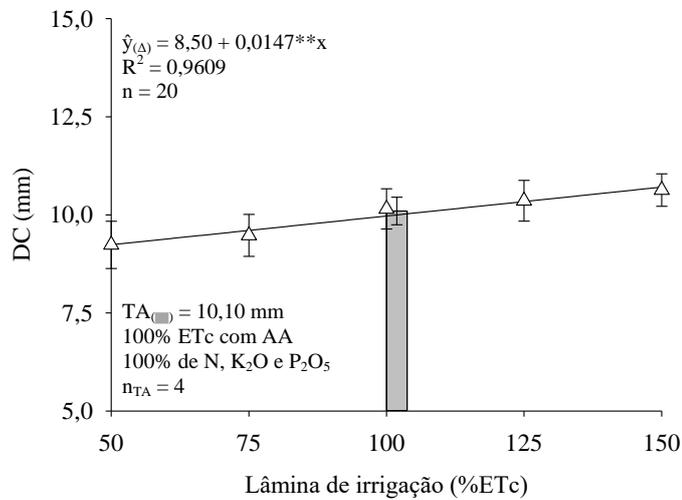
Já Santos *et al.* (2016), avaliando o crescimento de algodoeiro fertirrigado com águas residuárias sanitárias no semiárido mineiro, constatou que a utilização destas águas promove maior crescimento de plantas em relação a testemunha irrigada com água de abastecimento e adubada com fertilizante mineral. Esses autores atribuem esse efeito ao maior aporte de nitrogênio e fósforo disponibilizado as plantas, promovendo um maior crescimento destas.

A altura de plantas ajustou-se de modo quadrático à aplicação de potássio no solo. Como se verifica na Figura 7, a máxima dose que promoveu a maior altura foi inferior aos 100% do recomendado para a cultura, fato este que pode ser atribuído à própria concentração de potássio disponível na água de esgoto doméstico.

As células do caule, em geral, são células alongadas, que investem no alongamento, onde o fornecimento de potássio regula o potencial osmótico destas, de modo que o aumento nas concentrações de potássio promoveu um maior influxo de água nas células, aumentando a pressão de turgor e a expansão celular, acarretando em maior crescimento (WANG; RUAN, 2013; GUO *et al.*, 2017).

O DC foi influenciado apenas pelas lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado, com máximo DC obtido na lâmina de 150% da ETc com base na equação de regressão obtida, sendo o valor deste de 10,71 mm. Para a testemunha absoluta, o valor de médio de DC foi de 10,10 mm (Figura 8).

Figura 8 – Diâmetro do caule (DC) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com águas de esgoto doméstico tratado (L)



Fonte: Elaborada pelo autor.

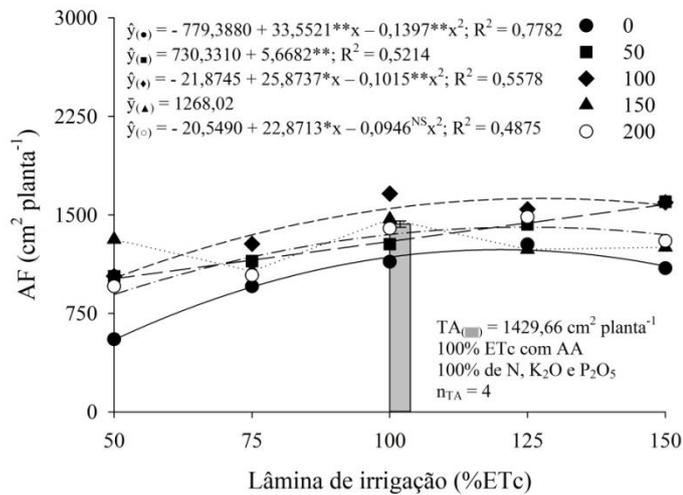
(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Como relatado para a altura (H), o maior status hídrico no solo promoveu maior abertura estomática pelas plantas do algodoeiro, fato este que propiciou maior taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, e conseqüentemente, maior crescimento em DC.

A lâmina de 100% da ETc propiciou mesmo DC quando comparado a TA, o que pode significar, que a quantidade de nutrientes presente na água de esgoto doméstico foi suficiente para suprir a necessidade da cultura durante seu desenvolvimento, sem a necessidade da fertilização mineral, com a planta mantendo mesmo diâmetro caulinar.

A área foliar do algodoeiro (AF) foi influenciada significativamente pela interação L vs D, com máxima AF obtida pela combinação da L = 127% da ETc com a dose de D = 100% do recomendado para a cultura com expansão foliar de 1627 cm<sup>2</sup>, onde, lâminas e doses acima desses percentuais, diminuem a expansão foliar. A testemunha absoluta apresentou área foliar de 1429 cm<sup>2</sup> (Figura 9).

Figura 9 – Desdobramento da interação para a área foliar (AF) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)



Fonte: Elaborada pelo autor

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A manutenção da folhagem nas plantas do algodoeiro está associada ao fornecimento adequado de potássio visto que este íon tem função importante no equilíbrio osmótico celular, o que implica que nas plantas fornecidas com os percentuais que propiciaram maior AF, obteve maior número de folhas com maior expansão. Entretanto, dependendo do estágio fenológico da cultura do algodoeiro, a demanda de potássio pode variar.

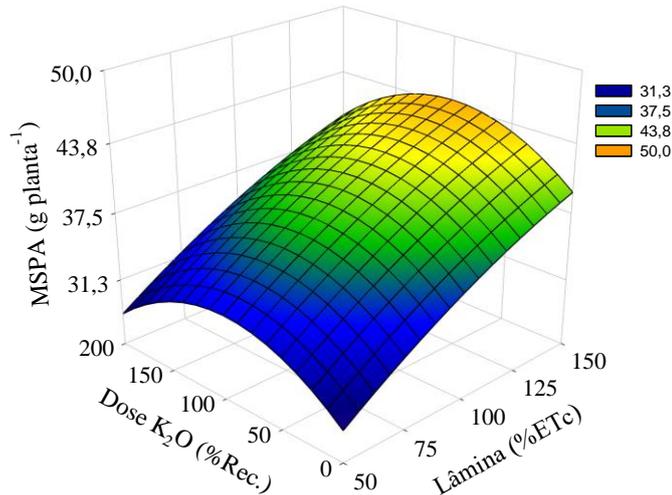
O aumento em AF propiciado pelo aumento dos níveis de fatores estudados até a combinação máxima verificada anteriormente, é resultante do acúmulo de fotoassimilados durante a fotossíntese (TSIALTAS *et al.*, 2016), refletindo em um maior acúmulo de massa seca das plantas como indicado na Figura 10.

Houve uma tendência de aumento linear da MSPA em função do aumento das lâminas de irrigação com águas de esgoto doméstico tratado (L) e resposta quadrática para a fertilização potássica (D). Dentro dos níveis estudados de cada fator, a combinação da lâmina de 150% da ETc e da dose de 50% do recomendado para a cultura com base na análise de solo foi a que proporcionou maior acúmulo de MSPA, com o valor de 46,39 g planta<sup>-1</sup>, de acordo com a equação de regressão obtida. A testemunha absoluta apresentou MSPA de 34,8 g (Figura 10).

Figura 10 – Superfície de resposta para a biomassa seca da parte aérea (MSPA) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação (L) e doses de potássio (D)

$$\text{MSPA} = 5,4745 + 0,3359^{**}\text{L} + 0,2309^{**}\text{D} - 0,000433^{\text{NS}}\text{L}^2 - 0,000481^{**}\text{D}^2 - 0,001343^{**}\text{LD}$$

$$R^2 = 0,5240$$



Fonte: Elaborada pelo autor

(\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente.

O aumento da MSPA observado para o fator lâmina (L), pode ser resultante do acúmulo de nutrientes presentes na água de esgoto doméstico tratado e de fotoassimilados durante na fotossíntese (SOUSA NETO *et al.*, 2012; TSIALTAS *et al.*, 2016). Como visto, a maior disponibilidade hídrica aumenta a abertura estomática, favorecendo a entrada de CO<sub>2</sub> para o mesófilo, por conseguinte, aumentando a fotossíntese (TAIZ *et al.*, 2017).

Considerando a reposição de 100% ETc com água de esgoto doméstico tratado, verificou-se, de acordo com a equação de regressão obtida, MSPA igual a 34,73 g, valor semelhante ao acumulado pela TA, significando que somente a irrigação com 100% ETc promoveu um acúmulo de nutrientes sem a necessidade de suplementação mineral nas condições estudadas. Resultados semelhantes também foram encontrados por Sousa Neto *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2016), que constataram que a irrigação com águas residuárias podem substituir a fertilização mineral, fornecendo quantidades de nutrientes suficientes as plantas.

Em relação às doses de potássio, o efeito quadrático observado, combinado com as lâminas de irrigação, pode estar associado a intensificação do efeito osmótico provocado pelo adubo utilizado (KCl) juntamente com os sais presentes na água de esgoto doméstico, cuja concentração era 74,9, 21,0, 133,1 e 43,6 mg L<sup>-1</sup> de cálcio, magnésio, sódio e potássio, respectivamente, com condutividade elétrica igual a 2,1 dS m<sup>-1</sup>.

#### 4 CONCLUSÕES

O aumento da reposição hídrica associada às doses de potássio promove maior crescimento das plantas do algodoeiro colorido, cv BRS Rubi, no semiárido pernambucano, exceto para o diâmetro caulinar, que independe da suplementação potássica.

A lâmina de 127% da ETc associada a dose de 100% do recomendado para a cultura promove maior manutenção da folhagem e conseqüentemente maior AF GO algodoeiro de fibra colorida.

A irrigação que promove a reposição hídrica de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado promove maior crescimento em altura, com diâmetro e acúmulo de massa seca semelhantes ao cultivo adubado com fertilizante mineral.

O estudo revela uma alternativa para a utilização de água de qualidade inferior, possibilitando economia de água e nutrientes via adubação mineral proporcionando crescimento adequado.

## REFERÊNCIAS

- ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. **Water use with drip irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 341-345.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.
- ALMEIDA, R. P.; SILVA, C. A. D.; RAMALHO, F. S. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no Brasil. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 30, p. 1034-1098.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.
- ANDRADE FILHO, J.; SOUSA NETO, O. N.; DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, R. O. Cotton production using second. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, n. 2, p. 213–220, 2013.
- ASHFAQ, A.; HUSSAIN, N.; ATHAR, M. Role of Potassium Fertilizers in Plant Growth, Crop Yield and Quality Fiber Production of Cotton – an Overview. **FUUAST Journal of Biology**, v. 5, n. 1, p. 27–35, 2015.
- AZIZ, F.; FARISSI, M. Reuse of treated wastewater in agriculture : solving water deficit problems in arid areas. **Annals of West University of Timișoara**, v. 17, n. 2, p. 95–110, 2014.
- BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.625-632, 2010.
- DECROIX, M. **Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell**. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo cultural da cultivar BRS Marrom – cultivos convencional e orgânico**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Projeto busca fortalecer cultura do algodão na agricultura familiar na Paraíba**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018a. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/9870162/projeto-busca-fortalecer-cultura-do-algodao-na-agricultura-familiar-na-paraiba>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar**. 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018b. (Sistemas de produção Embrapa). Disponível em: <[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaoif6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3718&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=1307](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoif6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3718&p_r_p_-996514994_topicoId=1307)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

FERRAZ, R. L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; FERNANDES, P. D.; ROCHA, M. S. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica de cultivares de algodoeiro herbáceo sob aplicação de silício foliar. **Semina**, v.35, p.735–748, 2014.

GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct nondestructive leaf area measurements. **Agronomy Journal**, v.3, n.61, p.477-479, 1969.

GUO, K.; TU, L.; HE, Y.; DENG, J.; WANG, M.; HUANG, H.; LI, Z.; ZHANG, X. Interaction between calcium and potassium modulates elongation rate in cotton fiber cells. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 18, p. 5161–5175, 2017.

HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Água no Brasil: Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

HU, W.; YANG, J.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHAO, W.; OOSTERHUIS, D. M.; ZHOU, Z. Potassium application affects carbohydrate metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll and its relationship with boll biomass. **Field Crops Research**, v. 179, p. 120–131, 2015.

HU, W.; JIANG, N.; YANG, J.; MENG, Y.; WANG, Y.; CHEN, B.; ZHAO, W.; OOSTERHUIS, D. M.; ZHOU, Z. Potassium (K) supply affects K accumulation and photosynthetic physiology in two cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars with different K sensitivities. **Field Crops Research**, v. 196, p. 51–63, 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco**: 2ª aproximação. 3.ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212p.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129 p.

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

MARGENAT, A.; MATAMOROS, V.; DÍEZ, S.; CAÑAMERAS, N.; COMAS, J.; BAYONA, J. M. Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity. **Science of the Total Environment**, v. 599–600, p. 1140–1148, 2017.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; KAWAKAMI, E. M.; PETTIGREW, W. T. The Physiology of Potassium in Crop Production. **Advances in Agronomy**, v. 126, p. 203–233, 2014.

ROSA, D. M.; SAMPAIO, S. C.; PEREIRA, P. A. M.; REIS, R. R.; SBIZZARO, M. Corn fertilization using swine wastewater and soil-water environmental quality. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 801–810, 2017.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 40–57, 2016.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P. DOS; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014.

SILVA, M. M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2010.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. DA S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A. DE; DINIZ, A. A. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 200–208, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. MAX; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TSIALTAS, I. T.; SHABALA, S.; BAXEVANOS, D.; MATSI, T. Effect of potassium fertilization on leaf physiology, fiber yield and quality in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 193, p. 94–103, 2016.

WANG, L.; RUAN, Y.-L. Regulation of cell division and expansion by sugar and auxin signaling. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1–9, 2013.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; WEITANG; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. **Field Crops Research**, v. 197, p. 1–9, 2016.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

## **CAPÍTULO IV**

---

### **Componentes de produção do algodoeiro colorido sob lâminas de irrigação com água residuária tratado e doses de potássio**

## COMPONENTES DE PRODUÇÃO DO ALGODOEIRO COLORIDO SOB LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA E DOSES DE POTÁSSIO

### RESUMO

O aproveitamento na agricultura de águas de qualidade inferior como as de esgotos domésticos tratados, tem se tornado comum em regiões áridas e semiáridas, uma vez que sua utilização, de forma sustentável, economiza 100% da água potável que seria utilizada. A utilização da água de esgotos pode aumentar a produtividade das lavouras pelo aumento da deposição de nutrientes ao solo durante seu ciclo de desenvolvimento e assim, economizar o uso de fertilizantes. Com o objetivo de avaliar a produtividade do algodoeiro colorido conduziu-se um experimento em blocos completos ao acaso em esquema fatorial com cinco lâminas de irrigação ( $L_1=50$ ,  $L_2=75$ ,  $L_3=100$ ,  $L_4=125$  e  $L_5=150\%$  da ETc) e cinco doses de potássio ( $D_1=0$ ,  $D_2=50$ ,  $D_3=100$ ,  $D_4=150$  e  $D_5=200\%$  da dose recomendada para a cultura) e uma testemunha absoluta irrigada e adubada em sua totalidade com quatro repetições. O maior rendimento do algodoeiro foi obtido com a lâmina de 150% da ETc quando irrigado com esgoto doméstico tratado. No entanto, apesar do maior rendimento ter sido obtido com uma lâmina de 150% da ETc, a maior eficiência do uso de água foi obtida com déficit de 50% da ETc. A lâmina de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado proporcionou ganhos de mais de 900 kg ha<sup>-1</sup> em relação ao cultivo do algodoeiro irrigado com água de abastecimento e adubado convencionalmente. A lâmina de irrigação de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado pode substituir a água de abastecimento e uso de fertilizantes químicos obtendo rendimentos acima de 3000 kg ha<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L., Rendimento. Semiárido. Eficiência no uso de água. Esgoto doméstico tratado.

## PRODUCTION COMPONENTS OF COTTON COLORED UNDER IRRIGATION DEPTHS WITH TREATED WASTEWATER AND POTASSIUM DOSES

### ABSTRACT

The utilization in agriculture of lower quality water, such as treated domestic sewage, has become common in arid and semi-arid regions, since its use, in a sustainable way, saves 100%

of the drinking water that would be used. The use of sewage water can increase crop yields by increasing the deposition of nutrients to the soil during its development cycle and thus, save on the use of fertilizers. A randomized complete block experiment was carried out in a factorial scheme with five irrigation slides ( $L_1 = 50$ ,  $L_2 = 75$ ,  $L_3 = 100$ ,  $L_4 = 125$  and  $L_5 = 150\%$  of the  $ET_c$ ) and five potassium doses ( $D_1 = 0$ ,  $D_2 = 50$ ,  $D_3 = 100$ ,  $D_4 = 150$  and  $D_5 = 200\%$  recommended for the crop) and an absolute control irrigated and fertilized in its entirety with four replicates. The highest cotton yield was obtained with the 150%  $ET_c$  blade when irrigated with treated domestic sewage. However, although the highest yield was obtained with a 150%  $ET_c$  blade, the highest water use efficiency was obtained with a 50%  $ET_c$  deficit. The 100%  $ET_c$  slide with treated domestic sewage provided gains of over  $900 \text{ kg ha}^{-1}$  relative to cotton cultivation irrigated with feed water and conventionally fertilized. The 100%  $ET_c$  irrigation blade with treated domestic sewage can replace the water supply and use of chemical fertilizers obtaining yields above  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ .

**Keywords:** *Gossypium hirsutum* L., Yield. Semiarid. Efficiency in water use. Treated domestic sewage.

## 1 INTRODUÇÃO

A escassez hídrica tem dificultado o desenvolvimento da agricultura familiar em regiões semiáridas, onde, a pouca água que se dispõe nos reservatórios, tem sido utilizada para suprir a necessidade humana, faltando água para o suprimento animal e irrigação de cultivos agrícolas e de subsistência.

Nesse sentido, o aproveitamento de águas de qualidade inferior na agricultura tem se tornado uma prática comum nas regiões semiáridas, principalmente o uso das águas de esgoto doméstico para fins de irrigação. A utilização destas tem se tornado objeto de muitas pesquisas, uma vez que, sua utilização, de forma sustentável, economiza 100% da água potável que poderia ser utilizada para mesma finalidade.

No Brasil, muitos municípios na região semiárida não dispõem de sistemas de esgotamento sanitário, sendo os esgotos lançados diretamente nos rios, causando sérias consequências na qualidade das águas superficiais (SANTOS *et al.*, 2016a).

A reutilização de águas de esgotos domésticos tratados na agricultura surge, então, como uma alternativa promissora por se tratar de uma fonte hídrica e nutricional às

plantas, principalmente as de grande potencial agrícola, à exemplo, do algodoeiro colorido (*Gossypium hirsutum* L.).

Nesse sentido, as variedades coloridas, exploradas comercialmente na Região Nordeste do Brasil, visam maior geração de renda e melhorias para a prática da agricultura familiar, por se tratar de uma opção fitotécnica que pode ser cultivada sob condições mínimas de precipitação e apresentarem fibras naturalmente coloridas (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, 2013).

Na literatura, vários estudos utilizando águas de esgotos domésticos tratados na agricultura têm comprovado sua viabilidade na cultura do algodoeiro. À exemplo, nas condições semiáridas do Norte de Minas Gerais, Santos *et al.* (2016b) verificaram que a produtividade do algodoeiro irrigado com água residuária foi 22% maior em relação a testemunha irrigada com água de abastecimento. Já Sousa Neto *et al.* (2012), constataram que a utilização de água de esgotos domésticos tratada supre a adubação convencional em sua totalidade, diminuindo os custos com fertilizantes comerciais. Além disso, a aplicação de água de esgotos domésticos na agricultura aumenta a fertilidade do solo pela deposição de nutrientes que muitas vezes não estão presentes em fertilizantes sintéticos, bem como, agindo como condicionador deste, aumentando a retenção de água (HESPANHOL, 2002; HESPANHOL 2008).

No algodoeiro, o potássio ( $K^+$ ) é o segundo elemento mais absorvido, antecedido pelo nitrogênio (N). No tecido vegetal, o mesmo predomina na forma iônica e está ligado a funções como abertura e fechamento dos estômatos, translocação de carboidratos, relações osmóticas entre outras (MENGEL, 2006).

A deficiência de potássio resulta em baixo crescimento, diminui a produtividade e a qualidade das fibras (OOSTERHUIS *et al.*, 2013). Resultados obtidos por Cassman *et al.* (1990), evidenciam que a produção de sementes e plumas pelo algodoeiro apresentam respostas significativas em função do aumento de doses crescentes de potássio.

Ferreira *et al.* (2004), mostraram que o uso de doses excessivas de potássio aumenta o crescimento vegetativo no algodoeiro, especialmente em condições de elevada pluviosidade, luminosidade e alta densidade de plantio.

No entanto, na maioria dos solos onde se produz o algodão, a reserva do nutriente não é suficiente para suprir a quantidade extraída pela cultura ao longo do seu cultivo, de modo que a adubação potássica torna-se imprescindível para o crescimento e produção do algodoeiro (CARVALHO *et al.*, 2008).

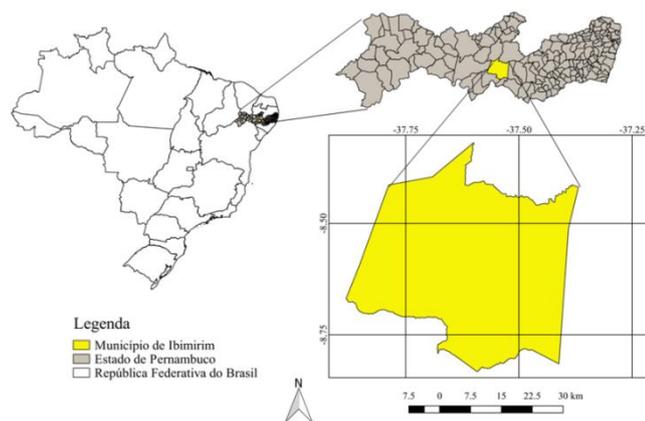
Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar os componentes de produção e a eficiência no uso de água do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, sob a aplicação diferentes lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio no solo, no semiárido pernambucano.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Localização da área geográfica

O experimento foi conduzido no período de 15 de abril a 30 de agosto de 2016 em condições de campo na unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Município de Ibitimir, Estado de Pernambuco, à 334 km da capital Recife. A área experimental está localizada na latitude  $8^{\circ} 32' 05''$  Sul, longitude  $37^{\circ} 41' 50''$  Oeste com altitude média de 408 m, conforme sistema de referência de coordenadas UTM: datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do Município de Ibitimir, Estado de Pernambuco, República Federativa do Brasil



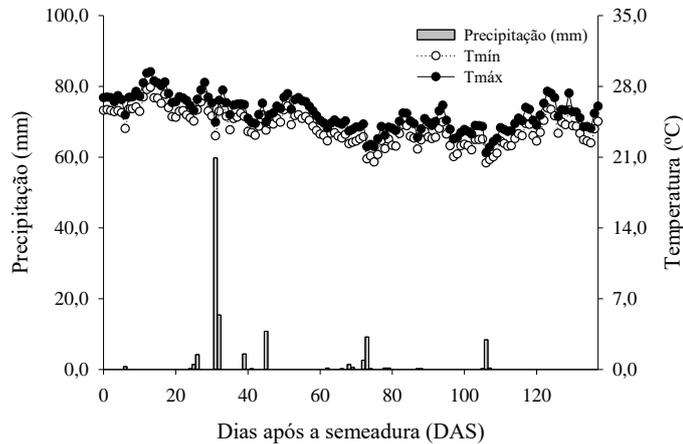
Fonte: Elaborada pelo autor.

### 2.2 Caracterização da área experimental

O clima da região classifica-se como BSh (semiárido muito quente) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com precipitação média anual de

454 mm. Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 122 mm e temperatura média de 24,6 °C, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Dados diários de precipitação, temperatura máximas e mínimas registradas durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014). O material de solo foi coletado na camada de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema *et al.* (2011), apresentando textura franco arenosa com 760, 80 e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental

Camada de solo (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Al	(H+Al) <sup>a</sup>	CTC <sup>b</sup>	SB <sup>c</sup>	m <sup>d</sup> V <sup>e</sup>	
											----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----	
0 – 0,20	25	4,60	1,25	0,75	0,03	0,19	0,15	1,56	3,78	2,22	6	59
0,20 – 0,40	19	4,30	1,40	0,70	0,04	0,24	0,40	2,14	4,52	2,38	14	53

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Acidez potencial; <sup>(b)</sup> Capacidade de troca catiônica; <sup>(c)</sup> Soma de bases; <sup>(d)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(e)</sup> Saturação por bases.

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5) + 1, compondo 26 tratamentos com quatro repetições, totalizando 104 parcelas

experimentais. Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação, correspondentes a 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ETc), tendo como fonte hídrica, água de esgoto doméstico tratado por um reator UASB (fator lâmina de irrigação, L), cinco doses de potássio, correspondendo a 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem sugerida para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigado com base no resultado da análise de solo (fator dose, D), utilizando-se a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008) e uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento (AA) de acordo com sua necessidade hídrica (100% ETc) e adubada com nitrogênio, fósforo e potássio em consonância com as recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. A parcela experimental apresentava 15 m<sup>2</sup>, composta por três fileiras simples de comprimento linear igual a 5,0 m, espaçadas 1,0 m e distância entre plantas de 0,20 m, considerando para a área útil da parcela a fileira central desprezando-se 1,0 m de cada extremidade desta.

#### **2.4 Caracterização da fonte hídrica**

A caracterização da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB é indicada na Tabela 2, cuja análise seguiu metodologia padrão da American Public Health Association (2012).

Tabela 2 – Caracterização físico-química da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB

Parâmetro	Unidade	Concentração	
		AA	UASB
Condutividade Elétrica	dS m <sup>-1</sup>	0,3	2,1
pH	-	9,2	7,2
Dureza Total	mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	153,3	273,4
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	54,4	74,9
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	4,3	21,0
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	19,0	133,1
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	10,6	43,6
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	126
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	8,5	13,7
Enxofre	mg L <sup>-1</sup>	4,0	5,3
Mangânes	mg L <sup>-1</sup>	1,28	1,30
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	10,3	9,2
DQO <sup>a</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	34,0	154,0
DBO <sup>b</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6,5	39,0
O <sub>2</sub> Dissolvido	%	85,5	46,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	-	2,2 x 10 <sup>7</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	-	1,4 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor.

(a) Demanda química de oxigênio; (b) Demanda bioquímica de oxigênio.

## 2.5 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado em função do clima ao longo do desenvolvimento da cultura. O cálculo da ET<sub>c</sub> foi determinado com base na evapotranspiração diária de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo modelo de Penman-Monteith - FAO (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1) e coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) proposto por Bezerra *et al.* (2010) (Equação 2). A aquisição dos dados climáticos para a determinação da ET<sub>o</sub> foi obtido pela estação meteorológica de observação de superfície automática (marca Campbell Scientific, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_{O} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

$ET_O$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$R_n$  – radiação líquida na superfície da cultura,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$G$  – densidade do fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$T_2$  – temperatura do ar a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u_2$  – velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  – pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$e_a$  – pressão atual de vapor,  $\text{KPa}$ ;

$e_s - e_a$  – déficit de pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$\Delta$  – declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\gamma$  – constante psicrométrica,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$$K_c = 0,632 + 0,009 \cdot \text{DAE} - 0,00006 \cdot \text{DAE}^2 \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

$K_c$  – coeficiente de cultivo adotado, adimensional;

$\text{DAE}$  – dias após a emergência das plantas.

Para o cálculo da  $ET_O$ , foram utilizados dados diários de temperatura média do ar, umidade relativa média, velocidade do vento e radiação solar. A estimativa da  $ET_c$  foi realizada com os dados de  $ET_O$ ,  $K_C$  e o coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ), que varia de 0 a 1, para a correção da  $ET_c$  conforme Equação 3.

$$ET_C = ET_O K_C K_{L\text{méd}} \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

$ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$ET_O$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_C$  – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

$K_{Lméd}$  – coeficiente de localização médio, dependente da percentagem de área sombreada, adimensional.

Na Tabela 3, é indicado o número de dias para cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro BRS Rubi e na Figura 3, os valores diários de  $ET_o$ ,  $ET_c$  e  $K_c$  durante o período experimental com base nas observações diárias de campo.

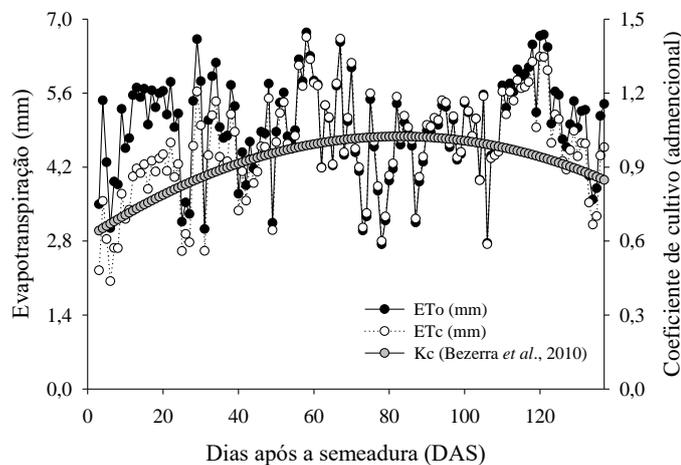
Tabela 3 – Ciclo fenológico do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, observado durante o período experimental

Fases	Estádios de desenvolvimento <sup>1</sup>	DAE <sup>2</sup>	Duração <sup>3</sup>
I	Emergência a 10% de cobertura do solo	1 - 19	19
II	10% de cobertura do solo ao início da floração	20 - 41	22
III	Início da floração ao início da maturação	42 - 89	48
IV	Início ao final da maturação	90 - 135	46

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(1)</sup> Determinado de acordo com observações diárias de campo; <sup>(2)</sup> Dias após a emergência; <sup>(3)</sup> em dias.

Figura 3 – Médias diárias da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do algodoeiro colorido BRS Rubi durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O coeficiente de localização médio foi determinado considerando a projeção da área sombreada ( $S$ ) da planta ao meio-dia (12:00h), ao longo do seu desenvolvimento de acordo com Aljibury, Marsh e Huntamer (1974) (Equação 4), Hoare, Garzoli e Blackwell (1974) (Equação 5), Decroix (1978) (Equação 6), Keller (1978) (Equação 7) e Keller e Bliesner (1990) (Equação 8), com o  $K_{Lméd}$  obtido pela média aritmética destes:

$$K_L = 1,34 * S \quad \text{eq.(4)}$$

$$K_L = S + 0,50 * (1 - S) \quad \text{eq.(5)}$$

$$K_L = 0,10 + S \quad \text{eq.(6)}$$

$$K_L = S + 0,15 * (1 - S) \quad \text{eq.(7)}$$

$$K_L = 0,10 * \sqrt{S} \quad \text{eq.(8)}$$

Os valores de coeficiente de localização médio utilizados no manejo da irrigação para o algodoeiro colorido são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ) utilizados durante o período experimental

DAE <sup>a</sup>	S <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> )	PAS <sup>c</sup> (%)	$K_L^1$	$K_L^2$	$K_L^3$	$K_L^4$	$K_L^5$	$K_{L\text{méd}}$
5	0,0081	0,81	0,0109	0,0109	0,1081	0,5041	0,1569	0,1740
10	0,0554	5,54	0,0742	0,0742	0,1554	0,5277	0,1971	0,2379
15	0,0826	8,26	0,1106	0,1106	0,1826	0,5413	0,2202	0,2684
20	0,1086	10,86	0,1455	0,1455	0,2086	0,5543	0,2423	0,2961
25	0,2406	24,06	0,3223	0,3223	0,3406	0,6203	0,3545	0,4256
30	0,3959	39,59	0,5305	0,5305	0,4959	0,6979	0,4865	0,5680
40	1,0314	103,14	1,0156	1,3821	1,1314	1,0157	1,0267	1,1143

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Dias após a emergência; <sup>(b)</sup> Área sombreada; <sup>(c)</sup> Percentual de área sombreada; <sup>(1)</sup> Keller e Bliesner (1990); <sup>(2)</sup> Aljibury, Marsh e Huntamer (1974); <sup>(3)</sup> Decroix (1978); <sup>(4)</sup> Hoare, Garzoli e Blackwell (1974); <sup>(5)</sup> Keller (1978); <sup>(d)</sup> Apesar de o coeficiente  $K_{L\text{méd}}$  ter sido 1,1143 aos 40 DAE, adotou-se o valor de 1,00 no manejo da irrigação até o final do ciclo da cultura.

As lâminas de irrigação (L) foram expressas em tempo de irrigação (Ti) estabelecido para cada tratamento, com Ti calculado pela Equação 9 em turno de rega (TR) diário.

$$Ti = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (9)}$$

Em que:

Ti – tempo de irrigação, min;

F – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,50, 0,75, 1,00, 1,25 e 1,50 para  $L_1 = 50$ ,  $L_2 = 75$ ,  $L_3 = 100$ ,  $L_4 = 125$  e  $L_5 = 150\%$  da  $ET_C$ , respectivamente);

- $ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  
 $E_{LL}$  – espaçamento entre linhas laterais, m;  
 $E_g$  – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;  
 $q_g$  – vazão do emissor,  $\text{L h}^{-1}$ ;  
 $E_a$  – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Antes do plantio, efetuou-se uma irrigação em todas as parcelas experimentais, deixando-se o solo na capacidade de campo. Terminado o plantio, efetuaram-se irrigações diárias no período da manhã de modo a deixar o solo sempre úmido na profundidade em que as sementes foram colocadas até a emergência das plântulas de algodão, para garantir o pleno estabelecimento destas. Após a emergência, três dias após o plantio (DAP), foi iniciado o manejo da irrigação em função do clima, aplicando-se lâmina de irrigação correspondente a 100% da  $ET_C$  para todas as parcelas experimentais.

Com o estabelecimento da cultura e por ocasião da operação de desbaste, 25 dias após a emergência das plantas (DAE), iniciou-se a diferenciação das lâminas de irrigação para as parcelas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado, introduzindo no cálculo do tempo de irrigação ( $T_i$ ), o fator de correção “F” para as lâminas estabelecidas conforme os tratamentos supracitados. Ao final do experimento, 135 DAE, a lâmina de irrigação acumulada para cada tratamento foi de 307,75, 461,62, 615,49, 769,36 e 923,24 mm para 50, 75, 100, 125 e 150% da  $ET_C$ , respectivamente.

## 2.6 Manejo da adubação

Foi utilizado cloreto de potássio ( $KCl$ , 60% de  $K_2O$ ) como fonte do elemento em estudo para o fator “D”, onde foi aplicado 50% da dosagem recomendada no sulco de plantio à 0,10 m de profundidade antes da semeadura, 25% após o desbaste em cobertura em sulco 0,05 m ao lado da linha de plantio na profundidade de 0,10 m e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2002; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004), com o adubo distribuído manualmente nos sulcos, totalizando 0, 20, 40, 60 e 80  $\text{kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$  para 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem recomendada para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigada, de acordo com a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008).

Seguiu-se o mesmo manejo para a TA, colocando-se a formulação de 90-40-40 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O conforme recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008). Foi utilizada a ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio, superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como fonte de fósforo e cloreto de potássio (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio. O fósforo foi aplicado todo na fundação. Para o nitrogênio e o potássio, foram aplicados 50% da dosagem recomendada na fundação, e o restante, parcelados em cobertura, colocando-se 25% em após o desbaste e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta.

## **2.7 Caracterização do sistema de tratamento**

O esgoto bruto foi oriundo do sistema de esgotamento condominial implantado para o atendimento de 500 habitações, cerca de 3.000 habitantes, localizados nas proximidades do bairro Lajes, Ibimirim, PE. O tratamento do esgoto bruto compreendeu a passagem deste por um tratamento preliminar integrado por uma grade de barras de ferro (Figura 4A), onde foi realizado o tratamento preliminar, seguindo depois para a barragem adjacente para sedimentação (Figura 4B), e em seguida para a caixa de areia associada a uma calha Parshall (Figura 4C) para conduzir o afluente ao poço úmido (Figura 4D) e então bombeado para o tratamento secundário realizado por um reator UASB operando com fluxos ascendente e descendente (modo híbrido) e por fim, este seguia por gravidade para a lagoa de estabilização.

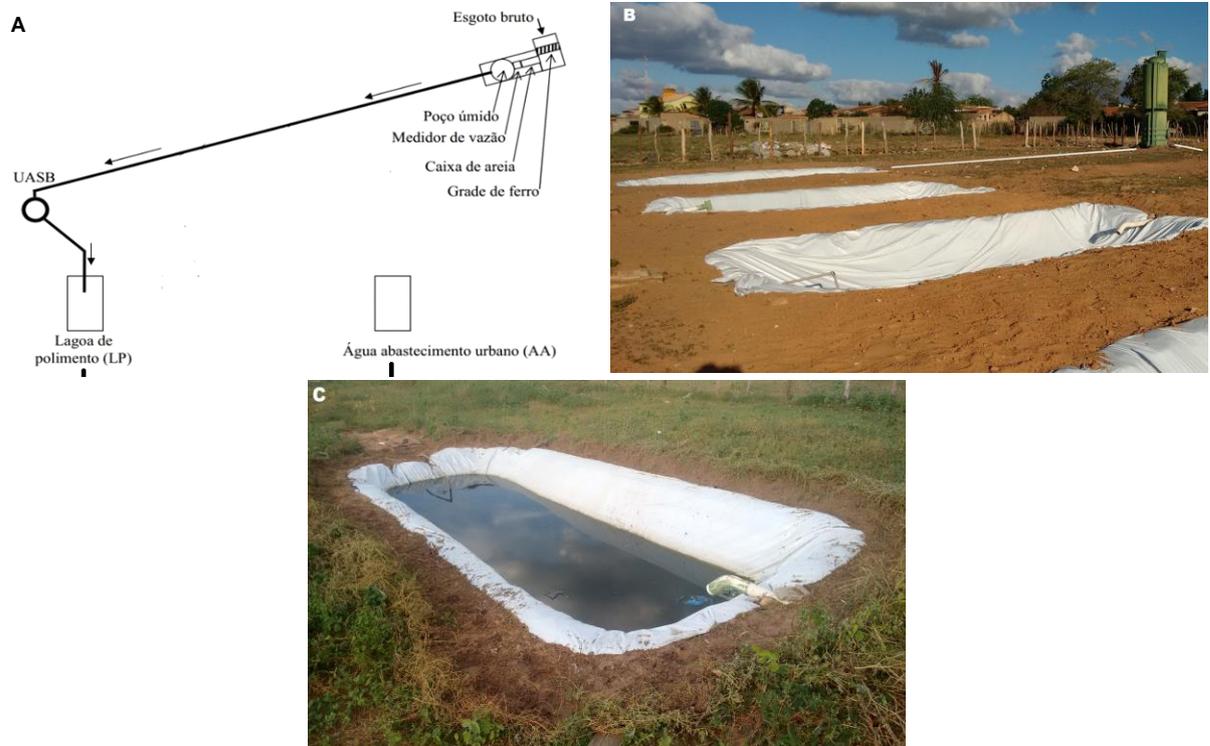
Figura 4 – Detalhe do sistema de pré-tratamento integrado pela grade de barras de ferro (A), barragem de sedimentação (B), caixa de areia + calha Parshall (C) e poço úmido (D)



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 5A é indicado o percurso do afluente partindo-se da estação elevatória (poço úmido) até o reator UASB (Figura 5B), onde é feita a remoção da matéria orgânica, sendo em seguida, despejado nas lagoas de estabilização (Figura 5C) confeccionada nas dimensões de 3,0 m de largura x 7,0 m de comprimento x 1,0 m de profundidade e impermeabilizada com lona plástica.

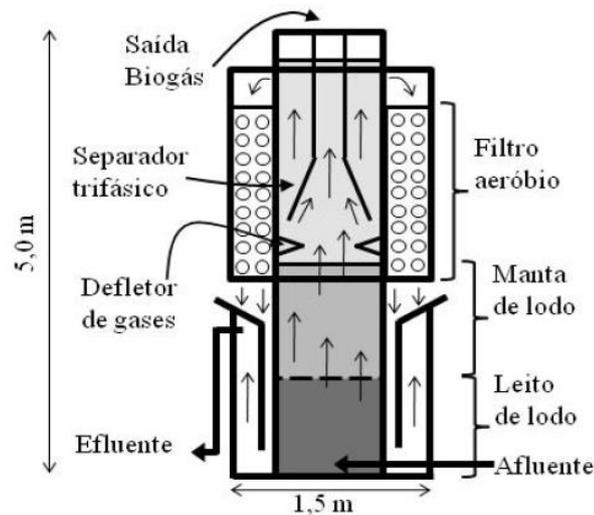
Figura 5 – Layout esquemático do percurso do tratamento do afluente (A), visão geral do reator UASB associado a lagoa de estabilização (B) e visão detalhada da lagoa de estabilização com o esgoto doméstico tratado (C)



Fonte (A): Silva, 2010 (adaptado); Fonte (B e C): Elaborada pelo autor.

O esquema de funcionamento do reator (UASB) é descrito na Figura 6. O tratamento consiste no fluxo ascendente do afluente (esgoto bruto) pela manta de lodo, responsável pela filtração e remoção da matéria orgânica em seguida passando pelo separador trifásico sendo então direcionado para o compartimento aeróbio (fluxo descendente).

Figura 6 – Esquema de funcionamento do reator de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)



Fonte: Silva, 2010 (adaptado).

## 2.8 Caracterização do sistema de irrigação

A irrigação foi realizada por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição de água foram utilizadas fitas gotejadoras autocompensantes de carga hidráulica (marca Netafim, modelo Dripnet PC 16250) com diâmetro e vazão nominais de 16 mm e 2,0 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a sucção e recalque do efluente, utilizou-se uma bomba centrífuga de eixo horizontal (marca Schneider, com potência de 1,0 cv.).

## 2.9 Calagem, preparo do solo, material vegetal, plantio e tratos culturais

A calagem do solo foi realizada colocando-se a quantidade de 86 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 70%, calculada com base no método da neutralização do alumínio trocável, sendo incorporada na profundidade de 0,20 m com auxílio de grade niveladora. O preparo do solo da área experimental ocorreu por ocasião da incorporação do calcário no solo, constando de duas gradações cruzadas com a grade niveladora.

Foi utilizado o material genético BRS Rubi, o qual é indicado para o cultivo em região semiárida do Nordeste brasileiro, possuindo características como: coloração marrom escura ou marrom avermelhada, altura média de 1,10 m, ciclo de 120 a 140 dias, com rendimento em ensaios de sequeiro de 1.871 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

O plantio do algodoeiro foi realizado em sulco na profundidade de 0,05 m colocando-se cinco sementes a cada intervalo de 0,20 m no sulco, deixando-se 10 plantas por metro linear após o desbaste (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

O controle das plantas invasoras (daninhas) foi realizado manualmente com o auxílio de enxada, mantendo-se a lavoura livre destas, desde a emergência das plântulas do algodoeiro até os 40 DAE, quando a cultura atingiu pleno estágio vegetativo, entrando no início da floração.

Foi adotado o manejo integrado de pragas (MIP) recomendado pela Embrapa Algodão, com a realização diária de amostragens de pragas a partir da emergência das plântulas até o final do ciclo da cultura utilizando-se produtos seletivos quando a população de pragas atingia o nível de controle (ALMEIDA; SILVA; RAMALHO, 2008). Não houve incidência do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman).

## **2.8 Colheita e variáveis analisadas**

A colheita ocorreu quando 70% dos frutos (capulhos) estavam abertos (135 DAE), realizada manualmente, com auxílio de sacos de papel kraft identificados para acondicionar os capulhos, em quatro plantas previamente identificadas da área útil da parcela. Após aberto o restante dos capulhos, realizou-se a segunda colheita.

Foram determinadas as seguintes variáveis produtivas: número de capulhos (NCAP, und planta<sup>-1</sup>), obtido pela razão entre o número de capulhos e o número de plantas; peso médio de um capulho (PM1C, g), obtido pela razão entre a massa dos capulhos e o número de capulhos colhidos; rendimento do algodão em caroço (REND, kg ha<sup>-1</sup>), obtido pela massa dos capulhos e a área da planta; rendimento do algodão em pluma (RPLU, kg ha<sup>-1</sup>), obtido pelo produto do REND pela porcentagem de fibra; e a eficiência no uso de água (EUA, kg m<sup>-3</sup>), obtida pela razão entre o REND e o volume total de água aplicado ao final do experimento.

## **2.9. Análises estatísticas**

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância à 0,05 de probabilidade. Quando constatado efeito significativo da interação entre os fatores, as médias dos

tratamentos foram ajustadas a modelos de regressão múltipla (superfície de resposta), considerando as lâminas (L) e as doses (D) como variáveis independentes.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM, para análise de variância e PROC RSREG, para análise de superfície de resposta (ZIMMERMANN, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os componentes de produção (NCAP, PM1C, REND, RPLU) e a eficiência no uso de água (EUA) foram influenciados significativamente ( $p < 0,01$ ) pelas lâminas de irrigação (L) e doses de potássio (D) de formas isoladas e conjunta (L x D) (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para o número de capulhos (NCAP), peso médio de um capulho (PM1C), rendimento de algodão em caroço (REND), rendimento do algodão em pluma (RPLU) e eficiência no uso de água (EUA) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função de lâminas de irrigação (L) e doses de potássio (D)

FV	GL	Quadrado Médio				
		NCAP	PM1C	REND	RPLU	EUA
Bloco	3	0,1972 <sup>NS</sup>	0,0112 <sup>NS</sup>	5576 <sup>NS</sup>	10409 <sup>NS</sup>	0,0001 <sup>NS</sup>
Lâmina (L)	4	19,3572**	0,2499**	1949559**	235106**	0,8930**
Dose (D)	4	2,7976**	0,0800**	650744**	118751**	0,0347**
L x D	16	1,5989**	0,1690**	659638**	44724**	0,0249**
Resíduo	72	0,1998	0,0053	27844	5784	0,0692
CV (%)		5,25	1,86	5,16	6,64	4,47
		Médias				
TA <sup>a</sup>		Und plant <sup>-1</sup>	g	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg m <sup>-3</sup>
		5,29	3,94	2087,70	812,61	0,34

Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente; <sup>(NS)</sup> não significativo pelo teste F de Snedecor; <sup>(a)</sup> Testemunha absoluta.

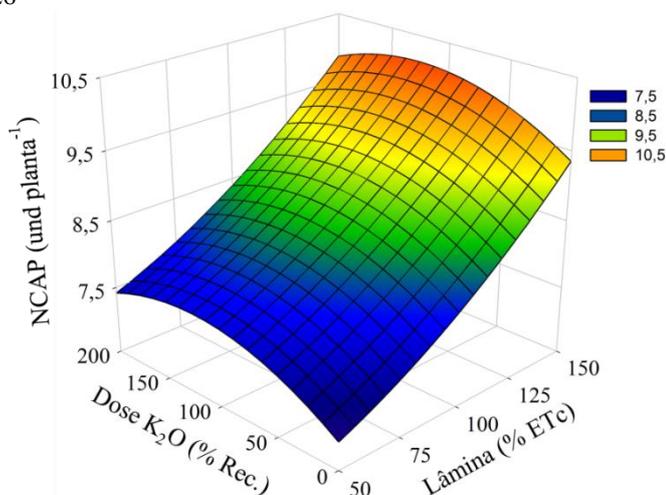
O NCAP do algodoeiro aumentou significativamente ( $p < 0,01$ ) de forma quadrática em resposta ao aumento da lâmina aplicada, sendo esse aumento a taxas crescentes e, para a dose, houve resposta significativa a  $p = 0,0605$ . A combinação de L = 150% e D = 150% foi a que proporcionou maior NCAP (10,09 capulhos) de acordo com a equação de regressão múltipla obtida (Figura 7). Tal efeito para o fator lâmina (aumento a taxas crescentes do NCAP com aumento da lâmina aplicada) traduz a importância da irrigação no

cultivo dessa oleaginosa, refletindo em maiores NCAP e conseqüentemente maiores produtividades desta cultura.

Figura 7 – Superfície de resposta para o número de capulhos (NCAP) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$\text{NCAP} = 6,4656 + 0,0044^{\text{NS}}L + 0,0118^{**}D + 0,000098^{**}L^2 - 0,000048^{**}D^2 + 0,000003^{\text{NS}}LD$$

$$R^2 = 0,6406; \text{CV} = 0,0826$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste “t” e não significativo, respectivamente.

O NCAP respondeu positivamente aplicando-se até 40 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (100% do recomendado com base na análise de solo). A combinação de L = 150 e D = 100%, ou seja, irrigando-se 50% a mais que a necessidade hídrica da cultura e aplicando-se em sua totalidade a dose recomendada, verifica-se um quantitativo de 10,07 capulhos por planta nas condições experimentais, valor semelhante ao máximo rendimento físico obtido pela combinação de L = 150 e D = 150.

A combinação L = 150 e D = 100%, proporcionou um aumento em mais de 90% no NCAP em relação a testemunha absoluta (NCAP=5,29). Ao se irrigar apenas com a L=100 e D=0%, o aumento foi da ordem de 49%. Ou seja, a irrigação com esgoto doméstico tratado por si já promove ganhos significativos no NCAP.

Zonta *et al.* (2015b) verificaram efeito linear crescente para NCAP com o aumento de lâminas de irrigação para cultivares de algodoeiro herbáceo na região de Apodi, RN. Já Santos *et al.* (2016a), estudando o efeito da aplicação de água residuária tratada no

algodoeiro herbáceo NuOpal, verificaram um incremento de mais de 30% no número de capulhos na região semiárida de Minas Gerais.

Conforme Zonta *et al.* (2015a), o aumento no NCAP está associado à resposta fisiológica da cultura à maior disponibilidade hídrica, afetando processos fisiológicos e, conseqüentemente, o desenvolvimento desta. Para Cetin e Bilgel (2002), quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior será a habilidade das raízes em absorver nutrientes e conseqüentemente, melhor será sua eficiência fotossintética.

Yang *et al.* (2016), afirmam que é necessário a aplicação de fertilizantes potássicos para a obtenção de elevadas produtividades na cultura do algodoeiro. Esses autores concluem, ainda, que a aplicação de potássio aumenta a produtividade, número e peso de capulhos do algodoeiro.

Na literatura são relatadas efeitos de doses de potássio no rendimento e nos caracteres produtivos do algodoeiro. Staut e Athayde (1999) verificaram nas condições de Ponta Porã, MS, efeito linear crescente de doses de potássio no rendimento do algodão em caroço. Já Freitas *et al.* (2007), avaliando o efeito da adubação potássica nas condições do Sudoeste Goiano, verificaram efeito quadrático positivo à aplicação de até 60 kg ha<sup>-1</sup>, e acima desta dose, não houve aumento significativo.

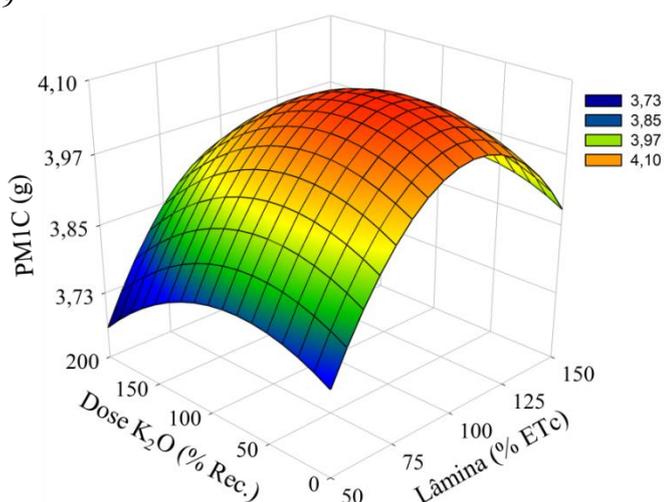
No presente estudo, não houve respostas significativas para doses superiores a 40 kg ha<sup>-1</sup> (100% da dose recomendada) para NCAP. Esse efeito pode ser atribuído à presença do próprio elemento na água de esgoto doméstico tratado, somando-se então à dose de K<sub>2</sub>O aplicada em cobertura. Esse resultados, se assemelham aos encontrados por Freitas *et al.* (2007) e Fundação-MT (2001) onde encontraram respostas positivas até a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup>.

Para a variável PM1C, verificou-se um ponto de máximo para a interação L x D, de modo que o máximo físico foi alcançado quando irrigou-se com uma lâmina correspondente a 138% da ET<sub>c</sub>, obtendo-se PM1C igual a 4,1365 g (Figura 8). Com base na equação de regressão múltipla para os tratamentos aplicados, o PM1C máximo pode ser obtido com a combinação de L = 150 e D = 0% com PM1C igual a 4,1246g. Verifica-se, portanto, que o PM1C é influenciado diretamente pela quantidade de água aplicada na irrigação, onde o potássio presente na água de esgoto doméstico tratado é suficiente para a obtenção do seu peso máximo.

Figura 8 – Superfície de resposta para o peso médio de um capulho (PM1C) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$\text{PM1C} = 2,5346 + 0,0232^{**}\text{L} + 0,0066^{**}\text{D} - 0,000084^{**}\text{L}^2 - 0,000009^{**}\text{D}^2 - 0,000053^{**}\text{LD}$$

$$R^2 = 0,6680; \text{CV} = 0,0319$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste “t” e não significativo, respectivamente.

Santos *et al.* (2016a) não verificaram diferenças nesta variável irrigando-se com água residuária em relação a testemunha irrigada com água de abastecimento, entretanto, constataram que médio das plantas irrigadas com água residuária foram 11% maior em relação a testemunha. Já Zonta *et al.* (2015b) verificaram efeito quadrático para o peso médio do capulho de cultivares de algodoeiro herbáceo sob lâminas de irrigação. Staut e Athayde (1999) constataram aumento linear no peso de capulhos do algodoeiro cv. IAC 20 nas condições de Ponta Porã, MS, com o aumento de doses crescentes de potássio via solo.

O PM1C para L = 138% foi superior a testemunha absoluta (3,94g) em aproximadamente 5% (~ 0,20 g). Para L<sub>3</sub> = 100% da ETc, os ganhos em massa foram inferiores a 2% (~ 0,07 g). Vale ressaltar que a utilização apenas de lâmina com água de esgoto doméstico tratado para suprir a necessidade hídrica (L = 100% da ETc) da cultura acarreta em valores de PM1C superiores aos do algodoeiro irrigado com água de abastecimento e adubado convencionalmente, o que traduz em economia de água e fertilizantes.

No presente estudo, foi verificado efeito quadrático para ambos os fatores L e D, com D significativo a p=0,0556. O aumento no PM1C ao se irrigar com lâminas superiores à necessidade hídrica está associado à presença de nutrientes no esgoto doméstico tratado, tais

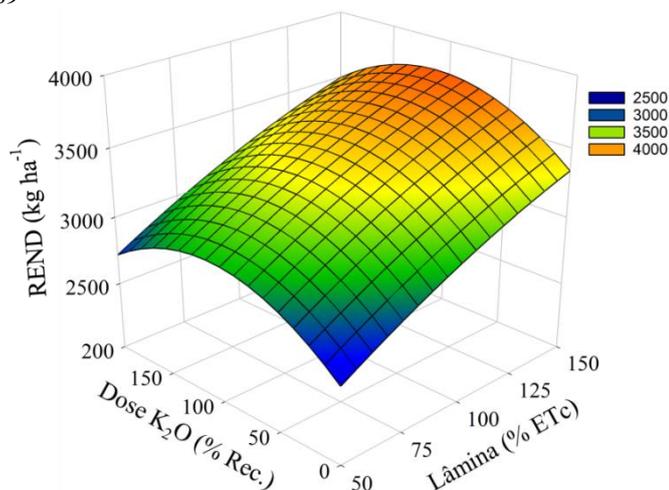
como N e P, disponibilizados em maiores quantidades nas maiores lâminas durante o ciclo, onde estes participam do processo fotossintético, acumulando maiores quantidades de açúcares, óleos e fibras nas estruturas reprodutivas do algodoeiro, resultando em maiores massas de capulho (SANTOS *et al.*, 2016a).

O rendimento de algodão em caroço (REND) aumentou significativamente ( $p < 0,01$ ) com o aumento das lâminas de irrigação obtendo-se ajuste quadrático para as doses de potássio ( $p < 0,01$ ) (Figura 9). Com base na equação de regressão múltipla, o máximo rendimento físico de algodão em caroço foi obtido com a combinação de  $L = 150$  e  $D = 100\%$  nas condições do presente estudo, com o valor de  $3974 \text{ kg ha}^{-1}$ .

Figura 9 – Superfície de resposta para o rendimento de algodão em caroço (REND) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$\text{REND} = 1456,23 + 18,14^{**}L + 12,97^{**}D - 0,02^{\text{NS}}L^2 - 0,03^{**}D^2 - 0,05^{**}LD$$

$$R^2 = 0,5108; \text{CV} = 0,1069$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste “t” e não significativo, respectivamente.

Os resultados deste estudo corroboram os de Zonta *et al.* (2015b), que verificaram aumento do rendimento do algodoeiro com o aumento da reposição hídrica.

Staut e Athayde (1999) verificaram aumento linear no rendimento do algodoeiro em caroço com o aumento de doses potássicas. Já Freitas *et al.* (2007), constataram efeito quadrático, semelhante aos resultados encontrados neste estudo.

Contudo, o rendimento mostrou-se linearmente mais sensível à aplicação de água, evidenciando que essa variável ainda pode aumentar em função do aumento da lâmina de

irrigação, caso que pode ser motivo de estudos posteriores. O aumento no REND está diretamente associado ao maior NCAP e ao PMIC, verificado anteriormente, onde a maior disponibilidade de água de esgoto doméstico tratado no solo permite uma maior absorção de água e nutrientes pelas raízes (CETIN; BILGEL, 2002), aumentando seu potencial produtivo.

O rendimento obtido pela utilização de água de abastecimento e adubação convencional em sua totalidade foi da ordem de 2087 kg ha<sup>-1</sup>. Valor 32% menor em relação ao REND obtido apenas aplicando a L=100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado (3070 kg ha<sup>-1</sup>), o que resulta numa diferença de 983 kg de algodão em caroço por hectare.

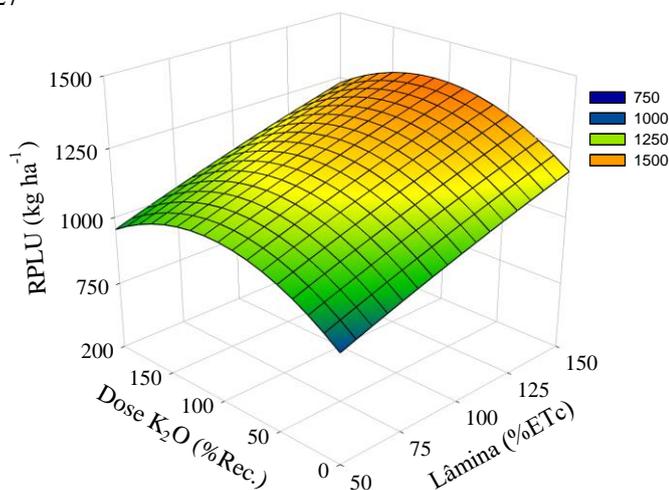
Face aos resultados obtidos, verifica-se a importância da utilização de água de esgotos domésticos tratado, por fornecer nutrientes ao longo de todo o ciclo da cultura, proporcionando uma nutrição mais adequada e eficiente, evidenciando seu potencial agrícola traduzido em maiores rendimentos, como constatado no presente estudo.

Em relação ao rendimento do algodão em pluma, RPLU, verifica-se resposta semelhante a variável REND, com máximo RPLU obtido pela combinação da L = 150 e D=100% (1357 kg ha<sup>-1</sup>). Analogamente ao REND, é observado aumento do RPLU com aumento da lâmina aplicada, onde tal resultado implica que o REND e, intrinsecamente, o percentual de fibra, influenciam no RPLU (Figura 10).

Figura 10 – Superfície de resposta para o rendimento em pluma (RPLU) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$\text{RPLU} = 592.5908 + 4,8866 * L + 4,7490 ** D - 0,0040^{NS} L^2 - 0,0155 ** D^2 - 0,0132 ** LD$$

$$R^2 = 0,5899; CV = 0,0927$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste “t” e não significativo, respectivamente.

Resultados semelhantes foram encontrados em Zonta *et al.* (2015a), onde estes autores verificaram aumento do rendimento do algodão em pluma com o aumento da lâmina de irrigação aplicada em cultivares de algodoeiro herbáceo nas condições de Apodi, RN.

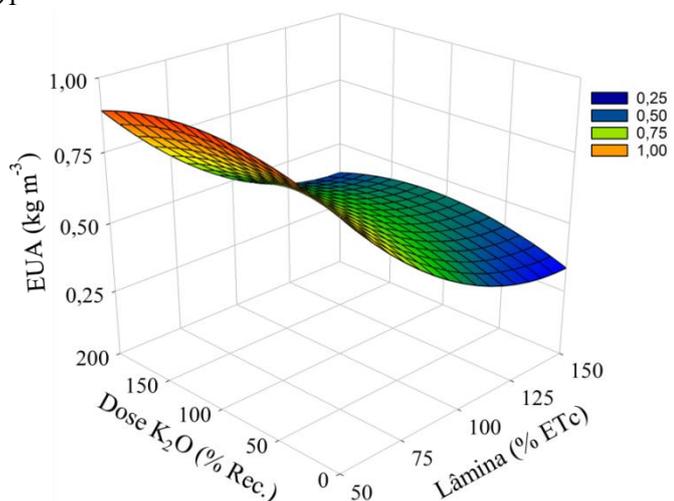
Comparado à testemunha absoluta (RPLU = 812 kg ha<sup>-1</sup>), as parcelas irrigadas apenas com água de esgoto doméstico tratado com a reposição hídrica de 100% da ETc, sem adubação potássica, apresentaram ganhos da ordem de a 229 kg ha<sup>-1</sup> de pluma, evidenciando que, apenas o esgoto doméstico tratado, aplicado de acordo com a demanda hídrica da cultura, apresenta elevado potencial agrícola, gerando economia de água e renda para o agricultor nas condições de Ibimirim, PE.

Observou-se uma maior EUA irrigando-se com déficit de 50% da ETc (307,75 mm) e aplicação de dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> (150% da recomendação para a cultura), com ganhos de 0,9572 kg m<sup>-3</sup>, conforme a equação de regressão múltipla obtida (Figura 11). Para a testemunha absoluta, a EUA foi 0,34 kg m<sup>-3</sup>, valor aproximadamente três vezes menor à máxima EUA obtida pela combinação L = 50 e D = 150%. Quando se compara a testemunha absoluta com L<sub>3</sub> = 100% da ETc e D = 0, verifica-se que a EUA nas plantas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado apresentam eficiência no uso de água 37% maior em relação a testemunha, sendo esta de 0,47 kg m<sup>-3</sup>.

Figura 11 – Superfície de resposta para a eficiência no uso de água (EUA) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D)

$$EUA = 1,4072 - 0,0146**L + 0,0026**D + 0,000052**L^2 - 0,000008**D^2 - 0,000008**LD$$

$$R^2 = 0,8887; CV = 0,1191$$



Fonte: Elaborada pelo autor.

(\*\*), (\*) e (NS) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade pelo teste “t” e não significativo, respectivamente.

Nota-se que apesar da maior lâmina (considerando apenas este fator) fornecer o maior rendimento do algodoeiro, houve a menor EUA ( $0,38 \text{ kg m}^{-3}$ ). Esses resultados corroboram Zonta *et al.* (2015b) que verificaram que maiores lâminas apresentam os maiores rendimentos em cultivares de algodoeiro herbáceo, porém menor eficiência no uso de água. Esses mesmos autores obtiveram maior EUA com lâminas correspondendo a 70% da ETc com redução desta, à aplicação de maiores lâminas.

Segundo Karam *et al.* (2006), vários fatores podem influenciar o aumento da EUA, como o aumento do quociente flor/fruto em relação a estruturas vegetativas (i. e., aumento do índice de colheita) e diminuição por perdas devido a evapotranspiração.

Resultados semelhantes também foram encontrados por Nalayini *et al.* (2006) e Dagdelen *et al.* (2009), que obtiveram maiores EUA com déficit de irrigação, correspondendo a 80 e 25% da ETc, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

As lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado e as doses de potássio influenciaram nos componentes de produção do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi;

O maior rendimento do algodoeiro (caroço e pluma) foi obtido com lâmina de 150% da ETc utilizando-se água de esgoto doméstico tratado como fonte hídrica, combinado com a dose de potássio de 100% da recomendação para a cultura.

Apesar de o maior rendimento ser obtido com uma lâmina de 150% da ETc, a maior eficiência no uso de água foi obtida com déficit de 50% da ETc;

Somente a irrigação com lâmina de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado proporciona ganhos superiores de  $983 \text{ kg ha}^{-1}$  de algodão em caroço, em relação ao cultivo com adubação mineral;

O potássio presente na água de esgoto doméstico tratado foi suficiente para suprir a necessidade do algodoeiro colorido BRS Rubi irrigado de acordo com a necessidade da cultura (100% da ETc), com rendimentos superiores ao cultivo convencional;

A irrigação com água de abastecimento e a utilização de fertilizantes químicos, configurando um cultivo convencional, pode ser substituído pela água de esgoto doméstico tratado aplicando-se 100% da ETc, promovendo de 100% de água e fertilizantes minerais.

## REFERÊNCIAS

ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. **Water use with drip irrigation**. *In*: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 341-345.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. FAO Irrigation and Drainage Paper, 56.

ALMEIDA, R. P.; SILVA, C. A. D.; RAMALHO, F. S. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no Brasil. *In*: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 30, p. 1034-1098.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 625-632, 2010.

CARVALHO, L. P. Contribuição do melhoramento ao cultivo do algodão. *In*: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 9, p. 271-297.

CASSMAN, K. G.; KERBY, T. A.; ROBERTS, B. A.; BRYANT, D. C.; HIGASHI, S. L. Potassium nutrition effects on lint yield and fiber quality of Acala cotton. **Crop Science**, v. 30, n. 3, p. 672-677, 1990.

CETIN, O.; BILGEL, L. Effects off different irrigation methods on shedding and yield of cotton. **Agricultural Water Management**, v.54, n. 1, p. 1-15, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Proposta de preços mínimos – Safra 2013/2014**: produtos da safra de verão. v. 2, Brasília: Conab. 2013.

DAGDELEN, N.; BASAL, H.; YILMAZ, E.; GURBZ, T.; AKCAY, S. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 1, p. 111-120, 2009.

DECROIX, M. **Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell**. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneennes, Institut de Bari, 1978.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo cultural da cultivar BRS Marrom – cultivos convencional e orgânico**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar**. 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018. (Sistemas de produção Embrapa). Disponível em:

<[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3718&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=1307](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3718&p_r_p_-996514994_topicoId=1307)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

FERREIRA, G. B.; SEVERINO, L. S.; SILVA FILHO, J. L.; PEDROSA, M. B. Aperfeiçoamento da tecnologia de manejo e adubação do algodoeiro no sudoeste da Bahia. *In*: SILVA FILHO, J. L.; PEDROSA, M. B. (Coord.). **Resultados de pesquisa com a cultura do algodão no Oeste e Sudoeste da Bahia: safra 2003/2004**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. p. 80-106. (CNPQ. Documentos, 133).

FREITAS, J. R. DE; LEANDRO, W. M.; CARVALHO, M. DA C. S. Efeito da adubação potássica via solo e foliar sobre a produção e a qualidade da fibra em algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 106–112, 2007.

FUNDAÇÃO MT. **Boletim de pesquisa do algodão**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2001. 238 p. (Boletim 4).

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão dos recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 63, n. 22, p. 131-158, 2008.

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation**. *In*: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3.ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212p.

KARAM, F.; RAFIC, L.; RANDA, M.; DACCACHE, A.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Water use and lint yield response of drip irrigated cotton to length of season. **Agricultural Water Management**, v. 85, n. 3, p. 287-295, 2006.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129 p.

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

MENGEL, K. Potassium. In: BARKER, A. V.; PILBEAM, D. J. **Handbook of Plant Nutrition**. 2006. London: Taylor and Francis Group, 2006. Cap. 4, p. 91-120.

NALAYINI, P.; RAJA, R.; KUMAR, A. A. Evapotranspiration based scheduling of irrigation through drip for cotton (*Gossypium hirsutum*). **Indian Journal of Agronomy**, v. 51, n. 3, p. 232-235, 2006.

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; RAPER, T. B. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 3, p. 331-343, 2013.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; MATOS, A. T.; MAIA, V. M. Indicadores de produção e qualidade da fibra do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 525-536, 2016a.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; ARAÚJO, E. D.; CECON, P. R. Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de Minas Gerais. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 40-57, 2016b.

SOUSA NETO, O. N.; ANDRADE FILHO, J.; DIAS, N. S.; REBOUÇAS, J. R. L.; OLIVEIRA, F. R. A.; DINIZ, A. A. Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 12, p. 200-208, 2012.

STAUT, L. A.; ATHAYDE, M. L. F. Efeitos do fósforo e potássio no rendimento e em outras características agronômicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 1839-1843, 1999.

YANG, F. Q.; DU, M. W.; TIAN, X. L.; ENEJI, A. E.; LI, Z. H. Cotton yield and potassium use efficiency as affected by potassium fertilizer management with stalks returned to field. **Crop Science**, v. 56, n. 2, p. 740-746, 2016.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L.P. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 52-52, 2015a.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N. Yield of cotton cultivars under different irrigation depths in the Brazilian semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 748–754, 2015b.

## **CAPÍTULO V**

---

### **Qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro colorido irrigado com água residuária e fertilização potássica**

## QUALIDADE TECNOLÓGICA DA FIBRA DO ALGODOEIRO COLORIDO IRRIGADO COM ÁGUA RESIDUÁRIA E FERTILIZAÇÃO POTÁSSICA

### RESUMO

A maior demanda por vestuário ocasionado pelo aumento da população, requer aumento da produção de fibras de algodão, necessitando assim, de maior produção dessa *commoditie*. Desse modo, maiores requerimentos hídricos são necessários para aumentar a produção, onde, diante da escassez de água, que acomete muitas regiões áridas no mundo, pesquisas voltadas para a utilização de águas residuárias tem demonstrando sua viabilidade econômica, ambiental e tecnológica na agricultura, principalmente em culturas como o algodoeiro. O potássio apresenta reconhecida importância nos processos biológicos das plantas tais como respiração, balanço hídrico, homeostase iônica, bem como, tem sido associado na melhora da qualidade tecnológica de fibras de algodão. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o efeito da irrigação com água de esgoto doméstico tratado e doses de potássio na qualidade tecnológica do algodoeiro colorido. O experimento foi conduzido na unidade piloto de reuso hidroagrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial  $(5 \times 5) + 1$  com 4 repetições, no delineamento de blocos casualizados, consistindo de cinco lâminas de irrigação utilizando água de esgoto doméstico tratado (50, 75, 100, 125 e 150% da ETc) e cinco doses de potássio (0, 50, 100, 150 e 200% de acordo com o recomendado para a cultura) com uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento com lâmina correspondendo a 100% da ETc e adubada com N, P e K. A irrigação com águas de esgotos domésticos tratados e a aplicação de doses de potássio influenciaram isoladamente as características tecnológicas da fibra do algodoeiro. A utilização de águas de esgotos domésticos tratados promove suficiente suprimento de potássio e outros nutrientes durante o alongamento e desenvolvimento celular da fibra do algodoeiro colorido BRS Rubi. A utilização de águas de esgotos domésticos na cultura do algodoeiro promove 100% de economia de água de boa qualidade, melhorando as características da fibra do algodoeiro BRS Rubi no semiárido pernambucano.

**Palavras-chave:** *Gossypium hirsutum* L. Índice micronaire. Indústria têxtil. Comprimento da fibra. Resistência da fibra.

## TECHNOLOGICAL QUALITY OF COLORED COTTON FIBER IRRIGATED WITH WASTE WATER AND POTASSIUM FERTILIZATION

### ABSTRACT

The increased demand for clothing caused by the increase in population requires an increase in the production of cotton fibers, thus necessitating greater production of this commodity. Thus, higher water requirements are needed to increase production, where, faced with the scarcity of many arid regions in the world, research on the use of wastewater has demonstrated its economic, environmental and economic viability. in agriculture, especially in crops such as cotton. Potassium has a recognized importance in the biological processes of plants such as respiration, water balance, ionic homeostasis, as well as has been associated with the improvement in the technological quality of cotton fibers. In this sense, the objective was to evaluate the effect of irrigation with treated domestic sewage water and potassium doses on the technological quality of colored cotton. The experiment was conducted in the pilot unit of hydrous reuse of the Federal Rural University of Pernambuco. The treatments were arranged in a factorial (5 x 5) + 1 scheme with 4 replications, in the randomized block design, consisting of five irrigation slides using treated domestic sewage water (50, 75, 100, 125 and 150% ETc) and five doses of potassium (0, 50, 100, 150, and 200% as recommended for the crop) and an absolute control (AC) irrigated with water from a blade supply corresponding to 100% ETc and fertilized with N, P and K. Domestic sewage and potassium levels influenced the technological characteristics of the cotton fiber in isolation. The use of treated domestic sewage waters promotes sufficient supply of potassium and other nutrients during the elongation and cellular development of BRS Rubi colored cotton fiber. The use of domestic sewage water in the cotton crop promotes 100% good quality water saving, improving the BRS Rubi cotton fiber characteristics in the semiarid region of Pernambuco.

**Key words:** *Gossypium hirsutum* L. Micronaire index. Textile industry. Fiber length. Fiber strength.

### 1 INTRODUÇÃO

As fibras constituem-se na principal matéria-prima do algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum* L.), sendo essencialmente significativa para a industrial têxtil nacional e

internacional (GUO *et al.*, 2017). Atualmente, o consumo mundial da pluma ultrapassa os mais de 24 milhões de toneladas, com uma área cultivada de 35 milhões de hectares (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO, 2018).

No Brasil, instituições de pesquisas desenvolveram cultivares de algodoeiro colorido com o intuito de melhorar a renda dos agricultores familiares que apresentam poucas opções de produtos que podem ser cultivados sob condições mínimas de precipitação e solo e a possibilidade de fixação do homem no campo, onde estas geram produtos com preço 20 a 30% maior em relação às cultivares de pluma branca, se tornando opção fitotécnica com exploração potencial em regiões com as condições supracitadas, à exemplo da região semiárida brasileira.

A indústria têxtil é uma das indústrias de alta utilização da água e de poluição destas no mundo, obrigando os fabricantes industriais a adotar tecnologias de produção mais limpas para minimizar o consumo e reduzir a poluição da água (CHEN *et al.*, 2017).

Nesse sentido, o algodoeiro colorido surge como uma alternativa por dispensar qualquer tipo de tingimento químico e propiciando a economia de água que normalmente seria consumida no processo convencional de fabricação de tecidos (OZTURK *et al.*, 2016), agregando valores ao produto devido à procura por tecidos naturalmente coloridos que vem aumentando a cada ano, principalmente por pessoas alérgicas, para vestuário de recém-nascidos e tendências de moda.

O crescente aumento populacional e a demanda por alimentos e vestuário aumenta a demanda por água na agricultura irrigada, onde, diante de escassez desta que acomete muitas regiões áridas no mundo, pesquisas voltadas para a utilização de águas residuárias tem demonstrando sua viabilidade econômica, nutricional e ambiental na agricultura, principalmente em culturas como o algodoeiro (AZIZ; FARISSI, 2014; SANTOS *et al.*, 2016; AHMADI; MERKLEY, 2017).

O potássio ( $K^+$ ) apresenta reconhecida importância nos processos biológicos das plantas tais como respiração, balanço hídrico, homeostase iônica, fotossíntese etc. (GUO *et al.*, 2017). Sua deficiência resulta em baixo crescimento e diminui a produtividade (OOSTERHUIS; LOKA; RAPER, 2013).

No entanto, na maioria dos solos onde se produz o algodão, a reserva do nutriente não é suficiente para suprir a quantidade extraída pela cultura ao longo do seu cultivo, de modo que a adubação potássica torna-se imprescindível para o crescimento e produção do algodoeiro (CARVALHO *et al.*, 2008).

Atualmente, com a modernização das indústrias têxteis no mercado de fiação, juntamente com as novas tecnologias de fiação de fibras, os padrões tecnológicos requerem fibras longas, uniformes, maduras, finas e resistentes (AYELE; HEQUET; KELLY, 2017).

Na literatura, muitos achados sinalizam para as águas residuárias e a fertilização potássica como favorecedor nas características tecnológicas da fibra do algodoeiro, porém, há a necessidade de mais pesquisas para comprovar e elucidar tais evidências nas características intrínsecas desta *commoditie*.

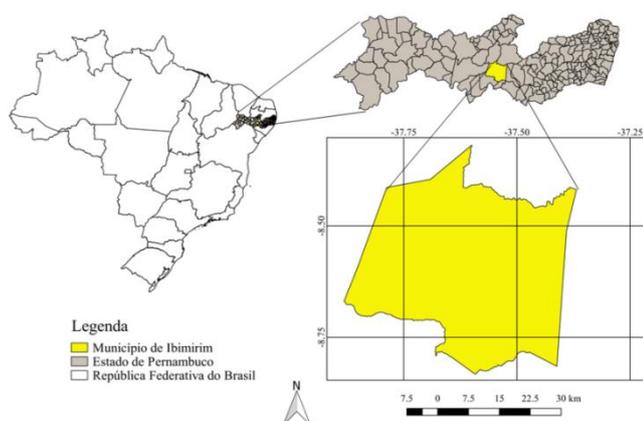
Portanto, com o desígnio de investigar a possibilidade de utilização de águas residuárias no algodoeiro e a manutenção ou melhoria da qualidade da pluma, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar as características tecnológicas da fibra do algodoeiro colorido BRS Rubi, irrigado com águas de esgoto doméstico tratado e fertilização potássica no semiárido pernambucano.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização da área geográfica**

O experimento foi conduzido no período de 15 de abril a 30 de agosto de 2016 em condições de campo na unidade piloto de reúso hidroagrícola de esgoto doméstico, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, no Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, à 334 km da capital Recife. A área experimental está localizada na latitude 8° 32' 05'' Sul, longitude 37° 41' 50'' Oeste com altitude média de 408 m, conforme sistema de referência de coordenadas UTM: datum SIRGAS 2000 (Figura 1).

Figura 1 – Localização geográfica do Município de Ibimirim, Estado de Pernambuco, República Federativa do Brasil

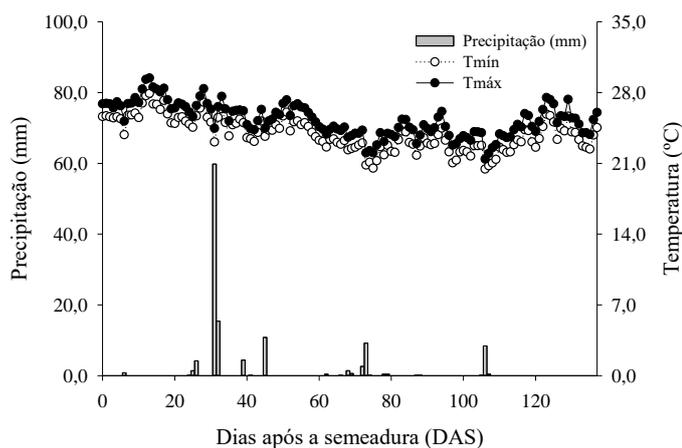


Fonte: Elaborada pelo autor.

## 2.2 Caracterização da área experimental

O clima da região classifica-se como BSh (semiárido muito quente) de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com precipitação média anual de 454 mm. Durante o período experimental, foi registrada precipitação acumulada de 122 mm e temperatura média de 24,6 °C, respectivamente (Figura 2).

Figura 2 – Dados diários de precipitação, temperatura máximas e mínimas registradas durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O solo da área experimental foi classificado como NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO Órtico típico, A moderado, fase caatinga hiperxerófila e relevo predominantemente plano, conforme critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2014). O material

de solo foi coletado na camada de 0 – 20 e 20 – 40 cm de acordo com metodologia proposta em Donagema *et al.* (2011), apresentando textura franco arenosa com 760, 80 e 160 g kg<sup>-1</sup> de areia, silte e argila, respectivamente, cuja caracterização química é indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização química do solo da área experimental

Camada de solo (m)	P (mg dm <sup>-3</sup> )	pH H <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na	K	Al	(H+Al) <sup>a</sup>	CTC <sup>b</sup>	SB <sup>c</sup>	m <sup>d</sup> --- (%) ---	V <sup>e</sup>
			----- (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )-----									
0 – 0,20	25	4,60	1,25	0,75	0,03	0,19	0,15	1,56	3,78	2,22	6	59
0,20 – 0,40	19	4,30	1,40	0,70	0,04	0,24	0,40	2,14	4,52	2,38	14	53

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Acidez potencial; <sup>(b)</sup> Capacidade de troca catiônica; <sup>(c)</sup> Soma de bases; <sup>(d)</sup> Saturação por alumínio; <sup>(e)</sup> Saturação por bases.

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em esquema fatorial (5 x 5) + 1, compondo 26 tratamentos com quatro repetições, totalizando 104 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram de cinco lâminas de irrigação, correspondentes a 50, 75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), tendo como fonte hídrica, água de esgoto doméstico tratado por um reator UASB (fator lâmina de irrigação, L), cinco doses de potássio, correspondendo a 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem sugerida para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigado com base no resultado da análise de solo (fator dose, D), utilizando-se a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008) e uma testemunha absoluta (TA) irrigada com água de abastecimento (AA) de acordo com sua necessidade hídrica (100% ET<sub>c</sub>) e adubada com nitrogênio, fósforo e potássio em consonância com as recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. A parcela experimental apresentava 15 m<sup>2</sup>, composta por três fileiras simples de comprimento linear igual a 5,0 m, espaçadas 1,0 m e distância entre plantas de 0,20 m, considerando para a área útil da parcela a fileira central desprezando-se 1,0 m de cada extremidade desta.

### 2.4 Caracterização da fonte hídrica

A caracterização da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB é indicada na Tabela 2, cuja análise seguiu metodologia padrão da American Public Health Association (2012).

Tabela 2 – Caracterização físico-química da água de abastecimento (AA) e da água de esgoto doméstico tratado pelo reator UASB

Parâmetro	Unidade	Concentração	
		AA	UASB
Condutividade Elétrica	dS m <sup>-1</sup>	0,3	2,1
pH	-	9,2	7,2
Dureza Total	mg de CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	153,3	273,4
Cálcio	mg L <sup>-1</sup>	54,4	74,9
Magnésio	mg L <sup>-1</sup>	4,3	21,0
Sódio	mg L <sup>-1</sup>	19,0	133,1
Potássio	mg L <sup>-1</sup>	10,6	43,6
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	-	126
Fósforo total	mg L <sup>-1</sup>	8,5	13,7
Enxofre	mg L <sup>-1</sup>	4,0	5,3
Mangânes	mg L <sup>-1</sup>	1,28	1,30
Ferro	mg L <sup>-1</sup>	10,3	9,2
DQO <sup>a</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	34,0	154,0
DBO <sup>b</sup>	mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	6,5	39,0
O <sub>2</sub> Dissolvido	%	85,5	46,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	-	2,2 x 10 <sup>7</sup>
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	-	1,4 x 10 <sup>7</sup>

Fonte: Elaborada pelo autor.

(a) Demanda química de oxigênio; (b) Demanda bioquímica de oxigênio.

## 2.5 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado em função do clima ao longo do desenvolvimento da cultura. O cálculo da ET<sub>c</sub> foi determinado com base na evapotranspiração diária de referência (ET<sub>o</sub>) estimada pelo modelo de Penman-Monteith - FAO (ALLEN *et al.*, 1998) (Equação 1) e coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) proposto por Bezerra *et al.* (2010) (Equação 2). A aquisição dos dados climáticos para a determinação da ET<sub>o</sub> foi obtido pela estação meteorológica de observação de superfície automática (marca Campbell Scientific, modelo CR1000, Logan, Utah, USA) instalada nas proximidades da área experimental.

$$ET_{O} = \frac{0,408(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_2 + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad \text{eq. (1)}$$

Em que:

$ET_0$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$R_n$  – radiação líquida na superfície da cultura,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$G$  – densidade do fluxo de calor no solo,  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ;

$T_2$  – temperatura do ar a 2 m de altura,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$u_2$  – velocidade do vento a 2 m de altura,  $\text{m s}^{-1}$ ;

$e_s$  – pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$e_a$  – pressão atual de vapor,  $\text{KPa}$ ;

$e_s - e_a$  – déficit de pressão de vapor de saturação,  $\text{KPa}$ ;

$\Delta$  – declividade da curva de pressão de vapor de saturação x temperatura,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ;

$\gamma$  – constante psicrométrica,  $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

$$K_c = 0,632 + 0,009 \cdot \text{DAE} - 0,00006 \cdot \text{DAE}^2 \quad \text{eq. (2)}$$

Em que:

$K_c$  – coeficiente de cultivo adotado, adimensional;

$\text{DAE}$  – dias após a emergência das plantas.

Para o cálculo da  $ET_0$ , foram utilizados dados diários de temperatura média do ar, umidade relativa média, velocidade do vento e radiação solar. A estimativa da  $ET_c$  foi realizada com os dados de  $ET_0$ ,  $K_C$  e o coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ), que varia de 0 a 1, para a correção da  $ET_c$  conforme Equação 3.

$$ET_C = ET_0 K_C K_{L\text{méd}} \quad \text{eq. (3)}$$

Em que:

$ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$ET_0$  – evapotranspiração de referência,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;

$K_C$  – coeficiente de cultivo, de acordo com a fase fenológica da cultura, adimensional;

$K_{Lméd}$  – coeficiente de localização médio, dependente da percentagem de área sombreada, adimensional.

Na Tabela 3, é indicado o número de dias para cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro BRS Rubi e na Figura 3, os valores diários de  $ET_o$ ,  $ET_c$  e  $K_c$  durante o período experimental com base nas observações diárias de campo.

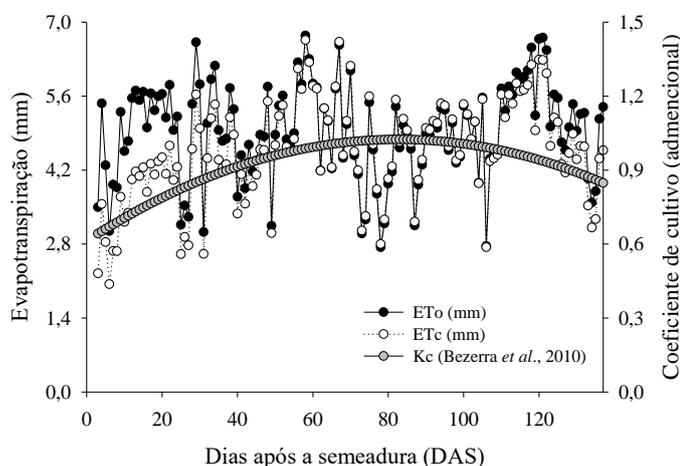
Tabela 3 – Ciclo fenológico do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, observado durante o período experimental

Fases	Estádios de desenvolvimento <sup>1</sup>	DAE <sup>2</sup>	Duração <sup>3</sup>
I	Emergência a 10% de cobertura do solo	1 - 19	19
II	10% de cobertura do solo ao início da floração	20 - 41	22
III	Início da floração ao início da maturação	42 - 89	48
IV	Início ao final da maturação	90 - 135	46

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(1)</sup> Determinado de acordo com observações diárias de campo; <sup>(2)</sup> Dias após a emergência; <sup>(3)</sup> em dias.

Figura 3 – Médias diárias da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), da cultura ( $ET_c$ ) e coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do algodoeiro colorido BRS Rubi durante o período experimental



Fonte: Elaborada pelo autor.

O coeficiente de localização médio foi determinado considerando a projeção da área sombreada ( $S$ ) da planta ao meio-dia (12:00h), ao longo do seu desenvolvimento de acordo com Aljibury, Marsh e Huntamer (1974) (Equação 4), Hoare, Garzoli e Blackwell (1974) (Equação 5), Decroix (1978) (Equação 6), Keller (1978) (Equação 7) e Keller e Bliesner (1990) (Equação 8), com o  $K_{Lméd}$  obtido pela média aritmética destes:

$$K_L = 1,34 * S \quad \text{eq.(4)}$$

$$K_L = S + 0,50 * (1 - S) \quad \text{eq.(5)}$$

$$K_L = 0,10 + S \quad \text{eq.(6)}$$

$$K_L = S + 0,15 * (1 - S) \quad \text{eq.(7)}$$

$$K_L = 0,10 * \sqrt{S} \quad \text{eq.(8)}$$

Os valores de coeficiente de localização médio utilizados no manejo da irrigação para o algodoeiro colorido são indicados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores de coeficiente de localização médio ( $K_{L\text{méd}}$ ) utilizados durante o período experimental

DAE <sup>a</sup>	S <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> )	PAS <sup>c</sup> (%)	$K_L^1$	$K_L^2$	$K_L^3$	$K_L^4$	$K_L^5$	$K_{L\text{méd}}$
5	0,0081	0,81	0,0109	0,0109	0,1081	0,5041	0,1569	0,1740
10	0,0554	5,54	0,0742	0,0742	0,1554	0,5277	0,1971	0,2379
15	0,0826	8,26	0,1106	0,1106	0,1826	0,5413	0,2202	0,2684
20	0,1086	10,86	0,1455	0,1455	0,2086	0,5543	0,2423	0,2961
25	0,2406	24,06	0,3223	0,3223	0,3406	0,6203	0,3545	0,4256
30	0,3959	39,59	0,5305	0,5305	0,4959	0,6979	0,4865	0,5680
40	1,0314	103,14	1,0156	1,3821	1,1314	1,0157	1,0267	1,1143

Fonte: Elaborada pelo autor.

<sup>(a)</sup> Dias após a emergência; <sup>(b)</sup> Área sombreada; <sup>(c)</sup> Percentual de área sombreada; <sup>(1)</sup> Keller e Bliesner (1990); <sup>(2)</sup> Aljibury, Marsh e Huntamer (1974); <sup>(3)</sup> Decroix (1978); <sup>(4)</sup> Hoare, Garzoli e Blackwell (1974); <sup>(5)</sup> Keller (1978); <sup>(d)</sup> Apesar de o coeficiente  $K_{L\text{méd}}$  ter sido 1,1143 aos 40 DAE, adotou-se o valor de 1,00 no manejo da irrigação até o final do ciclo da cultura.

As lâminas de irrigação (L) foram expressas em tempo de irrigação (Ti) estabelecido para cada tratamento, com Ti calculado pela Equação 9 em turno de rega (TR) diário.

$$Ti = \frac{(F)(ET_C)(E_{LL} E_g)}{q_g E_a} 60 \quad \text{eq. (9)}$$

Em que:

Ti – tempo de irrigação, min;

F – fator de correção para a lâmina de irrigação (0,50, 0,75, 1,00, 1,25 e 1,50 para  $L_1 = 50$ ,  $L_2 = 75$ ,  $L_3 = 100$ ,  $L_4 = 125$  e  $L_5 = 150\%$  da  $ET_C$ , respectivamente);

- $ET_C$  – evapotranspiração da cultura,  $\text{mm dia}^{-1}$ ;  
 $E_{LL}$  – espaçamento entre linhas laterais, m;  
 $E_g$  – espaçamento entre gotejadores na linha lateral, m;  
 $q_g$  – vazão do emissor,  $\text{L h}^{-1}$ ;  
 $E_a$  – eficiência do sistema de irrigação, decimal.

Antes do plantio, efetuou-se uma irrigação em todas as parcelas experimentais, deixando-se o solo na capacidade de campo. Terminado o plantio, efetuaram-se irrigações diárias no período da manhã de modo a deixar o solo sempre úmido na profundidade em que as sementes foram colocadas até a emergência das plântulas de algodão, para garantir o pleno estabelecimento destas. Após a emergência, três dias após o plantio (DAP), foi iniciado o manejo da irrigação em função do clima, aplicando-se lâmina de irrigação correspondente a 100% da  $ET_C$  para todas as parcelas experimentais.

Com o estabelecimento da cultura e por ocasião da operação de desbaste, 25 dias após a emergência das plantas (DAE), iniciou-se a diferenciação das lâminas de irrigação para as parcelas irrigadas com água de esgoto doméstico tratado, introduzindo no cálculo do tempo de irrigação ( $T_i$ ), o fator de correção “F” para as lâminas estabelecidas conforme os tratamentos supracitados. Ao final do experimento, 135 DAE, a lâmina de irrigação acumulada para cada tratamento foi de 307,75, 461,62, 615,49, 769,36 e 923,24 mm para 50, 75, 100, 125 e 150% da  $ET_C$ , respectivamente.

## **2.6 Manejo da adubação**

Foi utilizado cloreto de potássio ( $KCl$ , 60% de  $K_2O$ ) como fonte do elemento em estudo para o fator “D”, onde foi aplicado 50% da dosagem recomendada no sulco de plantio à 0,10 m de profundidade antes da semeadura, 25% após o desbaste em cobertura em sulco 0,05 m ao lado da linha de plantio na profundidade de 0,10 m e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2002; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004), com o adubo distribuído manualmente nos sulcos, totalizando 0, 20, 40, 60 e 80  $\text{kg de } K_2O \text{ ha}^{-1}$  para 0, 50, 100, 150 e 200% da dosagem recomendada para a cultura do algodoeiro herbáceo irrigada, de acordo com a recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008).

Seguiu-se o mesmo manejo para a TA, colocando-se a formulação de 90-40-40 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e K<sub>2</sub>O conforme recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco (INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO, 2008). Foi utilizada a ureia (45% de N) como fonte de nitrogênio, superfosfato simples (20% de P<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) como fonte de fósforo e cloreto de potássio (KCl, 60% de K<sub>2</sub>O) como fonte de potássio. O fósforo foi aplicado todo na fundação. Para o nitrogênio e o potássio, foram aplicados 50% da dosagem recomendada na fundação, e o restante, parcelados em cobertura, colocando-se 25% em após o desbaste e os 25% restantes, 20 dias após a aplicação desta.

## **2.7 Caracterização do sistema de tratamento**

O esgoto bruto foi oriundo do sistema de esgotamento condominial implantado para o atendimento de 500 habitações, cerca de 3.000 habitantes, localizados nas proximidades do bairro Lajes, Ibimirim, PE. O tratamento do esgoto bruto compreendeu a passagem deste por um tratamento preliminar integrado por uma grade de barras de ferro (Figura 4A), onde foi realizado o tratamento preliminar, seguindo depois para a barragem adjacente para sedimentação (Figura 4B), e em seguida para a caixa de areia associada a uma calha Parshall (Figura 4C) para conduzir o afluente ao poço úmido (Figura 4D) e então bombeado para o tratamento secundário realizado por um reator UASB operando com fluxos ascendente e descendente (modo híbrido) e por fim, este seguia por gravidade para a lagoa de estabilização.

Figura 4 – Detalhe do sistema de pré-tratamento integrado pela grade de barras de ferro (A), barragem de sedimentação (B), caixa de areia + calha Parshall (C) e poço úmido (D)



Fonte: Elaborada pelo autor

Na Figura 5A é indicado o percurso do afluente partindo-se da estação elevatória (poço úmido) até o reator UASB (Figura 5B), onde é feita a remoção da matéria orgânica, sendo em seguida, despejado nas lagoas de estabilização (Figura 5C) confeccionada nas dimensões de 3,0 m de largura x 7,0 m de comprimento x 1,0 m de profundidade e impermeabilizada com lona plástica.

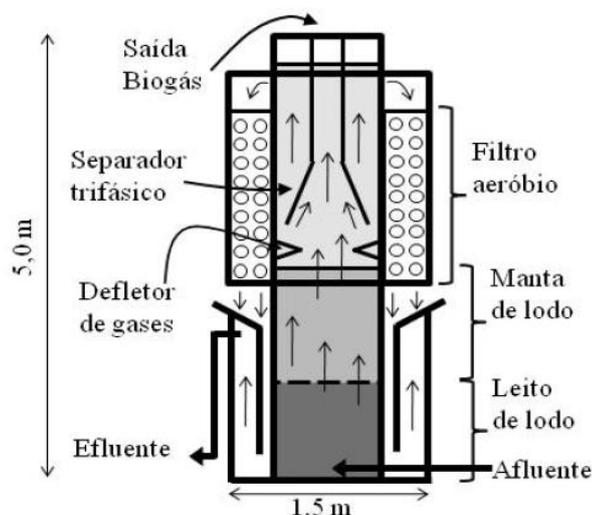
Figura 5 – Layout esquemático do percurso do tratamento do afluente (A), visão geral do reator UASB associado a lagoa de estabilização (B) e visão detalhada da lagoa de estabilização com o esgoto doméstico tratado (C)



Fonte (A): Silva, 2010 (adaptado); Fonte (B e C): Elaborada pelo autor.

O esquema de funcionamento do reator (UASB) é descrito na Figura 6. O tratamento consiste no fluxo ascendente do afluente (esgoto bruto) pela manta de lodo, responsável pela filtração e remoção da matéria orgânica em seguida passando pelo separador trifásico sendo então direcionado para o compartimento aeróbio (fluxo descendente).

Figura 6 – Esquema de funcionamento do reator de manta de lodo de fluxo ascendente (UASB, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)



Fonte: Silva, 2010 (adaptado).

## 2.8 Caracterização do sistema de irrigação

A irrigação foi realizada por gotejamento. Nas linhas laterais de distribuição de água foram utilizadas fitas gotejadoras autocompensantes de carga hidráulica (marca Netafim, modelo Dripnet PC 16250) com diâmetro e vazão nominais de 16 mm e 2,0 L h<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a sucção e recalque do efluente, utilizou-se uma bomba centrífuga de eixo horizontal (marca Schneider, com potência de 1,0 cv.).

## 2.9 Calagem, preparo do solo, material vegetal, plantio e tratamentos culturais

A calagem do solo foi realizada colocando-se a quantidade de 86 kg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com PRNT de 70%, calculada com base no método da neutralização do alumínio trocável, sendo incorporada na profundidade de 0,20 m com auxílio de grade niveladora. O preparo do solo da área experimental ocorreu por ocasião da incorporação do calcário no solo, constando de duas gradagens cruzadas com a grade niveladora.

Foi utilizado o material genético BRS Rubi, o qual é indicado para o cultivo em região semiárida do Nordeste brasileiro, possuindo características como: coloração marrom escura ou marrom avermelhada, altura média de 1,10 m, ciclo de 120 a 140 dias, com rendimento em ensaios de sequeiro de 1.871 kg ha<sup>-1</sup> de algodão em caroço, nas condições edafoclimáticas do Nordeste brasileiro (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

O plantio do algodoeiro foi realizado em sulco na profundidade de 0,05 m colocando-se cinco sementes a cada intervalo de 0,20 m no sulco, deixando-se 10 plantas por metro linear após o desbaste (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2004).

O controle das plantas invasoras (daninhas) foi realizado manualmente com o auxílio de enxada, mantendo-se a lavoura livre destas, desde a emergência das plântulas do algodoeiro até os 40 DAE, quando a cultura atingiu pleno estágio vegetativo, entrando no início da floração.

Foi adotado o manejo integrado de pragas (MIP) recomendado pela Embrapa Algodão, com a realização diária de amostragens de pragas a partir da emergência das plântulas até o final do ciclo da cultura utilizando-se produtos seletivos quando a população de pragas atingia o nível de controle (ALMEIDA; SILVA; RAMALHO, 2008). Não houve incidência do bicudo-do-algodoeiro (*Anthonomus grandis* Boheman).

## 2.10 Variáveis analisadas

Os dados inerentes à qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro foram mensurados a partir da amostragem de 20 capulhos colhidos aleatoriamente no terço médio de plantas da área útil da parcela (ZONTA *et al.*, 2015), sendo as variáveis analisadas: comprimento da fibra (UHM, mm), uniformidade de fibra (UNF, %), índice de fibras curtas (SFI, %), resistência da fibra (STR, gf tex<sup>-1</sup>), alongamento da fibra à ruptura (ELG, %), índice Micronaire (MIC, µg pol<sup>-1</sup>), maturidade da fibra (MAT, %) e o índice de fiabilidade (CSP, adm). As variáveis tecnológicas foram determinadas pelo HVI (*High Volume Instruments*) modelo 900 da Spinlab/Zellweger Uster, do Laboratório de Fibras e Fios da Embrapa Algodão, Campina Grande, Paraíba, Brasil.

## 2.11 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância à 0,05 de probabilidade. Nos casos em que as lâminas (L) e doses (D) foram significativas, as médias foram submetidas à análise de regressão linear, selecionando o polinômio que melhor reflete o fenômeno biológico estudado.

Utilizou-se o pacote estatístico SAS 9.0 para Windows (SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA, 2001) com os procedimentos PROC GLM, para análise de variância e PROC REG para análise de regressão (ZIMMERMANN, 2014).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L) e doses de potássio (D) afetaram isoladamente as características tecnológicas da fibra do algodoeiro colorido BRS Rubi, com efeito significativo ( $p < 0,05$ ) de L para UHM e SFI e MAT. A fertilização potássica influenciou somente na STR ( $p < 0,05$ ) (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância para comprimento (UHM), uniformidade (UNF), índice de fibras curtas (SFI), resistência de fibras (STR), alongamento à ruptura (ELG), índice micronaire (MIC), maturidade (MAT) e índice de fiabilidade (CSP) do algodoeiro colorido, cv. BRS Rubi, em função de lâminas de irrigação (L) e fertilização potássica (D)

FV	GL	Quadrado Médio			
		UHM	UNF	SFI	STR
Bloco	3	0,54863331 <sup>NS</sup>	1,89122565 <sup>NS</sup>	0,51518594 <sup>NS</sup>	6,01661791 <sup>NS</sup>
Lâmina (L)	4	1,88661207*	0,46482953 <sup>NS</sup>	2,81414575*	2,08992587 <sup>NS</sup>
Dose (D)	4	0,05694163 <sup>NS</sup>	1,66758398 <sup>NS</sup>	0,74811041 <sup>NS</sup>	7,41155504*
L x D	16	0,28390906 <sup>NS</sup>	1,52918637 <sup>NS</sup>	1,44196138 <sup>NS</sup>	3,88229923 <sup>NS</sup>
Resíduo	72	0,60301353	1,0395547	0,81943009	2,3272376
CV (%)		3,32	1,24	8,85	6,64

		Quadrado Médio		
		ELG	MIC	CSP
Bloco	3	9,44111719 <sup>NS</sup>	0,19289248 <sup>NS</sup>	43895.4996 <sup>NS</sup>
Lâmina (L)	4	0,48262265 <sup>NS</sup>	0,09438360 <sup>NS</sup>	5458.5191 <sup>NS</sup>
Dose (D)	4	8,88000231 <sup>NS</sup>	0,18845817 <sup>NS</sup>	33718.8875 <sup>NS</sup>
L x D	16	2,78969592 <sup>NS</sup>	0,10697336 <sup>NS</sup>	41143.7001 <sup>NS</sup>
Resíduo	72	3,7493962	0,11981146	36486.0250
CV (%)		8,41	8,86	9,99

Fonte: Elaborada pelo autor.

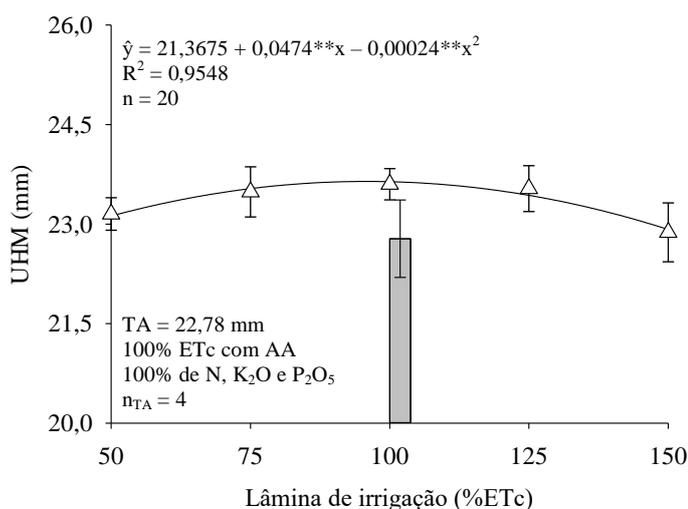
(\*\*), (\*) significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade, respectivamente; (NS) não significativo.

A constatação de diferenças não significativas para algumas variáveis tecnológicas no algodoeiro também foram relatadas por Alves *et al.* (2006) e Santos *et al.* (2016) avaliando o efeito da irrigação com águas residuárias tratadas nas características

intrínsecas do algodoeiro. Já Freitas, Leandro e Carvalho (2007) e Tsialtas *et al.* (2016), avaliaram o efeito da fertilização potássica, onde também não constatarem efeito significativos nestas.

O comprimento da fibra (UHM) ajustou-se de forma quadrática em resposta à aplicação de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (Figura 7), com máximo comprimento de 23,71 mm obtido com a aplicação da lâmina de 98,75% ETc. A reposição hídrica com água de esgoto doméstico tratado acima do máximo estimado provoca efeito deletério no comprimento das fibras. Contudo, a utilização de águas de esgotos domésticos tratados proporcionaram maiores valores de UHM (média de L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub>, L<sub>4</sub> e L<sub>5</sub> = 23,41 mm, com base na equação de regressão) quando se comparou com a testemunha absoluta (TA = 22,78 mm).

Figura 7 – Comprimento da fibra (UHM) do algodoeiro colorido BRS Rubi em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Barras verticais indicam o erro padrão da média; <sup>(n)</sup> número de repetições utilizadas para a média. <sup>(\*\*)</sup>, <sup>(\*)</sup> e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente; <sup>(TA)</sup> média da testemunha absoluta; <sup>(AA)</sup> água de abastecimento.

Na literatura, constata-se o efeito positivo da utilização de águas residuárias na irrigação do algodoeiro no que tange o comprimento da fibra. Comparando o UHM em condições irrigadas com água de abastecimento e águas residuárias tratadas, Azevedo *et al.* (2005) constatarem efeito positivo da utilização de água residuárias tratada com maiores médias para esta variável em comparação ao comprimento da fibra de plantas irrigadas com a água de abastecimento.

Alikhasi, Kouchakzadeh e Baniani (2012) verificaram que a utilização de lâminas águas residuárias na irrigação do algodoeiro não afeta as características do UHM, porém, comparando à testemunha irrigada com água de abastecimento, esses autores observaram maiores valores médios da variável em estudo.

Papastylianou e Argyrokastritis (2014), avaliaram o efeito da irrigação plena (100% ETc) e moderada (50% ETc) em duas cultivares tradicionalmente cultivadas na Grécia, constatando o efeito significativo da disponibilidade hídrica no UHM do algodoeiro.

Santos *et al.* (2016), verificaram, que apesar de não haver efeito significativo da aplicação de águas residuárias tratada, também observaram maiores valores médios para o UHM quando se utilizou desta fonte hídrica, em comparação a média observada quando a água de abastecimento e adubação convencional foram utilizadas nos tratamentos.

A formação da fibra é resultante de vários processos biológicos desencadeados logo após o florescimento (SANTANA *et al.*, 2008). Durante o início da floração as lâminas de irrigação não afetam o comprimento da fibra, entretanto, a falta de água após a floração e durante o estágio de alongamento da fibra pode acometer as características do comprimento em virtude dos processos fisiológicos e mecânicos do alongamento celular serem afetados (PAPASTYLIANOU; ARGYROKASTRITIS, 2014).

Santana *et al.* (2008) relatam sobre os fatores ambientais, os quais interferem na qualidade intrínseca da fibra, dentre eles, destaca-se a fertilidade do solo. Esses autores afirmam que a adubação fosfatada tende a aumentar o comprimento da fibra.

O aumento da UHM diretamente relacionado com o aumento das lâminas de irrigação até o nível de 100% da ETc (Figura 7), pode ser resultando do aumento da deposição de nutrientes no solo como fósforo total e potássio, por exemplo, via água de esgoto doméstico tratado com o aumento das lâminas de irrigação, acarretando em maior disponibilidade de água e nutrientes ao desenvolvimento celular e conseqüentemente, maior alongamento da fibra. Porém, a inflexão observada para valores superior a 100% ETc (diminuição da UHM) (Figura 7) pode ser resultante da lixiviação de alguns nutrientes nas lâminas superiores (125 e 150% da ETc).

A BRS Rubi é uma cultivar de fibra curta (UHM < 25 mm), não obstante, a utilização de águas de esgoto doméstico tratado não afetou esta característica, com os resultados deste trabalho possuindo valores médios próximos ao padrão dessa cultivar.

A não significância dos tratamentos aplicados sobre a uniformidade das fibras do algodoeiro (UNF) indica que os nutrientes presentes na água de esgoto doméstico foram

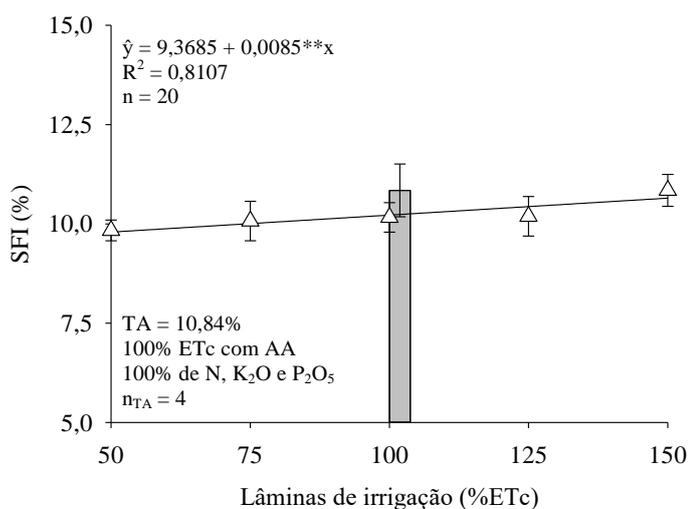
suficientes para a manutenção desta variável, bem como, melhorando esta característica em relação a TA (80,60%).

No município de Ipameri, região sudeste de Goiás, Freitas, Leandro e Carvalho (2007) não encontraram diferenças significativas na UNF em função de doses potássicas aplicadas em cobertura ou via foliar. Já Tsialtas *et al.* (2016), observaram diferenças significativas para as doses de potássio na UNF em Sindos, Grécia, porém, inexpressivas ( $K_0 = 84,2$ ;  $K_{80} = 85,3$  e  $K_{160 \text{ kg ha}^{-1}} = 84,4\%$ ). Com relação ao efeito não significativo das lâminas de irrigação, Alves *et al.* (2006) e Papastylianou e Argyrokastritis (2014) também não averiguaram alterações nesta característica da fibra.

O CV obtido para a UNF foi considerado baixo (<10%), destacando a homogeneidade da fibra no que tange sua uniformidade, logo, pode-se inferir que o suprimento de nutrientes para a deposição de fotoassimilados nos frutos e posterior acúmulo de celulose nas fibras foi adequado durante a formação e maturação desta, mesmo nas lâminas inferiores (50 e 75% da ETc), corroborando os resultados de Santos *et al.* (2016).

Foi constatado um leve aumento no índice de fibras curtas (SFI), em função do aumento da disponibilidade hídrica com águas de esgoto doméstico tratado. Contudo, os valores observados para as lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado foram inferiores ao SFI da testemunha absoluta (Figura 8).

Figura 8 – Índice de fibras curtas (SFI) do algodoeiro colorido BRS Rubi em função das lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico tratado (L)



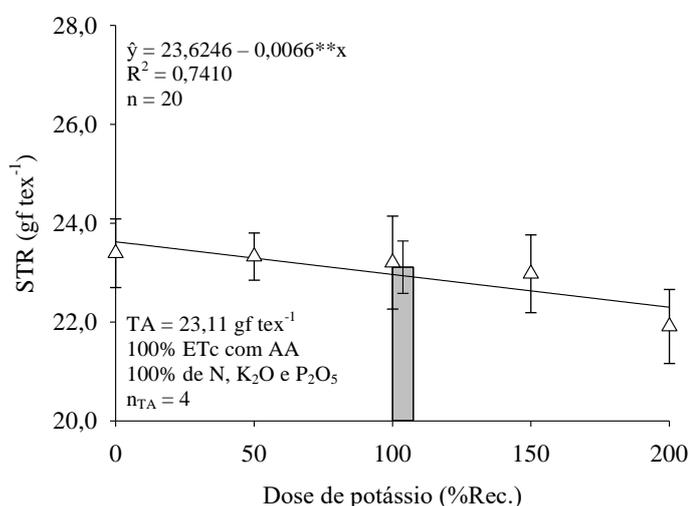
Fonte: Elaborada pelo autor.

Barras verticais indicam o erro padrão da média; <sup>(n)</sup> número de repetições utilizadas para a média. <sup>(\*\*)</sup>, <sup>(\*)</sup> e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente; <sup>(TA)</sup> média da testemunha absoluta; <sup>(AA)</sup> água de abastecimento.

Os padrões mínimos para as características tecnológicas de fibra no Brasil, atualmente, visam menores percentuais de fibras curtas, o que para a indústria têxtil, quanto menor este índice, melhor é a qualidade da fibra. A aplicação de águas de esgotos domésticos tratado no cultivo do algodoeiro BRS Rubi melhorou esta característica, quando comparada a testemunha absoluta.

A resistência da fibra (STR), outra importante característica para a indústria têxtil, decresceu com o aumento das doses de potássio. A média das doses, com base na equação de regressão foi de  $23,0 \text{ gf tex}^{-1}$ , valor ligeiramente inferior a resistência da TA (Figura 9).

Figura 9 – Resistência da fibra (STR) do algodoeiro colorido BRS Rubi em função das doses de potássio (D)



Fonte: Elaborada pelo autor.

Barras verticais indicam o erro padrão da média; <sup>(n)</sup> número de repetições utilizadas para a média. (\*\*), (\*) e <sup>(NS)</sup> significativo a 0,01 e 0,05 de probabilidade e não significativo, respectivamente; <sup>(TA)</sup> média da testemunha absoluta; <sup>(AA)</sup> água de abastecimento.

Tsialtas *et al.* (2016), também não constatarem diferenças significativas na variável em estudo. Porém, nos resultados obtidos por estes autores, observa-se uma diminuição da STR com o aumento da dose aplicada, corroborando os resultados do presente trabalho.

O coeficiente de variação para esta variável e as demais características tecnológicas da fibra foi baixo, destacando sua homogeneidade em função dos tratamentos prescritos, podendo-se inferir, analogamente a UNF, que o suprimento de nutrientes presentes na água de esgoto doméstico tratado, mesmo nas menores lâminas de irrigação determinadas neste trabalho, foram suficientes para que a planta obtivesse sua máxima resistência de fibra durante a formação e maturação desta nas condições em que foi realizado este trabalho.

A média geral para o MIC para os tratamentos irrigados com água de esgoto doméstico tratado foi 3,90 e para a testemunha absoluta foi de 4,80  $\mu\text{g pol}^{-1}$ . Uma das características da indústria têxtil nacional é a exigência de fibras cada vez mais finas, com o MIC variando entre 3,5 a 4,2  $\mu\text{g pol}^{-1}$  para que estas possam ser fiadas em rotores de alta velocidade nas fiações modernas. Os resultados obtidos no presente estudo estão em conformidade e dentro do padrão exigido para a indústria têxtil nacional. A classificação e a interpretação para a finura da fibra em  $\mu\text{g pol}^{-1}$ , é dado: < 3,0 (muito fina); 3,0 – 3,9 (fina); 4,0 – 4,9 (média); 5,0 – 5,9 (grossa) e > 6 (muito grossa) (SANTANA *et al.*, 2008).

Como visto, a fibra das plantas irrigadas com águas de esgoto doméstico tratado classificou-se como finas (3,9), de modo que, a concentração de nutrientes presentes nessas águas pode ter sido suficiente para promover melhora nesta variável, mesmo sem a adição de potássio suplementar. A testemunha absoluta classificou-se como fibra média (4,8).

Apesar dos benefícios da economia de água para o requerimento de 50% da necessidade hídrica e moderada diminuição no rendimento, Papastylianou e Argyrokastritis (2014) não constataram impactos negativos na qualidade tecnológica da fibra do algodoeiro cultivado na Grécia.

Estudando o efeito de lâminas de irrigação em variedades de algodoeiro herbáceo no Município de Apodi, RN, Zonta *et al.* (2015) verificaram que não houve influência da disponibilidade hídrica no MIC, porém, observaram efeito entre as cultivares estudadas. Entretanto, Cordão Sobrinho *et al.* (2015) verificaram diferenças significativas ao avaliar duas cultivares de algodoeiro herbáceo sob diferentes lâminas de irrigação nas condições de Barbalha, CE.

Mais recentemente, Zhang *et al.* (2016) avaliando as características tecnológicas da fibra do algodoeiro na China, em dois anos de cultivo, constataram que irrigações deficitárias não ocasionaram efeitos no MIC no primeiro ciclo, porém, no segundo ano de cultivo, verificaram fibras mais curtas e mais espessas.

Na literatura, alguns resultados sugerem que os efeitos do estresse hídrico promovido por lâminas deficitárias nas características tecnológicas da fibra depende da duração da exposição à este, o qual, de maneira generalizada, esses efeitos tem mais expressividade durante a fase de alongamento e desenvolvimento das fibras, o que pode reduzir seu crescimento e aumentar sua espessura (ZHANG *et al.*, 2016).

Avaliando o efeito da irrigação com águas residuárias tratadas nos indicadores de qualidade da fibra do algodoeiro herbáceo nas condições de Janaúba, MG, Santos *et al.* (2016), não verificaram diferenças no MIC entre os tratamentos irrigação com água de

abastecimento e adubação convencional e irrigação com águas residuárias tratadas e bruta, porém, a média do MIC quando irrigado com água residuárias foi menor, acarretando em fibras mais finas, corroborando os resultados do presente estudo.

Estudando o efeito de doses de potássio na qualidade tecnológica de fibras do algodoeiro, Freitas, Leandro e Carvalho (2007) e mais recentemente Tsialtas *et al.* (2016), não constataram efeito significativo para o MIC. Estes últimos relatam sobre fatores como taxa de absorção e eficiência de translocação de potássio para os frutos, acúmulo nos espaços citosólicos e vacuolares, capacidade de substituição de  $\text{Na}^+$  por  $\text{K}^+$  e tempo de maturidade, como determinantes na qualidade intrínseca da fibra aos baixos níveis de  $\text{K}^+$  no solo.

A fibra do algodoeiro é uma célula alongada onde potássio desempenha importante papel no alongamento desta. O alargamento da parede celular, a pressão osmótica e a síntese de moléculas estruturais são fundamentais no alongamento mais rápido da fibra (TAN *et al.*, 2013; WANG; RUAN, 2013; GUO *et al.*, 2017).

Diante da constatação de fibras mais longas (UHM) e mais finas (MIC) das plantas irrigadas com águas de esgoto doméstico tratado em relação à testemunha absoluta, infere-se que as concentrações de  $\text{K}^+$  e outros nutrientes foram mais facilmente absorvidos nestes tratamentos, promovendo maior influxo de água nas células, aumentando a pressão osmótica e conseqüentemente, aumentando seu alongamento, tornando as fibras mais finas (menor índice micronaire).

#### **4 CONCLUSÕES**

A aplicação de lâminas de irrigação com água de esgoto doméstico e de doses de potássio promove melhorias nas características de comprimento, índice de fibras curtas, na resistência e na finura das fibras do algodoeiro.

A reposição hídrica de 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado aumenta o comprimento, diminui o índice de fibras curtas e promove a formação de fibras mais finas, uniformes e resistentes, atendendo aos requisitos de qualidade da indústria têxtil nacional e internacional.

O estudo revela uma alternativa de fonte hídrica para o cultivo do algodoeiro de fibra colorida no Sertão Pernambucano, que economiza 100% de água de boa qualidade, podendo promover a fixação do homem no campo com qualidade da fibra atendendo aos requisitos da indústria.

## REFERÊNCIAS

AHMADI, L.; MERKLEY, G. P. Wastewater reuse potential for irrigated agriculture. **Irrigation Science**, v. 35, n. 4, p. 275–285, 2017.

ALIKHASI, M.; KOUCHAKZADEH, M.; BANIANI, E. The effect of treated municipal wastewater irrigation in non-agricultural soil on cotton plant. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, p. 1357–1364, 2012.

ALJIBURY, F. K.; MARSH, A. W.; HUNTAMER, J. **Water use with drip irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 341-345.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALMEIDA, R. P.; SILVA, C. A. D.; RAMALHO, F. S. Manejo integrado de pragas do algodoeiro no Brasil. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 30, p. 1034-1098.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L. DE; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, W. W. A.; AZEVEDO, C. A. V.; CIRILO BATISTA, R.; DANTAS NETO, J.; BELTRÃO, N. E. M. Effect of treated wastewater, nitrogen and phosphorus on quality of the brown fiber cotton. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. Annual Mee, n. 062095, p. 62–95, 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012, 1360p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO. **Algodão no mundo**. Disponível em: <<http://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>>. Acesso em: 03 abr. 2018.

AYELE, A.; HEQUET, E.; KELLY, B. The impact of fiber maturity on estimating the number of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fibers per seed surface area. **Industrial Crops and Products**, v. 102, p. 16–22, 2017.

AZEVEDO, M. E. Q. A.; KÖNIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; CEBALLOS, B. S. O.; AZEVEDO, C. A. V.; TAVARES, T. L. Características tecnológicas da fibra do algodão herbáceo sob efeito de adubação nitrogenada e irrigação com água residuária tratada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. supl, p. 202–206, 2005.

AZIZ, F.; FARISSI, M. Reuse of treated wastewater in agriculture : solving water deficit problems in arid areas. **Annals of West University of Timișoara**, v. 17, n. 2, p. 95–110, 2014.

BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 625-632, 2010.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; CARVALHO, O. S.; SILVA, O. R. R. F.; MEDEIROS, J. C. Nutrição, calagem e adubação. *In*: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 23, p. 677-789.

CHEN, L.; WANG, L.; WU, X.; DING, X. A process-level water conservation and pollution control performance evaluation tool of cleaner production technology in textile industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 1137–1143, 2017.

CORDÃO SOBRINHO, F. P.; GUERRA, H. O. C.; ARAÚJO, W. P.; PEREIRA, J. R.; ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C. Fiber quality of upland cotton under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1057–1063, 2015.

DECROIX, M. **Conception et calcul d'un projet de micro-irrigation a la parcell**. Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes, Institut de Bari, 1978.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análises de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manejo cultural da cultivar BRS Marrom – cultivos convencional e orgânico**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2002. 4 p. (Comunicado Técnico, 165).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Algodão : o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**. 4. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2014. 353 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultura do algodão herbáceo na agricultura familiar**. 3. ed. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2018.

(Sistemas de produção Embrapa). Disponível em:

<[https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_-76293187\\_sistemaProducaoId=3718&p\\_r\\_p\\_-996514994\\_topicoId=1307](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3718&p_r_p_-996514994_topicoId=1307)>. Acesso em: 09 abr. 2018.

FREITAS, R. J.; LEANDRO, W. M.; CARVALHO, M. C. S. Efeito da adubação potássica via solo e foliar sobre a produção e a qualidade da fibra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 2, p. 106–112, 2007.

GUO, K.; TU, L.; HE, Y.; DENG, J.; WANG, M.; HUANG, H.; LI, Z.; ZHANG, X. Interaction between calcium and potassium modulates elongation rate in cotton fiber cells. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 18, p. 5161–5175, 2017.

HOARE, E. R.; GARZOLI, K. V.; BLACKWELL, J. **Plant water requirements as related to trickle irrigation**. In: 2nd International Drip Irrigation Congress Proceedings. California, USA, 1974. p. 323-328.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE PERNAMBUCO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação**. 3 ed. revisada. Recife: IPA, 2008. 212 p.

KELLER, J. **Trickle irrigation**. En Soil Conservation Service National Engineering Handbook. Colorado, 1978. 129 p.

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

OOSTERHUIS, D. M.; LOKA, D. A.; RAPER, T. B. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 3, p. 331-343, 2013.

OZTURK, E.; KOSEOGLU, H.; KARABOYACI, M.; YIGIT, N. O.; YETIS, U.; KITIS, M. Minimization of water and chemical use in a cotton/polyester fabric dyeing textile mill. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 92–102, 2016.

PAPASTYLIANOU, P. T.; ARGYROKASTRITIS, I. G. Effect of limited drip irrigation regime on yield, yield components, and fiber quality of cotton under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 142, p. 127–134, 2014.

SANTANA, J. C. F.; WANDERLEY, M. J. R.; BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P.; LEÃO, A. B.; VIEIRA, D. J. Características da fibra e do fio do algodão. In: BELTRÃO, N. E. M.; AZEVEDO, D. M. P. (Ed.). **O Agronegócio do Algodão no Brasil**. 2. ed. rev. e ampl. – Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 31, p. 1099-1120.

SANTOS, S. R.; SOARES, A. A.; KONDO, M. K.; MATOS, A. T.; MAIA, V. M. Indicadores de produção e qualidade da fibra do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 525–536, 2016.

SILVA, M. M. **Irrigação com efluentes secundários no crescimento, produtividade e concentração de nutrientes no solo e na mamoneira**. 2010. 77 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2010.

TAN, J.; TU, L.; DENG, F.; HU, H.; NIE, Y.; ZHANG, X. A genetic and metabolic analysis revealed that cotton fiber cell development was retarded by flavonoid naringenin. **Plant Physiology**, v. 162, n. 1, p. 86–95, 2013.

TSIALTAS, I. T.; SHABALA, S.; BAXEVANOS, D.; MATSI, T. Effect of potassium fertilization on leaf physiology, fiber yield and quality in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under irrigated Mediterranean conditions. **Field Crops Research**, v. 193, p. 94–103, 2016.

WANG, L.; RUAN, Y.-L. Regulation of cell division and expansion by sugar and auxin signaling. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1–9, 2013.

ZHANG, D.; LUO, Z.; LIU, S.; LI, W.; WEITANG; DONG, H. Effects of deficit irrigation and plant density on the growth, yield and fiber quality of irrigated cotton. **Field Crops Research**, v. 197, p. 1–9, 2016.

ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2014. 582 p.

ZONTA, J. H.; BEZERRA, J. R. C.; SOFIATTI, V.; FARIAS, F. J. C.; CARVALHO, L. P. DE. Efeito da irrigação no rendimento e qualidade de fibras em cultivares de algodoeiro herbáceo. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 43–52, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados obtidos, algumas considerações podem ser apreciadas:

1 Encorajamos mais pesquisas para a validação dos resultados obtidos nas mesmas condições ou condições semelhantes em que foi realizado este estudo, uma vez que, na literatura, observa-se resultados heterogêneos em anos consecutivos de cultivos, bem como, na região semiárida, existem diversas classes de solos, os quais, poderão influenciar nas respostas obtidas. Na literatura, a deficiência de K foi observada na produção de algumas variedades, mesmo tendo sido aplicada a fertilização potássica, onde, estes fenômenos tem sido atribuído à algumas novas variedades mais sensíveis à aplicação de K em relação as variedades convencionais, de modo, que recomendamos mais pesquisas, com outras cultivares indicadas para a região semiárida;

2 A utilização de esgotos domésticos tratados pode acarretar no processo salinização secundária, de modo que, encorajamos novas pesquisas com o objetivo de monitorar continuamente e avaliar os potenciais riscos de salinização do solo pela aplicação das lâminas de irrigação com águas residuárias;

3 Os achados no presente estudo, indicam que a aplicação de 100% com EDT supre nutricionalmente a cultura, de modo que, pesquisas voltadas para validação desses indícios são sugeridas;

4 A utilização de esgotos domésticos tratados por meio de reator UASB promoveu a economia de 100% de água de boa qualidade, onde, por ocasião do tratamento do esgoto bruto, 100% destes que iriam ser depositados no rio Moxotó, ficaram retidos no sistema de tratamento, garantindo assim, a qualidade natural deste rio. Logo, a instalação de mais sistemas de tratamento e um gerenciamento eficiente dos gestores do referido Município, pode favorecer e melhorar a qualidade dos recursos naturais e diminuir os riscos de saúde pública;

5 Os resultados do presente trabalho foram promissores, com rendimentos dos tratamentos com aplicação de águas residuárias superiores a testemunha absoluta. Constatou-se também, que durante o ciclo da cultura, não foi observado a presença do bicudo-do-algodoeiro. Ressalta-se, além do mais, que a retomada do cultivo do algodoeiro na região vem sendo recentemente acompanhada por empresas de assistência técnica, favorecendo os contratos de compra e venda da pluma. Logo, incentivamos o cultivo do algodão colorido no sertão pernambucano com águas de esgoto domésticos tratados, dispensando o tingimento

químico, e com um acompanhamento técnico, propiciando rendimentos satisfatórios, economia de água, melhoria da qualidade dos recursos hídricos e da saúde pública, pela possibilidade de fixação do homem no campo e a geração de receitas 20 a 30% maiores em relação as variedades de pluma branca.

6 Face aos achados do presente estudo, a lâmina de irrigação que atende 100% da ETc com água de esgoto doméstico tratado, mediante um manejo da irrigação via clima pelo método padrão da FAO, é indicada para o cultivo do algodoeiro colorido BRS Rubi, promovendo rendimentos de algodão em caroço superiores ao cultivo convencional em mais de 900 kg ha<sup>-1</sup> sem a necessidade da suplementação potássica (TA).