Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Pepino tipo japonês irrigado com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum*

Ana Carolina Murad Lima

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

Ana Carolina Murad Lima
Engenheira Agrônoma

Pepino tipo japonês irrigado com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum*

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **FABRÍCIO ROSSI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Lima, Ana Carolina Murad

Pepino tipo japonês irrigado com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum* / Ana Carolina Murad Lima. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

77 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Cucumis sativus* L. 2. Reúso agrícola 3. Águas residuárias 4. Microbiologia agrícola I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jacqueline e Ilton, e ao meu irmão Lucas.

Porque quando se trata de vocês me faltam palavras e transbordam sentimentos. Porque não cabem em mim a alegria e a gratidão de dividir com vocês essa estrada. Por todo apoio e incentivo. Por serem presença e amor na minha caminhada.

"*you're the reason that I fell so strong*
the reason that I'm hanging on"
(Vance Joy – Mess is mine)

AGRADECIMENTOS

Não imagino quem acreditou que seria possível, em poucas palavras, demonstrar o imenso sentimento de gratidão que sinto nesse momento. Muito menos que seria possível listar aqui todas as pessoas às quais sou grata.

Ainda assim, é inquestionável e deve ser destacada a contribuição do meu orientador, Fabrício Rossi, tanto para esse trabalho quanto ao guiar meus passos pela vida acadêmica. Agradeço pelo acompanhamento, pela oportunidade, pela paciência e por toda experiência e sabedoria compartilhada.

Agradeço ainda a toda estrutura intelectual e física que tornou esse trabalho possível. Ao Programa de Engenharia de Sistemas Agrícolas, seu corpo docente, discente e de funcionários, à ESALQ-USP e à FZEA-USP. A CAPES pelo apoio financeiro e à Agristar do Brasil pela concessão das sementes.

A toda equipe do GEBio – Sistemas e Engenharia - e do Laboratório de Biotecnologia Ambiental, especialmente a professora Tamara e à técnica Ana Cristina. A todos vocês pela contribuição para o trabalho, pela troca de experiências práticas e teóricas e pela convivência diária. Agradeço aos estagiários, Lê, Ed e Gabriel, pelo auxílio e pela dedicação às atividades propostas.

A toda minha família pelo apoio, incentivo e pela compreensão em todos os momentos em que eu não me fiz presente para poder me dedicar a esse trabalho. Principalmente aos meus pais e ao meu irmão pelo carinho, paciência e ensinamentos, pelo amor e apoio incondicionais.

As organizações sociais e políticas e as pessoas que encontrei nesses espaços por me permitirem somar forças na construção de uma sociedade melhor e mais justa. Vocês me trazem sensatez e ousadia para lutar pela superação das insanidades do sistema estabelecido.

Bruna, Gisa, Mila, Pomi, Papa, Morfina, Kong, Camila, Troll, Lisi, Luana, Leo, Silvia, Xegâno, Digs, Gabriel, Ale, Lucas, Manu, Gabi, Gabs, Dan, Iê, Fê, Mary, Shey, Dogão, Gro, Theo. A vocês pela amizade, pelo apoio constante, pelos momentos vividos, pelas risadas e pelas lágrimas, por me ensinarem e me tornarem uma pessoa melhor todos os dias.

Nenhum trabalho, dissertação, atividade, cargo, salário, título, diploma, nenhuma conquista, tempo ou espaço faria sentido se eu não tivesse vocês. Sou infinitamente grata.

EPÍGRAFE

“Think you're in control until you're not
And you're so in love until you're not
Find a place where we can be alone
Find a place where we can be ourselves
So aim high, and aim true”

“Like a feather falling past your cheek
Feel the breath of heaven on your face
And we all die trying to get it right
We're all gonna die trying to get it right
So aim high, and aim true”

(Vance Joy – We all die trying to get it right)

SUMÁRIO

RESUMO 7
ABSTRACT 8
1. INTRODUÇÃO 9
2. REVISÃO DE LITERATURA 11
2.1. APLICAÇÃO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS 11
2.2. REÚSO AGRÍCOLA 12
2.3. CULTURA DO PEPINO 15
2.4. *TRICHODERMA* SPP. 17
2.5. INSTRUMENTAÇÃO 18
2.5.1. Câmera termográfica 19
2.5.2. Clorofilômetro 20
3. MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1. DELINEAMENTOS EXPERIMENTAIS 23
3.2. EFLUENTE DE LATICÍNIO 23
3.2.1. Tratamento 23
3.2.2. Caracterização 24
3.3. SELEÇÃO DA CEPA DE *TRICHODERMA* SPP. 24
3.4. LOCAL DE CULTIVO DO PEPINEIRO 26
3.5. CULTIVO DO PEPINEIRO 28
3.6. MANEJO DA IRRIGAÇÃO 31
3.7. INÓCULO COM *TRICHODERMA* SPP. 31
3.8. IMAGENS TERMOGRÁFICAS E ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA 32
3.9. ANÁLISES DE PLANTAS 33
3.10. COLHEITA E CLASSIFICAÇÃO DE FRUTOS 34
3.11. EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO 34
3.12. ANÁLISES ESTATÍSTICAS 35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 37
4.1. EFLUENTE TRATADO DE LATICÍNIO 37
4.2. SELEÇÃO DA CEPA DE *TRICHODERMA* SPP. 39
4.3. IRRIGAÇÃO DO PEPINEIRO E APORTE DE NUTRIENTES 42
4.4. DIAGNOSE FOLIAR DO PEPINEIRO 44
4.5. ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA 46
4.5.1. Índice Relativo de Clorofila *a* 46
4.5.2. Índice Relativo de Clorofila *b* 48
4.5.3. Índice Relativo de Clorofila Total 49
4.6. TEMPERATURA FOLIAR 52
4.7. ANÁLISES BIOMÉTRICAS DO PEPINEIRO 54
4.7.1. Área foliar 54
4.7.2. Massa fresca e seca da folha 55
4.7.3. Análise da planta ao final do ciclo de cultivo 57
4.8. PRODUTIVIDADE DO PEPINEIRO 58
4.9. EXTRATO DE SATURAÇÃO DO SOLO 64
4.10. SÍNTESE DOS RESULTADOS 65
5. CONCLUSÕES 67
REFERÊNCIAS 69
ANEXO 77

RESUMO

Pepino tipo japonês irrigado com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum*

A agroindústria de laticínios, assim como tantos outros processos agroindustriais, produz grande volume de efluente, geralmente despejado em corpos d'água e, muitas vezes, sem o tratamento correto, podendo causar impacto ambiental. A aplicação de águas residuárias na agricultura se apresenta como uma forma de minimizar esse impacto ao destinar efluentes tratados para a irrigação, além de possibilitar a economia de água de melhor qualidade no cultivo agrícola e ter o potencial de fornecer nutrientes para as plantas. Por outro lado, o aumento da salinidade no solo devido à irrigação com efluente está dentre os principais riscos dessa prática. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar a resposta do pepineiro do tipo japonês irrigado com efluente tratado de laticínio em diferentes doses e com aplicação de *Trichoderma* spp.. Três cepas de *Trichoderma* (*T. asperellum*, *T. harzianum* e *T. atroviride*) foram cultivadas em meio de cultivo com doses do efluente tratado de laticínio (0, 25, 50, 75 e 100%). A cepa *T. asperellum* apresentou as melhores respostas e foi selecionada para ser inoculada no solo durante o cultivo do pepineiro irrigado com efluente. O cultivo do pepineiro foi conduzido com irrigação utilizando efluente tratado de laticínio em quatro doses (25, 50, 75 e 100%) e em fatorial com o fator *Trichoderma asperellum* (com e sem aplicação), em blocos casualizados, com quatro repetições. Os controles consistiram em irrigação com água de abastecimento, com ou sem a aplicação do agente biológico. Os resultados mostraram que a irrigação com efluente tratado de laticínio foi capaz de aportar nitrogênio no sistema e suprir a adubação nitrogenada de cobertura recomenda para a cultura nas doses de 50, 75 e 100% de efluente. Não houve redução no teor de nitrogênio foliar em nenhuma das doses avaliadas, sendo que na dose de 75% houve incremento em relação ao controle. Para o tratamento sem aplicação de *T. asperellum* houve ajuste quadrático dos índices relativos de clorofila (IRC), sendo que 75% de efluente apresentou os maiores índices. A aplicação do fungo favoreceu os IRC na dose de 25%. Em 21-jun a temperatura foliar máxima e média foi maior com a aplicação de *T. asperellum* com 75% de efluente. Em 19-jul, a temperatura mínima na dose de 50% foi menor em relação ao controle. A aplicação de *T. asperellum* apresentou efeito positivo nas análises das folhas do pepineiro irrigado com efluente. A condutividade elétrica do extrato de saturação do solo aumentou de forma linear com o aumento da dose de efluente na água de irrigação. Os resultados mostram que a aplicação de *T. asperellum* favoreceu parâmetros do pepineiro irrigado com efluente e que a irrigação efluente tratado de laticínio foi capaz de fornecer nitrogênio para o pepineiro em cobertura. Além disso, foi possível cultivar o pepineiro irrigado com efluente tratado de laticínio sem perdas de produtividade nas doses de 25, 50 e 100% e com ganho de produtividade na dose de 75% em relação ao controle. Assim sendo, há viabilidade para o cultivo do pepineiro com irrigação com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum*.

Palavras-chave: *Cucumis sativus* L., Reúso agrícola, Instrumentação, Microbiologia agrícola

ABSTRACT

Japanese cucumber plants irrigated with treated dairy effluent and *Trichoderma asperellum* application

Dairy agro-industry, like so many other agroindustrial processes, produces a large volume of effluent, usually discharged into water bodies and often without proper treatment which may cause environmental impact. Application of wastewater in agriculture is presented as a way to minimize this impact by directing treated effluents for irrigation, besides make possible to save water of better quality in agricultural cultivation and has potential to supply nutrients to plants. On the other hand, the increase in salinity in soil due to irrigation with effluent is among the main risks of this practice. Therefore, this work aimed to evaluate the response of japanese cucumber irrigated with treated dairy effluent in different doses and with application of *Trichoderma* spp.. Three *Trichoderma* strains (*T. asperellum*, *T. harzianum* and *T. atroviride*) were grown in a culture medium with doses of treated dairy effluent (0, 25, 50, 75 and 100%). *T. asperellum* strain presented best responses and was selected to be inoculated in soil during cucumber cultivation irrigated with effluent. Cucumber cultivation was carried out with irrigation using treated dairy effluent in four doses (25, 50, 75 and 100%) and in a factorial with *Trichoderma asperellum* factor (with and without application), in randomized blocks, with four replications. Controls were irrigation with water supply, with or without application of the biological agent. Results showed that irrigation with treated dairy effluent was able to provide nitrogen for system enough to supply nitrogen cover fertilization recommended for this crop at 50, 75 and 100% effluent doses. There was no reduction in leaf nitrogen content in any of the doses evaluated, and at 75% dose there was an increase compare to control. For treatment without *T. asperellum* application, there was a quadratic adjustment of chlorophyll relative levels (IRC), 75% effluent having the highest rates. The application of fungus favored IRC at 25% dose. On June 21, maximum and average leaf temperature was higher with *T. asperellum* application at 75% effluent. On July 19, the minimum temperature at 50% dose was lower than control. The application of *T. asperellum* had positive effect on leaves analysis of cucumber irrigated with effluent. Electrical conductivity of soil saturation extract increased linearly with increase in effluent dose in irrigation water. Results show that application of *T. asperellum* favored parameters of cucumber irrigated with effluent and that irrigation with treated dairy effluent was able to provide nitrogen for cucumber in cover fertilization. In addition, it was possible to grow cucumber irrigated with treated dairy effluent without productivity loss at 25, 50 and 100% doses and with productivity gain at the 75% dose compared to control. Therefore, there is viability for growing cucumber with irrigation with treated dairy effluent and application of *Trichoderma asperellum*.

Keywords: *Cucumis sativus* L., Agricultural reuse, Instrumentation, Agricultural microbiology

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a escassez dos recursos naturais é global e tem sido assunto em pauta no mundo todo, mobilizando indivíduos, forças públicas e privadas. Nesse cenário, a água está entre os recursos que mais demandam a atenção. Isso porque é um recurso fundamental, mas que vem sendo inviabilizada para consumo pela própria poluição antrópica. Além disso, a população mundial aumenta de forma exponencial e, consequentemente, cresce também a responsabilidade e o desafio de alimentar cada vez mais pessoas. Para atender essa demanda, a atividade agrícola tende à intensificação e a expansão, o que significa maior utilização de recursos, incluindo os recursos hídricos. No Brasil, a irrigação de culturas agrícolas é responsável por 68% do consumo de água (ANA, 2019).

Por outro lado, águas residuárias são geradas em grande volume e descartadas em corpos d'água, muitas vezes, sem o devido tratamento. Só na agroindústria de laticínio, estima-se a geração de 2,5 litros de efluente para cada litro de leite processado (BEGNINI; RIBEIRO, 2014). Efluentes agroindustriais são ricos em nutrientes, matéria orgânica e sais, que estão presentes mesmo após o tratamento desse resíduo, sendo potenciais fontes de poluição para os corpos d'água (KARADAG et al., 2015). A aplicação das águas residuárias tratadas é uma alternativa para diminuir o consumo de água de melhor qualidade para fins de irrigação, e para reduzir o volume de efluente despejado em corpos d'água, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, e na redução dos custos associados à poluição (CNRH, 2005).

Entretanto, existem riscos no emprego de efluentes tratados na agricultura, associados à metais pesados, carga orgânica, contaminação sanitária, presença de componentes farmacêuticos, salinidade, alta carga nutricional, entre outros (TOZE, 2006). A alta concentração de sódio no efluente de laticínio tem sido o maior obstáculo à sua aplicação na irrigação, pois pode alterar o potencial osmótico do solo, dificultando a absorção de água pelas plantas. Ainda assim, resultados positivos para as culturas irrigadas têm sido apontados por alguns estudos (GOMES et al., 2017, DONATTI et al., 2017).

O pepino é um fruto, consumido na forma imatura, bastante apreciado no Brasil e seu cultivo tem grande importância agrícola. Em 2018, só no Estado de São Paulo foram 1,7 mil hectares plantados, com uma produção de mais de 72 mil toneladas do fruto (IEA, 2019). Além disso, o pepineiro tem sido utilizado em estudos para avaliar diferentes parâmetros de resposta à salinidade (SANTANA; CARVALHO; MIGUEL, 2010, WAN et al., 2010). Sendo uma planta moderadamente sensível ao estresse salino, tolera condutividades elétricas de até 1,70 dS m^{-1} na água de irrigação, sofrendo perdas em sua produtividade acima desse limite (MAAS; HOFFMAN, 1977). O desenvolvimento da planta em condições de salinidade, ainda que com perdas, torna a cultura interessante para avaliar o efeito de fatores de manejo sobre o estresse salino da planta.

Trichoderma spp. são fungos filamentosos encontrados no solo e amplamente utilizados como agente de controle biológico na agricultura. Esse gênero também tem sido estudado como promotor do crescimento vegetal (ZHANG et al., 2014) e já foi relatado como agente minimizador dos efeitos de estresse salino (AHMAD et al., 2015, YASMEEN; SIDDIQUI, 2018). Estudos encontraram maiores taxas de germinação de pepineiro em solo salino na presença desse agente biológico (BROTMAN et al., 2013); e aumento no nível de açúcares e proteínas solúveis, ácido ascórbico, clorofila e melhoria da atividade de raiz do pepineiro inoculado com *Trichoderma harzianum* (ZHANG et al., 2019).

Nesse cenário, buscando promover a utilização de águas residuárias na agricultura, esse trabalho teve como objetivo avaliar o cultivo do pepineiro irrigado com efluente tratado de laticínio em diferentes doses em fatorial com a aplicação de *Trichoderma* spp.. Assim, foram levantadas as seguintes hipóteses: i. é possível selecionar uma cepa de *Trichoderma* ssp. tolerante ao efluente tratado de laticínio; ii. a aplicação do fungo *Trichoderma* spp. é capaz de minimizar o estresse salino no pepineiro gerado pela irrigação com efluente; iii. a irrigação com o efluente tratado de laticínio, em diferentes diluições em água de abastecimento, é capaz de aportar nitrogênio para o pepineiro de forma a suprir a adubação mineral de cobertura; iv. o pepineiro é capaz de produzir satisfatoriamente irrigado com efluente em pelo menos uma das doses estudadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aplicação de águas residuárias

A preocupação referente aos recursos hídricos e às suas formas de utilização é assunto global e recorrente. A escassez da água é um fator limitante no desenvolvimento socioeconômico de uma região e, no cenário atual de aumento da população mundial e da demanda por recursos, a disponibilidade, quantidade e qualidade da água podem gerar competição e conflitos (DUARTE et al., 2008; BRAGA; LIMA, 2014). Nesse cenário, as diversas formas de reutilização de águas residuárias reduzem o despejo desses resíduos de alta carga orgânica e mineral nos corpos d'água e diminuem a demanda de água de melhor qualidade, reduzindo a pressão sobre os recursos hídricos.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) caracteriza efluente como o despejo líquido advindo de atividades ou processos diversos (CONAMA, 2011), enquanto a Resolução N° 54 de 2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) define água residuária como sendo "esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não", e que podem se tornar água de reúso a partir da sua aplicação, que pode ser para cinco fins: urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na aquicultura. Ainda segundo essa Resolução, o reúso contribui para a proteção do meio ambiente e da saúde pública, e na redução dos custos associados à poluição (CNRH, 2005).

Entretanto, as características desses efluentes podem variar em qualidade e na presença de contaminantes, por exemplo, o que irá afetar o tratamento requerido e, consequentemente, na viabilidade econômica da aplicação dessas águas. Os riscos da aplicação das águas residuárias são, da mesma forma, variáveis e podem estar associados aos metais pesados, carga orgânica, contaminação sanitária, presença de componentes farmacêuticos, alta carga nutricional, salinidade, entre outros (TOZE, 2006). Processos como os das agroindústrias de processamento animal e vegetal geram efluentes ricos em nutrientes, matéria orgânica e sais, que estão presentes mesmo após o tratamento desse resíduo, principalmente nitrogênio e fósforo, sendo potenciais fontes de poluição para os corpos d'água (KARADAG et al., 2015).

A indústria de alimentos é o setor industrial com maior consumo de água, quase 56% (ANA, 2017). Estima-se que a agroindústria do leite gere em torno de 2,5 litros de efluente para cada litro de leite processado, advindo desde a lavagem das máquinas e da planta da fábrica, sistemas de resfriamento, esgotos sanitários, até do próprio processo industrial (BEGNINI; RIBEIRO, 2014). Ao multiplicar esse valor pelos dados da produção anual de leite, de 35,1 bilhões de litros de leite em 2017 (MARTINS et al., 2018), encontra-se um valor de quase 88 bilhões de litros de efluente gerados em um ano pelas fábricas de laticínio.

O reúso de águas apresenta inúmeras vantagens, dentre elas, o fornecimento de água e nutrientes, menor captação de água de melhor qualidade, que poderia ser direcionada para outros fins, com melhoria da gestão dos recursos hídricos (HESPANHOL, 2002). Assim, diversos estudos podem ser encontrados na literatura, os quais têm buscado demonstrar os efeitos da utilização de águas residuárias no cultivo agrícola (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2005; AHMED et al., 2012; GOMES et al., 2015; ROSSI et al., 2016; STENCHLY et al., 2017).

2.2. Reúso agrícola

A agricultura é uma atividade de grande consumo de água, mais de 68% da água consumida no Brasil em 2018 foi destinada a irrigação, com um volume captado de 1.084 m^3 s^{-1} para o mesmo período (ANA, 2019). Nesse sentido, a prática do reúso agrícola tem potencial de dar destino para um grande volume de águas residuárias. Entretanto, essa prática é ainda limitada para alguns tipos de culturas e deve obedecer a outros padrões estabelecidos pela legislação, que ainda tratam majoritariamente do efluente doméstico.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), atendendo às determinações das Resoluções N° 357 de 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente e N° 121 de 2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CONAMA, 2005; CNRH; 2010), estabelece orientações para projeto visando à aplicação de efluente doméstico na agricultura. Essa instrução técnica estabelece restrições a respeito da área que irá receber água de reúso, sobre monitoramento da água a ser utilizada e as limitações de uso, entre outros pontos técnicos (CETESB, 2006). Pela norma, a irrigação só está autorizada para as culturas de fins paisagísticos ou esportivos, florestais, forrageiras sem pastejo direto, em pomares e para culturas não consumidas cruas.

A limitação para irrigação de culturas consumidas cruas com águas residuárias se deve à alta carga de patógenos que pode estar presente no efluente, a depender do tratamento aplicado. Ainda assim, diversos estudos vêm demonstrando que, com os cuidados necessários, é possível produzir alimentos consumidos crus com água de reúso e com segurança sanitária. O tipo de irrigação utilizada pode contribuir para essa segurança, como demonstrado em um estudo comparando dois sistemas de gotejamento para aplicação de efluente doméstico bruto na produção de rabanete. O sistema de gotejamento em subsuperfície reduziu a contaminação por bactérias termotolerantes de forma efetiva nas raízes de rabanete em comparação ao sistema de gotejamento em superfície (BALKHAIR, 2016).

Nos estudos de Gatta et al. (2015) e Libutti et al. (2018), os níveis de *Escherichia coli* avaliados após o tratamento da água residuária da agroindústria estavam acima das normas italianas para reúso. Ainda assim, não foi possível isolar *Escherichia coli* das plantas ou dos produtos vegetais irrigados com a água residuária. Os autores sugerem que as baixas concentrações de contaminantes sanitários

encontradas nos produtos e nas plantas são devidas ao sistema de irrigação com gotejamento, que evita contato próximo da água de reúso com a planta.

Cirelli et al. (2012) estudaram a aplicação de efluente municipal na irrigação de berinjela e tomate. O efluente utilizado continha conteúdo de *E. coli* acima dos padrões estabelecidos nacionalmente, mesmo após o tratamento terciário por alagados construídos. Ainda assim, a qualidade microbiológica exigida para os frutos foi atingida na maior parte das análises, com picos de contaminação para os produtos colhidos rentes ao solo ou à cobertura plástica. Os autores propõe a redução dos níveis de contaminantes por meio da sanitização em pós-colheita recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS).

As restrições da instrução técnica quanto à salinidade na água de reúso limitam a aplicação de efluentes com o máximo de 69 mg L^{-1} de sódio e 2,9 dS m^{-1} de condutividade elétrica (CETESB, 2006). Essas limitações acompanham as determinações internacionais e se apresentam em função de que a utilização de água de reúso pode elevar a salinidade do solo, alterando seu potencial osmótico (VARALLO et al., 2010; AMORIM et al., 2002), o que afetaria a absorção de água pelas raízes e causaria as mesmas alterações metabólicas da falta de água no solo, influenciando negativamente o crescimento da planta (MUNNS, 2002). Devido a esses e outros potenciais efeitos negativos, o reúso de águas residuárias na agricultura deve ser realizado de forma racional e com acompanhamento constante (VARALLO et al., 2010).

Ayers e Westcot (1989) chamam atenção para o fato que de a qualidade das águas varia muito em função da quantidade e dos tipos de sais dissolvidos, isso porque esses sais podem promover efeitos tóxicos e ainda alterações na taxa de infiltração de água, principalmente quando o teor de sódio for alto em relação aos teores de cálcio e magnésio. Esse efeito, ao qual se dá o nome de sodicidade, pode alterar a estabilidade dos agregados do solo, fazendo com que ocorra a dispersão de partículas de argila, promovendo alterações físicas que irão afetar a absorção e movimentação da água no solo (RICHARDS, 1954).

Os efeitos da concentração de sais no solo podem ser minimizados a partir do uso e manejo de lâminas de lixiviação, para que os sais sofram percolação no perfil do solo e fiquem menos concentrados na camada onde há o desenvolvimento das raízes. Para solos salinizados e alcalinos (porcentagem de sódio trocável superior a 15%), recomenda-se primeiro a aplicação de corretivos que possibilitarão a formação de sulfato de sódio, e este poderá então ser lixiviado pelas lâminas de irrigação (RUIZ, 2004). Estudos utilizando diferentes dosagens de gesso seguidas de lâminas de lixiviação, fracionadas ou não, obtiveram resultados interessantes na diminuição da condutividade elétrica e na redução da porcentagem de sódio trocável (RUIZ, 2004; LEITE, 2007). Além disso, diversos fatores podem influir no grau de tolerância das plantas a solos salinos, dentre eles estão o estágio de crescimento, variedades, porta-enxertos, fertilidade do solo, água no solo, aeração do solo e fatores ambientais (MAAS; HOFFMAN, 1977).

Na literatura podem ser encontrados diversos estudos avaliando a dinâmica do desenvolvimento de diferentes culturas em condições de salinidade. Silva et al. (2011) avaliaram parâmetros de troca gasosa nas folhas de pinhão-manso submetidas a estresse salino e observaram que as plantas apresentaram sensibilidade a esse tipo de estresse, sofrendo danos fotossintéticos. Medeiros et al. (2010) analisaram diferentes níveis de salinidade na produção de pepino em cultivo protegido, encontrando as maiores médias de produção total com a condutividade elétrica da solução do solo próxima de 4 dS m^{-1}; porém, houve uma queda na produtividade para níveis de salinidade acima do reportado. Oliveira et al. (2017) trabalharam com uma prática de manejo de divisão de raízes, quando a mesma planta tem a sua raiz dividida em dois ambientes separados fisicamente. Nesse trabalho, a utilização de água com alto e baixo nível de salinidade para cada um dos ambientes de estabelecimento das raízes aumentou a tolerância do pepineiro à salinidade.

O estudo de Almeida et al. (2017) reportou alterações físicas no solo em função da utilização de efluente da indústria de papel durante um ciclo de cultivo de eucalipto. Os autores observaram que houve aumento da razão de adsorção de sódio (RAS) no solo e que, apesar do valor de condutividade elétrica ter sido intermediário, houve redução dos agregados de tamanho médio do solo, aumento da dispersão de argila e, consequentemente, redução da porosidade total. Não houve alterações na resistência do solo à penetração ou na condutividade hidráulica. Al-Hamaiedeh & Bino (2010), apesar de terem constatado aumento da salinidade e da RAS ao longo do tempo, não encontraram efeitos negativos nas oliveiras cultivadas com esgoto doméstico tratado.

Tunc & Sahin (2015) analisaram propriedades do solo após a irrigação de couve-flor e repolho com efluente urbano filtrado e diluído a 50%, com condutividade elétrica de 1,2 dS m^{-1} e RAS de 2,9 a 3,5 $(mmol/L)^{-1/2}$. Os autores observaram melhoria na agregação do solo e teor de água disponível, sem alterações na densidade de partículas e sem perdas na taxa de infiltração. Em outro estudo foi avaliado um solo pastoreado com mais de 60 anos de aplicação de efluente de laticínio, onde houve o aumento do pH e da condutividade elétrica do solo, de sódio e potássio trocáveis e fósforo extraível, enquanto diminuiu o magnésio trocável e a estabilidade dos agregados do solo (LIU; HAYNES, 2011). O estudo ainda observou que apesar a diminuição da relação C/N e do aumento da biomassa microbiana no solo e da respiração basal, não houve mudança na capacidade metabólica ou na estrutura e diversidade da comunidade microbiana, indicando que o solo, a planta e local exercem maior influência nesses fatores do que a água de irrigação.

Gomes et al. (2015) avaliaram o efeito da irrigação com água residuária de laticínio tratada, utilizando 50% da adubação nitrogenada recomendada durante o ciclo cultivo da beterraba. Os autores observaram melhoria nos parâmetros de massa e diâmetro da raiz quando realizada irrigação com efluente tratado de laticínio em comparação com a cultura irrigada com água de abastecimento. Além disso, a diagnose foliar da cultura apresentou resultados nutricionais adequados para macro e micronutrientes, com exceção do fósforo, que alcançou o nível adequado apenas no tratamento com

aplicação de efluente anaeróbio e reposição de 150% da lâmina de evapotranspiração (GOMES et al., 2017).

A utilização de esgoto doméstico na irrigação em subsuperfície para o cultivo de pepino resultou em aumento dos teores de fósforo e potássio no solo, assim como no aumento da CTC. No extrato de saturação do solo houve aumento de nitrogênio, nitrato, cálcio, magnésio, zinco e enxofre, e de massa fresca de fruto por planta (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2005). Outro estudo utilizou efluente bruto da indústria alimentícia como adubação complementar no cultivo de tomate e pepino concluiu que esse efluente pode substituir a adubação química de potássio, proporcionar melhorias em respostas biométricas de ambas as culturas e melhorar parâmetros de fertilidade do solo (QARYOUTI et al., 2015).

A dinâmica de resposta de cada planta é complexa e sensível às condições de cultivo e manejo, assim como a compreensão dessa dinâmica está sujeita às ferramentas utilizadas na análise. Por isso são de grande valia estudos que combinem diferentes formas de manejo e métodos de avaliação da utilização de águas residuárias nos cultivos agrícolas.

2.3. Cultura do pepino

O pepino é o fruto obtido do cultivo do pepineiro (*Cucumis sativus* L.) e que é apreciado em todas as regiões do Brasil. Pode ser consumido cru, em conserva ou em sopas, sendo também explorado pelas indústrias de cosméticos pelas suas propriedades nutracêuticas (CARVALHO et al., 2013). No ano de 2018, só no Estado de São Paulo a produção total de pepino foi de mais de 72 mil toneladas do fruto em aproximadamente 1,7 mil hectares de área plantada (IEA, 2019). Atualmente, a China é o maior produtor mundial do fruto, tendo produzido 62 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2018).

Sendo uma cultura de clima quente a ameno (15 a 30°C), a produção do pepineiro durante o inverno é favorecida pelo cultivo protegido, diminuindo o efeito das temperaturas baixas a noite e evitando geada, que é limitante para a cultura (CARVALHO et al., 2013; CATÁLOGO..., 2010). O plantio é realizado geralmente durante a primavera e verão, sendo idealmente cultivado em solos bem adubados, com pH entre 5,6 e 6,8. A cultura do pepino é exigente em água; assim, é importante que a umidade do solo seja mantida próxima à capacidade de campo. A vida útil da planta, sanidade, produtividade e qualidade dos frutos podem ainda ser favorecidas por tratos culturais, tais como: tutoramento, desbaste e poda (CARVALHO et al., 2013).

Os frutos de pepino podem ser do tipo caipira, conserva ou indústria, pepino comum ou aodai e pepino japonês ou aonaga. Ainda há o pepino holandês, entretanto esse tipo tem pouca demanda no Brasil, sendo mais consumido na Europa (PEPINO..., 2019). Esses tipos diferem em relação à morfologia, sistemas de cultivo, espaçamento e produtividade. O pepineiro do tipo japonês

sob cultivo protegido possui as maiores produtividades, variando de 120 a 240 toneladas por hectare (CARVALHO et al., 2013; TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015).

Caracterizado por frutos alongados, triloculados e de coloração verde escura com espinhos brancos, o pepino japonês atende mercados exigentes devido ao seu paladar agradável. Seu ciclo produtivo começa entre 40 a 50 dias após a semeadura e se estende por mais 60 a 80 dias. O ponto ideal de colheita do pepino japonês é quando o fruto possui de 21 a 23 cm de comprimento, de acordo com a cultivar, sendo importante colher todos os frutos que atingem esse ponto, mesmo que não possuírem padrão comercial (CARVALHO et al., 2013).

É comum que todos os tratos culturais citados anteriormente (poda, desbaste e tutoramento) sejam realizados para o pepino japonês. O tutoramento é prática fundamental para esse tipo de pepino, pois dará suporte para manter a planta ereta, evitando que os frutos encostem-se ao chão e formem a chamada "barriga branca" por falta de luz (CARVALHO et al., 2013).

A enxertia é uma prática antiga para a cultura do pepino, estudos de 1998 já traziam as vantagens da enxertia de pepino japonês sobre abóbora para obtenção de frutos com brilho na casca e incrementos no crescimento e número de frutos (CAÑIZARES; GOTO, 1998). Entretanto, os resultados podem ser contraditórios a depender das condições de cultivo, Junglaus (2007) relatou que plantas de pepino japonês enxertadas não responderam à aplicação de bioestimulante, enquanto as plantas sem enxertia tiveram aumento de produtividade. Acredita-se que esse resultado seja devido ao reajuste hormonal necessário em resposta tanto à enxertia quanto ao bioestimulante. Sirtoli (2010) encontrou maior produção de frutos não comerciais em plantas enxertadas, enquanto não obteve diferença na produção de frutos total e comercial.

O pepineiro é uma cultura classificada como moderadamente sensível ao estresse salino, tolerando condutividades elétricas no extrato do solo de até 2,50 dS m^{-1} e 1,70 dS m^{-1} na água de irrigação, com perdas teóricas de 13% em sua produtividade a cada unidade salina acima desse limite (MAAS; HOFFMAN, 1977). A cultura tem sido utilizada para avaliar diferentes parâmetros de resposta à salinidade, tais quais: coeficiente de cultivo e a evapotranspiração (BLANCO; FOLEGATTI, 2003), área foliar (BLANCO; FOLEGATTI, 2005), produção (MEDEIROS et al., 2010), entre outros.

Folegatti & Blanco (2000) trabalharam com pepino japonês enxertado sobre abóbora e irrigado com água salina e notaram que a cultura apresentou maior sensibilidade nos estágios iniciais de desenvolvimento. Medeiros et al. (2010) estudaram pepino japonês enxertado sobre abóbora e avaliaram os efeitos da salinidade nos frutos do pepineiro. Os autores avaliaram diversos níveis de condutividade elétrica da solução do solo, variando de 1,5 dS m^{-1} até 6,5 dS m^{-1}, encontrando aumento linear para a acidez titulável e sólidos solúveis do fruto, enquanto houve decréscimo linear na firmeza da polpa.

Wan et al. (2010) avaliaram a produtividade do pepineiro irrigado com água artificialmente salinizada com bicarbonato de sódio por três anos consecutivos em um experimento a campo. As condutividades elétricas dos tratamentos variaram de 1,1 a 4,9 dS m^{-1} e causaram queda de produtividade no primeiro e terceiro ano, sendo mais acentuada no primeiro ciclo, no qual houve maior produtividade. De forma geral, a produtividade caiu ao longo dos três ciclos de cultivo, afetada principalmente pela diminuição no número de frutos. Também houve queda da eficiência do uso da água ao longo dos anos. Outro estudo avaliou a resposta do pepineiro do tipo caipira a condutividade elétrica na água de irrigação pelo acréscimo de NaCl. As condutividades de 0,1; 2,0; 4,0; 6,0 e 8,0 dS m^{-1} tiveram efeito de redução linear na produção total e comercial, além da diminuição no número de frutos e na redução evapotranspiração da cultura (SANTANA; CARVALHO; MIGUEL, 2010).

A sensibilidade moderada do pepineiro à salinidade do solo permite o crescimento da cultura em condições intermediárias de salinidade, ainda que com perdas. Dessa forma, a cultura se torna interessante para que se possa avaliar o efeito de diferentes práticas e fatores no estresse salino da planta, tais como o uso de agentes biológicos no cultivo dessa hortaliça.

2.4. *Trichoderma* spp.

Os fungos filamentosos do gênero *Trichoderma* podem ser encontrados em uma ampla gama de ecossistemas, sendo geralmente isolados de solos agrícolas ou florestais em todas as latitudes. São facilmente cultivados *in vitro* e possuem uma esporulação verde característica. São micoparasitas naturais e amplamente utilizados para controle biológico, tendo diferentes espécies e linhagens comercializadas como produtos registrados em diversos países (BROTMAN; KAPUGANTI; VITERBO, 2010). O inóculo de *Trichoderma* spp. no solo tem sido uma prática comum para potencializar os efeitos benéficos do fungo. Ethur (2006) avaliou a aplicação de *Trichoderma harzianum* em solos cultivados com tomate e com pepino concluiu que o inóculo contribuiu para o desenvolvimento e estabilidade populacional do fungo em solo rizosférico durante todo o ciclo de cultivo, auxiliando no combate à fusariose.

No que concerne à utilização na cultura do pepino, o gênero *Trichoderma* já foi estudado no controle biológico de tombamento por *Rhizoctonia solani* em mudas, com algumas das cepas avaliadas capazes de alcançar resultados de até 100% de sobrevivência das plântulas uma semana após a inoculação com o patógeno e com o *Trichoderma* (LUCON et al., 2009). A espécie *Trichoderma harzianum* inoculada no solo por meio de fertilizantes bio-orgânicos suprimiu a germinação do fungo *Fusarium oxysporum*, responsável pela doença conhecida como murcha do pepino (ZHANG et al., 2013b), com resultados semelhantes para tomate (MOHAMED; HAGGAG, 2006). A aplicação de *T. atroviride* e *T. asperelloides* foram capazes de induzir resposta de defesa contra *Pseudomonas syringae* em mudas de pepino (GAL-HEMED et al., 2011).

Além dos efeitos de controle de microrganismos fitopatogênicos, já foram relatados outros efeitos benéficos do fungo *Trichoderma* spp. para o desenvolvimento das plantas. Um experimento testou o cultivo de pepino em hidroponia com a raiz da planta fisicamente divida em dois ambientes, e a inoculação de *Trichoderma harzianum* em uma das metades resultou em incremento na altura da planta, na massa seca da parte aérea e na massa seca de raiz (ZHANG et al., 2014). Ganhos semelhantes foram observados para pepino cultivado em solo adubado com biofertilizante inoculado com o fungo, quando comparado com a utilização de biofertilizante não inoculado (ZHANG et al., 2013).

Trichoderma spp. também já foi relatado como agente minimizador dos efeitos de estresse salino. Ahmad et al. (2015) trabalharam com mudas de mostarda castanha e observaram minimização dos efeitos de perda da massa seca, comprimento da parte aérea e comprimento da raiz pela inoculação de *Trichoderma harzianum*. Além disso, a absorção de sódio pela planta foi maior em comparação com o tratamento salino com o inóculo do fungo. Sementes de arroz e milho tratadas com a mesma espécie do fungo apresentaram germinação mais uniforme e rápida em condições salinas quando inoculadas com *Trichoderma harzianum* e, consequentemente, tiveram melhor desempenho quando as plântulas foram levadas para condição de cultivo hidropônico (YASMEEN; SIDDIQUI, 2018).

Pepino e *Arabidopsis thaliana* foram semeadas em solo salino com e sem inoculação de *Trichoderma asperelloides* e apresentaram maiores taxas de germinação na presença desse agente biológico (BROTMAN et al., 2013). No estudo de Zhang et al. (2019), os autores demonstraram que a mitigação do estresse salino em pepineiro por *Trichoderma harzianum* aconteceu por respostas múltiplas, dentre elas o aumento no nível de açúcares e proteínas solúveis, ácido ascórbico, clorofila, melhoria da atividade de raiz e alterações enzimáticas. Os autores resumiram o efeito do isolado de *Trichoderma* como redução das espécies reativas de oxigênio e ajuste osmótico pelas alterações dos sistemas enzimáticos e não enzimáticos.

Assim, é possível observar o potencial benéfico do fungo *Trichoderma* spp. para o cultivo agrícola, tanto em relação ao controle biológico, quanto sob condições de estresse biótico ou abiótico, favorecendo desenvolvimento de diversas plantas.

2.5. Instrumentação

Diversas tecnologias são utilizadas diariamente na agricultura para facilitar práticas de cultivo e aumentar a precisão das atividades de campo. A câmera termográfica e o clorofilômetro são instrumentos portáteis e de análise não destrutiva. Ao apresentar resposta em um curto espaço de tempo, podem auxiliar na detecção de estresse nas plantas de forma rápida, sendo ferramentas de auxílio na tomada decisão e no manejo correto das culturas.

2.5.1. Câmera termográfica

A câmera termográfica é um equipamento capaz de medir temperaturas pela captação de imagens no comprimento de onda do infravermelho. É possível obter a temperatura de cada pixel da imagem por meio de análise em software adequado e, dessa forma, conhecer as temperaturas máxima, mínima e média de cada imagem. As imagens de plantas obtidas por meio da câmera termográfica podem servir para aferição de outros parâmetros fisiológicos, como a condutância estomática, por exemplo (GÓMEZ-BELLOT et al., 2015).

Utilizando imagens obtidas com câmera termográfica, um estudo foi capaz de estimar o índice de área foliar do trigo em condição de estresse por umidade (BANERJEE; KRISHNAN; MRIDHA, 2018). Elsayeda et al. (2017) estudaram trigo e utilizaram a termografia para estimar o *status* de água na planta e a produtividade de grãos. Costa et al. (2015) utilizaram imagens termográficas para medir a diferença de temperatura entre plântulas de milho em condições de estresse hídrico. As respostas obtidas foram adequadas para selecionar genótipos de milho mais resistentes à seca. Segundo Ihuoma & Madramootoo (2017) a termografia é provavelmente a técnica com base na planta mais utilizada para detecção de estresse hídrico, guardando relação direta com estresses que causam menor transpiração e, consequentemente, maior temperatura foliar.

A alteração do potencial osmótico da planta irrigada com água salina pode gerar estresse hídrico, como já descrito anteriormente, podendo levar a alterações na temperatura da folha, que pode ser identificada pela câmera termográfica. Um estudo foi capaz de estabelecer relação das temperaturas encontradas pela câmera termográfica com o potencial hídrico da folha de trigo. As imagens possibilitaram diferenciar a resposta do trigo devido à escassez de água e devido à elevada salinidade do solo (HACKL et al., 2012). Sirault; James; Furbank (2009) relataram em seus estudos que a termografia refletiu com precisão o estado fisiológico de plantas de trigo e cevada estressadas por altas concentrações salinas, e que o aumento da temperatura devido ao estresse resultou em diminuição proporcional da condutância estomática.

Outro estudo com sementes de trigo utilizou termografia para identificar tolerância ao estresse osmótico e, dessa forma, facilitar a fenotipagem para seleção de plantas com tolerância à salinidade (JAMES; SIRAULT, 2012). Gómez-Bellot et al. (2015) trabalharam com imagens termais da planta *Euonymus japonica* irrigada com água salina e estabeleceram relação entre as temperaturas e a atividade estomática. Os autores destacam a possibilidade da utilização das temperaturas do dossel como indicador preciso para manejo do sistema de irrigação.

Na cultura do pepino, a termografia foi usada para acompanhar a dinâmica de resposta dessa cultura à infecção por *Fusarium*, e a correlação negativa da temperatura foliar com a taxa de respiração que ocorre nesse processo (WANG et al., 2012; 2013). Além disso, Sun et al. (2017) também utilizaram câmeras termográficas para comparar a murcha causada por *Fusarium* com a

murcha causada por estresse hídrico em pepino. Os autores notaram que as repostas foram diferentes, sendo que no caso da infecção as temperaturas começam a se elevar no centro da folha, enquanto plantas estressadas por falta de água apresentam temperaturas elevadas inicialmente no bordo foliar.

2.5.2. Clorofilômetro

O clorofilômetro é um aparelho portátil que mede o índice relativo de clorofila (IRC) utilizando dois diodos emissores de luz, sendo um com emissão de ondas na região do vermelho, que é associada à atividade da clorofila, e outro na região do infravermelho, para fazer a compensação nas diferenças de espessura e conteúdo hídrico da folha. Um sensor é capaz de detectar a radiação transmitida através das folhas, dados a partir dos quais o aparelho irá fornecer, de maneira indireta, o teor de clorofila (MARKWELL; OSTERMAN; MITCHELL, 1995; BARBIERI JUNIOR et al., 2012).

O índice relativo de clorofila pode ser relacionado com o teor de nitrogênio foliar e outros parâmetros importantes de cultivo. Dantas et al. (2012) encontraram relação positiva entre as medições do clorofilômetro e o teor de nitrogênio foliar em cacaueiro, e relações negativas entre o índice relativo de clorofila com a área foliar e a massa foliar específica das plantas de cacau. Pocojeski et al. (2012) encontraram resultados semelhantes ao aferir o teor de nitrogênio foliar em arroz por meio do clorofilômetro, com altos índices de correlação entre essas variáveis. Estudos utilizando clorofilômetro em feijoeiro buscaram estimar a necessidade da adubação nitrogenada em cobertura pelas leituras do aparelho, e apresentaram resultados de melhoria de eficiência na utilização de adubo, diminuindo gastos e riscos ambientais (MAIA et al., 2012; MAIA et al., 2013).

Trabalhos semelhantes estudaram milho e pepino. Hurtado et al. (2011) encontraram resultados interessantes com a utilização de parcela de referência no cultivo de milho, ou seja, uma parcela com a adubação nitrogenada recomendada e cujas leituras do clorofilômetro serviram para estimar quando adubar as outras parcelas. Entretanto, os autores relataram a necessidade de ajustar o índice de suficiência de nitrogênio para o milho, já que o valor de 0,95 superestimou a dosagem do nutriente. Padilla et al. (2017) encontraram estimativas confiáveis de *status* de nitrogênio na planta e de rendimento para a cultura do pepino; com os maiores coeficientes de relação nos estádios mais avançados da cultura. Os autores sugerem que valores de suficiência ajustados para as fases da cultura podem resultar em melhorias na administração do fertilizante nitrogenado.

A diferenciação entre o índice relativo de clorofila *a* e clorofila *b* fornecido por alguns tipos de clorofilômetro são importantes para avaliar respostas fisiológicas das plantas. Rhein & Silva (2017) avaliaram a relação de clorofila *a*/*b* para cana-de-açúcar e não encontraram diferença significativa

dessa em função do aumento da dose de nitrogênio aplicada. Entretanto, o estudo apresentou aumento dessa relação ao longo do tempo, resultado atribuído ao processo de senescência da planta.

Jinwen et al. (2009) observaram queda na relação de clorofila *a/b* com o aumento do conteúdo de clorofila e das leituras do índice relativo de clorofila total no arroz, o que os autores apontaram como sendo devido ao aumento da aplicação de nitrogênio. A variação na relação de clorofila *a/b* pode ainda estar relacionada com as condições de luminosidade, tendo sido encontrados resultados de redução na relação *a/b* com o aumento do sombreamento em folhas de maracujazeiro, acompanhado de aumento no teor de clorofila total (ZANELLA; SONCELA; LIMA, 2006).

Assim, o clorofilômetro se apresenta como um instrumento de grande valia ao medir o índice relativo de clorofila na planta de forma rápida e sem a destruição do material vegetal. Ainda se fazem necessárias pesquisas para que a relação entre esse índice e o teor de nitrogênio na planta seja estabelecida de forma precisa. Isso porque essa relação pode ser diferente para cada cultura e sistema de produção. Apesar disso, esse instrumento apresenta grande potencial para utilização na tomada de decisão no campo no que se refere à adubação nitrogenada, seja ela por fertilizantes nitrogenados, seja pelo seu fornecimento através dos efluentes tratados das agroindústrias.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Delineamentos experimentais

O experimento *in vitro* para a seleção da cepa de *Trichoderma* spp. a ser utilizada no cultivo do pepineiro foi feito no esquema fatorial (3x5), com três cepas do fungo (*Trichoderma atroviride*, *Trichoderma asperellum* e *Trichoderma harzianum*) e cinco doses do efluente tratado de laticínio no meio de cultivo (0, 25, 50, 75 e 100%), em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições para a avaliação do índice de velocidade de crescimento micelial e três repetições para as avaliações de esporulação e de taxa de germinação.

O cultivo do pepineiro em campo foi feito em esquema fatorial (4x2)+2, sendo quatro diluições do efluente tratado de laticínio (25, 50, 75 e 100%) em água de abastecimento e sem adubação nitrogenada de cobertura e um tratamento controle irrigado com água de abastecimento e adubação nitrogenada recomendada para a cultura; em fatorial com a presença ou ausência de inóculo com *Trichoderma asperellum*, resultando em oito tratamentos e dois controles, distribuídos de forma casualizada em quatro blocos com uma repetição por bloco.

3.2. Efluente de Laticínio

3.2.1. Tratamento

O efluente utilizado no presente trabalho consistiu na água residuária da Seção de Laticínios da Prefeitura do *campus* USP "Fernando Costa" (Pirassununga, SP), gerado no processo de produção de queijos, iogurtes, sorvetes, doce de leite e outros subprodutos do leite de vaca e de cabra, e do processo de limpeza da fábrica. O efluente bruto foi captado para tratamento em processo anaeróbio em reator de batelada (*Anaerobic Sequencing Batch Reactor* – ASBR), com biomassa suspensa e tempo de ciclo de 48 horas. Em seguida, o efluente passou por filtro composto de manta geotêxtil do tipo não tecido, com abertura de filtração (O95) de 0,16 mm e permissividade de 2,35 s^{-1} e pedregulho tamanho sete (0,07 m), com taxa de filtração de 4,17 m^3 m^{-2} h^{-1} (MACAN et al., 2017). Em seguida o efluente passou por desinfecção microbiológica em um sistema composto por cinco lâmpadas ultravioletas de baixa pressão com vapor de mercúrio, 15W de capacidade nominal, e potência disponível em radiação UV-C de 4,9 W. A passagem do efluente pelo sistema de desinfeção ocorreu em um fluxo laminar de 4 cm de altura e tempo de exposição de 20 segundos, com dose recebida de 2,44 Wh m^{-3} (SUNDEFELD JUNIOR et al., 2014).

3.2.2. Caracterização

Amostras de 1000 mL do efluente foram coletadas quinzenalmente, conforme metodologia do Guia Nacional de Coleta e Preservação de amostras de água (CETESB/ANA, 2011) e tiveram os valores de pH e condutividade elétrica determinados por meio de peagâmetro e condutivímetro, respectivamente. As amostras foram então analisadas de acordo com a metodologia proposta por APHA/AWWA/WEF (2012) para demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade e acidez, nitrogênio total Kjeldahl (N-TKN), nitrogênio amoniacal ($N\text{-}NH_4^+$), fósforo total e solúvel, sólidos suspensos totais e sólidos solúveis totais no Laboratório de Biotecnologia Ambiental (FZEA/USP), em Pirassununga, SP. Para análise de Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} e K^+ as amostras de efluente foram encaminhadas para o Laboratório de Análise Ambiental e Geoprocessamento (CENA/USP), em Piracicaba, SP.

3.3. Seleção da cepa de *Trichoderma* spp.

Foram avaliadas três cepas de *Trichoderma* spp. selecionadas por França et al. (2017) para produção de AIA (ácido indolacético) e solubilização de fosfato. São elas: *Trichoderma atroviride* (GEBio – F) e *Trichoderma asperellum* (GEBio – n R) e *Trichoderma harzianum* (ESALQ 1306 – Trichodermil®, M). Essas cepas foram avaliadas em relação a sua tolerância a ambiente salinizado pela presença de efluente tratado de laticínio, o mesmo a ser utilizado na irrigação do pepineiro, com o intuito de selecionar uma cepa adequada para inóculo no solo durante o cultivo. A seleção foi realizada por meio de testes no laboratório de Biossistemas, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP): avaliação do Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM), contagem de esporos e taxa de germinação dos esporos, segundo metodologia adaptada de Dias et al. (2005).

Para as avaliações as cepas de *Trichoderma* spp. foram inicialmente cultivadas em placa de Petri contendo meio de cultura batata dextrose ágar (BDA) com diferentes doses de efluente tratado de laticínio diluído em água destilada: 0, 25, 50, 75 e 100%. Os níveis de salinidade obtidos a partir dessas diluições em cada avaliação foram medidos por condutivímetro imediatamente antes da esterilização em autoclave e estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Condutividades elétricas médias dos meios de cultivo para os ensaios de IVCM, esporulação e germinação nos diferentes tratamentos.

EF (%)	IVCM	Esporulação e Germinação
	Condutividade elétrica (dS m^{-1})	
0	0,95 ± 0,05	0,94 ± 0,06
25	2,05 ± 0,26	2,09 ± 0,36
50	3,20 ± 0,46	3,29 ± 0,62
75	4,30 ± 0,66	4,44 ± 0,88
100	5,41 ± 0,85	5,60 ± 1,13

EF: dose de efluente no meio de cultivo. IVCM: índice de velocidade de crescimento micelial. Fonte: própria autoria.

Os meios de cultivo foram autoclavados por 20 minutos a 1 atm e vertidos em placas de Petri esterilizadas, com três repetições para cada tratamento. O inóculo das cepas foi realizado a partir de discos de 5 mm de meio de cultura BDA contendo o fungo ativo, que foram transferidos de forma estéril para as placas de Petri, na quantidade de 1 disco por placa. As placas foram vedadas e mantidas em incubadora BOD a 27 °C e com fotoperíodo de 12 horas.

Para avaliação do IVCM os diâmetros das colônias foram medidos a cada 24 horas com o auxílio de um paquímetro digital em posição ortogonal. As medidas foram tomadas até que a primeira placa de Petri fosse totalmente ocupada pela colônia, o que ocorreu após 72 horas. Então o índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM) foi calculado pela Equação 1 (OLIVEIRA, 1991 apud DIAS et al., 2005):

$$\mathrm{IVCM} = \sum\left[\frac{(\mathrm{D}-\mathrm{Da})}{\mathrm{N}}\right] \qquad \text{Equação (1)}$$

Em que,

D: diâmetro médio atual da colônia

Da: diâmetro médio da colônia do dia anterior

N: número de dias após a inoculação.

Esse ensaio foi realizado em quintuplicata.

Finda a avaliação de crescimento micelial, as placas foram mantidas em BOD nas mesmas condições de crescimento citadas anteriormente até 10 dias após o inóculo, a partir de quando as placas de Petri foram levadas à geladeira até a contagem de esporos. A contagem foi realizada adicionando-se 10 mL de água destilada por placa de Petri, que foram raspadas com auxílio de alça de Drigalski até que todos os esporos estivessem em suspensão. Em seguida, contou-se o número de esporos para cada tratamento e repetição com o auxílio de câmara de Newbauer e microscópio óptico.

A suspensão obtida pela raspagem das placas foi diluída conforme necessário para que se obtivesse uma concentração de esporos de 2 x 10^5 esporos mL^{-1}. Uma alíquota de 50 µL foi transferida para lâminas de microscópico cobertas com uma camada de meio de cultura ágar-ágar 1% e sobre papel toalha umedecido dentro de placas de Petri. Após 12 horas em BOD a 27°C, as lâminas foram levadas ao microscópio óptico para contagem de 300 esporos por lâmina e, dentre esses, contou-se o número de esporos germinados. Foram considerados germinados aqueles esporos cujo tubo germinativo apresentou pelo menos 50% do tamanho do mesmo. A partir das contagens foi calculada a taxa de germinação.

Ambos os ensaios de contagem de esporos e taxa de germinação foram realizados em triplicata.

3.4. Local de cultivo do pepineiro

O experimento foi conduzido entre os meses de março e julho de 2019, em estufa agrícola do Laboratório de Tecnologia de Produção e Sanidade Vegetal, do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), na cidade de Pirassununga (SP), localizada a 21°59'S e 47°25'O, e 627 metros de altitude. O clima da região é do tipo Cwa na classificação de Köppen, ou seja, clima subtropical quente de inverno seco. A temperatura e precipitação médias anuais são 20,8 °C e 1089 mm, respectivamente. A temperatura e umidade relativa do ar no interior da estufa foram monitoradas por estação meteorológica automática, marca *Anova Tecnologia*, modelo DRIA-0511, com dados registrados a cada 10 minutos, que forneceram os valores semanais de temperatura e umidade média, máxima e mínima (Figuras 1 e 2).

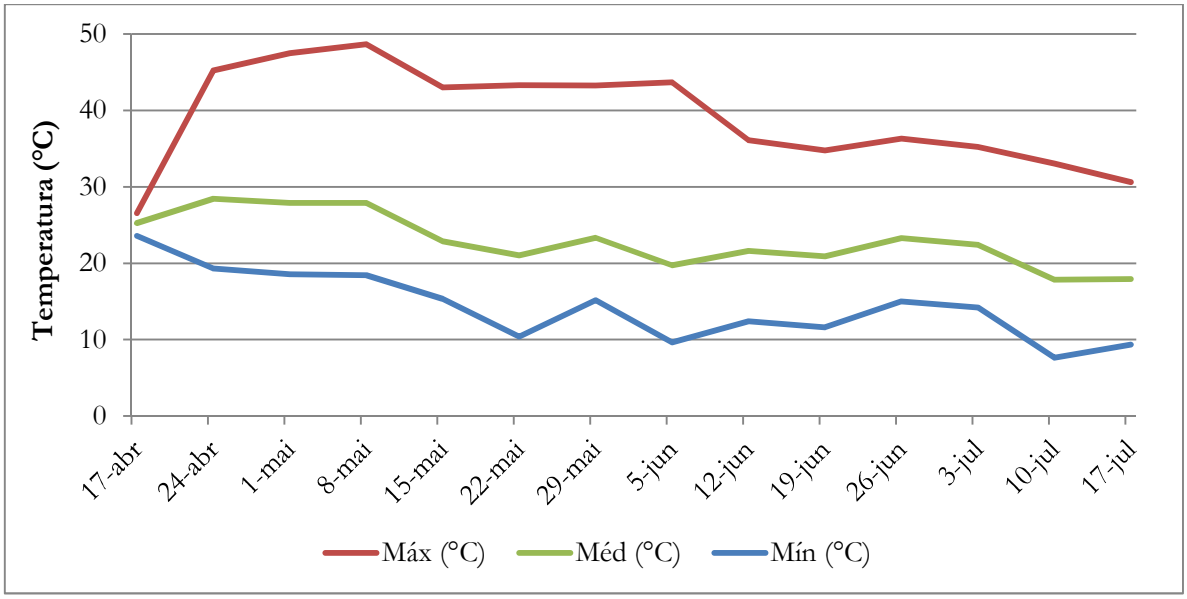

Figura 1. Temperaturas máxima, média e mínima no interior da estufa no período de 17/04/2019 a 19/07/2019. Fonte: própria autoria.

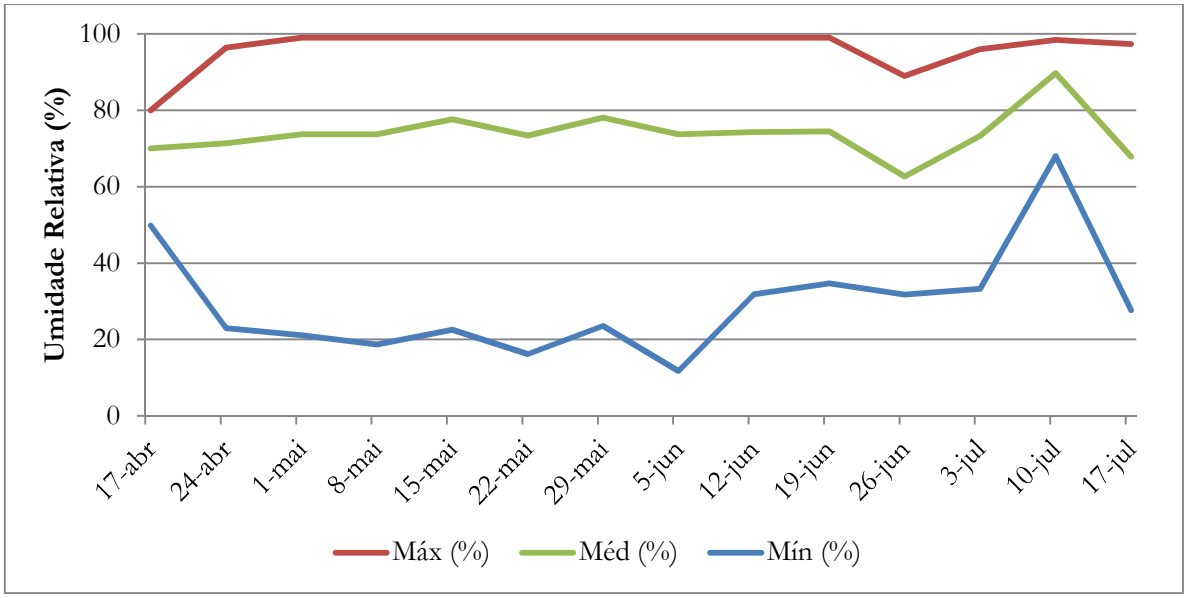

Figura 2. Umidades relativas do ar máxima, média e mínima no interior da estufa no período de 17/04/2019 a 19/07/2019. Fonte: própria autoria.

O delineamento experimental (4x2)+2 resultou em oito tratamentos e dois controles, distribuídos de forma casualizada em quatro blocos com uma repetição por bloco (Figura 3). As parcelas experimentais consistiram em caixas de 0,5 m³ e 1 m² de superfície com 4 plantas por parcela.

BLOCO 1	
Parcela	Tratamento
10	0% CTR
9	25% STR
8	100% CTR
7	100% STR
6	50% STR
5	75% STR
4	25% CTR
3	75% CTR
2	0% STR
1	50% CTR

BLOCO 2	
Parcela	Tratamento
20	75% CTR
19	0% STR
18	75% STR
17	25% STR
16	100% CTR
15	50% STR
14	0% CTR
13	100% STR
12	50% CTR
11	25% CTR

BLOCO 3	
Parcela	Tratamento
30	25% CTR
29	50% CTR
28	75% STR
27	50% STR
26	0% STR
25	25% STR
24	100% CTR
23	75% CTR
22	100% STR
21	0% CTR

BLOCO 4	
Parcela	Tratamento
40	25% STR
39	0% STR
38	100% STR
37	75% STR
36	75% CTR
35	0% CTR
34	50% STR
33	25% CTR
32	100% CTR
31	50% CTR

Figura 3. Mapa experimental com a distribuição aleatorizada dos dez tratamentos em cada bloco. 0%: controle (água de abastecimento sem efluente); 25%, 50%, 75% e 100%: doses de efluente diluídas em água de abastecimento; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Fonte: própria autoria.

3.5. Cultivo do pepineiro

O pepineiro escolhido para esse experimento foi do tipo japonês por suas características de alta produtividade e adequação em cultivo protegido, além da sua alta aceitação no mercado. O híbrido utilizado foi o Tikara F1, da Agristar®, que apresenta resistência a *Podosphaera xanthii* (oídio). A planta apresenta crescimento indeterminado e elevada brotação, sendo os frutos firmes e crocantes, de coloração verde-escura brilhante, com espinhos brancos (AGRISTAR, 2019).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido contendo substrato orgânico. Após por 23 dias as mudas foram transplantadas em estufa de acordo com as parcelas experimentais. As mudas foram transplantadas aos 23 dias após a semeadura, em 17/04/2019. A densidade de cultivo foi de 4 plantas m^{-2}, ou seja, 4 plantas por parcela, espaçadas em 80 cm entre as linhas e entre plantas, totalizando 160 plantas em cultivo protegido.

O Latossolo Vermelho Distrófico utilizado no cultivo foi caracterizado química e fisicamente (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado a análise físico-química do solo em pré-experimento ao cultivo do pepino tipo japonês.

Amostra	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	M.O.	C.T.	SB
	$CaCl_2$	(mg dm^{-3})		-------(mmolc dm^{-3})-------					-----(g kg^{-1})-----		(mmolc dm^{-3})
0-30 cm	4,60	6	13	1,30	10	4	2,40	26	14	7,90	15

Continuação

Amostra	CTC	V	m	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia Total	Argila	Silte
	(mmolc dm^{-3})	--(%)--		----------(mg dm^{-3})----------					----------(g dm^{-3})----------		
0-30 cm	42	36	14	0,26	2,60	32	5,20	0,80	297	545	158

Fonte: própria autoria.

A calagem foi realizada visando elevar a saturação por bases (V) a 70%. As adubações foram realizadas segundo a recomendação para o pepineiro japonês (TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015), conforme Tabela 3.

Tabela 3. Adubação realizada para o pepineiro no transplantio e em cobertura.

Nutriente	Recomendado[1]	Aplicado		
		Mineral	Composto	Total
	kg ha^{-1}			
Plantio				
Nitrogênio	30 - 40	-	53,6	53,6
P_2O_5*	280	280	168	448
K_2O*	120	120	166,4	286,4
Cobertura[2]				
Nitrogênio[3]	100	100	-	100
P_2O_5	40	40	-	40
K_2O	100	100	-	100

*Valores selecionados de acordo com a análise de solo. [1]Doses máximas recomendadas (TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015). [2]Aplicação parcelada em três vezes. [3]Aplicação para os tratamentos controles (0% CTR – com *Trichoderma asperellum* e 0% STR – sem *T. asperellum*). Fonte: própria autoria.

A adubação nitrogenada de plantio foi realizada para todos os tratamentos utilizando-se 200 g de composto por berço de plantio da muda. O composto orgânico foi caracterizado e apresentou 0,67 g kg^{-1} de nitrogênio (Anexo A). A aplicação do nitrogênio em cobertura foi feita somente para os tratamentos testemunha, na forma de ureia. Tanto para adubação de plantio quanto para adubação de cobertura foram utilizados os adubos superfosfato triplo e cloreto de potássio, em todos os tratamentos. A aplicação de micronutrientes via foliar foi realizada para todos os tratamentos, nas datas de 49 e 66 dias após o transplantio (DAT), na concentração 3%. O fertilizante mineral foliar utilizado continha concentrações de 16% de nitrogênio, 1,5% de magnésio, 8,5% de enxofre, 0,5% de boro, 0,2% de ferro, 3% de manganês, 9% de zinco.

O pepineiro foi conduzido de forma tutorada com o auxílio de fitilhos e com uma haste principal. A poda lateral foi realizada sempre que necessário e de forma a manter os ramos laterais com no máximo três folhas. O desponte foi realizado quando a planta tinha entre 18 e 20 internódios. A colheita do pepino se iniciou aos 34 dias após o transplantio (DAT), em 21/05/2019, e se estendeu até o final do ciclo de cultivo, aos 93 DAT, em 19/07/2019.

A partir dos 12 DAT, iniciou-se a aplicação semanal de óleo de neem 0,5% para o manejo de pragas, tais quais a mosca branca, observada no início do ciclo de cultivo, e o pulgão, observado ao longo de todo ciclo, e com ataques mais severos no bloco 4 ao final do ciclo. A aplicação de calda bordalesa a 1% foi realizada quinzenalmente para combater os sintomas de míldio identificados durante o ciclo de cultivo. Também foi realizada a aplicação do preparado homeopático *Carbo vegetabilis* aos 63 DAT, visando auxiliar na sanidade das plantas. Na Tabela 4 é possível verificar os tratos culturais e outras ocorrências ao longo do ciclo de cultivo.

Tabela 4. Calendário de atividades durante o ciclo de cultivo do pepineiro.

Semanas após o transplantio																		
ns	**ns**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**Ocorrência**	**Frequência**
25-mar	**17-abr**	**24-abr**	**1-mai**	**8-mai**	**15-mai**	**22-mai**	**29-mai**	**5-jun**	**12-jun**	**19-jun**	**26-jun**	**3-jul**	**10-jul**	**17-jul**	**24-jul**	**31-jul**		
																	Semeio	Única
																	Transplantio	Única
																	Aplicação ON	Semanal
																	Inóculo TR	2 vezes
																	Tutoramento	sqn
																	Aplicação de CB	Quinzenal
																	Irrigação com Efluente	A cada 48h
																	Adubação de cobertura	3 vezes
																	Colheita	sqn
																	Leituras CL	Quinzenal
																	Leituras com a CT	Quinzenal
																	Adubação foliar	2 vezes
																	Coleta - análise foliar	Única
																	Aplicação de CV	Única
																	Coleta PA	Única
																	Coleta de solo	Única
																	Coleta de raízes	Única

ns: não de se aplica; ON: óleo de Neem; TR: *Trichoderma asperellum*; CB: calda bordalesa; CL: clorofilômetro; CT: câmera termográfica; CV: *Carbo Vegetabilis*; PA: parte área da planta; sqn: sempre que necessário. Fonte: própria autoria.

3.6. Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada por um sistema de gotejamento superficial, com gotejadores de 16 mm (modelo NaanTif 25, marca NaanDanJain), integrados e não compensantes, com duas linhas de 1 m por caixa, espaçadas em 0,35 m entre si e em 0,20 m entre os gotejadores, totalizando 10 gotejadores por parcela. Antes de iniciar o experimento, foi realizado o teste de uniformidade para todas as parcelas para a Uniformidade Estatística de Bralts & Kesner (1983), que apresentou resultado classificado como "Muito bom" (Ues = 88,0). As vazões obtidas no teste de uniformidade foram utilizadas para o cálculo da vazão média, que foi de 2,3 L h^{-1}.

Para possibilitar o manejo de irrigação a partir do potencial matricial do solo, o primeiro passo foi determinar a curva característica de retenção de água no solo (CCRAS). Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas de solo na profundidade de 0-20 cm em triplicata, e estas enviadas para o Laboratório de Física do Solo (Departamento do Biossistemas, ESALQ/USP), Piracicaba, SP, onde foram submetidas à análise em câmera de pressão de Richards para determinação da umidade do solo em diferentes pontos de tensão. Os dados obtidos foram ajustados para elaboração da CCRAS pelo *software* RETC (VAN GENUCHTEN et al., 2019) versão 6.02, modelo de Van Genuchten (1980). Assim determinou-se a umidade a base de volume na capacidade de campo (0,335 cm^3 cm^{-3}), a umidade crítica (0,228 cm^3 cm^{-3}) e a umidade no ponto de murcha permanente (0,172 cm^3 cm^{-3}).

Tensiômetros foram instalados no centro das parcelas dos blocos 1, 3 e 4, a 0,20 m de profundidade. As leituras do potencial mátrico foram obtidas a cada 48h por tensímetro e as médias das tensões de cada tratamento foram correlacionadas com a umidade à base de volume pela CCRAS, possibilitando calcular a lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo à capacidade de campo. As lâminas de irrigação aplicadas foram monitoradas por hidrômetros instalados nos dutos de irrigação logo após cada uma das válvulas de acionamento dos tratamentos.

Durante as duas primeiras semanas após o transplantio, as mudas de todas as parcelas foram irrigadas com água de abastecimento para garantir o desenvolvimento inicial e o estabelecimento do estande. Neste período foi aplicada uma lâmina média de 66,93±3,77 mm. A irrigação com efluente iniciou-se na terceira semana após o transplantio. As aplicações das lâminas de irrigação foram realizadas nas proporções de água de abastecimento e efluente tratado de laticínio, de acordo com os tratamentos.

3.7. Inóculo com *Trichoderma* spp.

Os esporos de *Trichoderma asperellum* a serem utilizados para inóculo no solo de cultivo do pepineiro foram obtidos pelo processo de multiplicação, realizando-se a transferência, de forma

estéril, de discos de 5 mm de meio de cultura BDA contendo a cepa para placas de Petri com o mesmo meio de cultura, ambos esterilizados em autoclave. As placas foram vedadas e mantidas em incubadora BOD a 27 °C e com fotoperíodo de 12 horas por 15 dias.

Após esse período, obteve-se a suspensão de esporos para inóculo por raspagem completa dessas placas após a adição de 10 mL de água destilada por placa. A suspensão de esporos foi padronizada na concentração 0,5 x 10^7 esporos mL^{-1}, e foram aplicados 120 mL por planta aos 15 DAT. Aos 35 DAT foi realizada uma segunda aplicação do agente biológico, com suspensão de esporos padronizada em 1 x 10^7 esporos mL^{-1} e aplicados 120 mL por planta.

3.8. Imagens termográficas e índice relativo de clorofila

Aos 23 DAT, foi realizada a primeira coleta de dados de índice relativo de clorofila e de imagens termográficas das folhas. As coletas foram feitas a cada 15 dias (10/mai, 24/mai, 7/jun, 21/jun, 5/jul e 19/jul), pela manhã e sempre na 5ª folha expandida a partir do ápice de cada planta, totalizando quatro folhas por parcela.

As imagens termográficas foram obtidas por câmera termográfica FLIR E60, registrando-se, a cada bloco, a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar durante a obtenção das imagens, necessárias no processamento das imagens. Para obtenção da temperatura média de cada parcela as imagens foram processadas em software próprio, o FLIR Tools, no qual foi possível selecionar a área da folha para obtenção da temperatura média, calculada utilizando-se todos os pixel dentro da elipse alocada no centro da folha. A elipse era sempre alocada a partir do centro da folha, ocupando a maior área possível sem que tocasse os bordos foliares (Figura 4). Na elipse selecionada foram obitdas a temperatura máxima e mínima. A emissividade utilizada foi de 0,98, recomendada para a cultura (LÓPEZ et al., 2012).

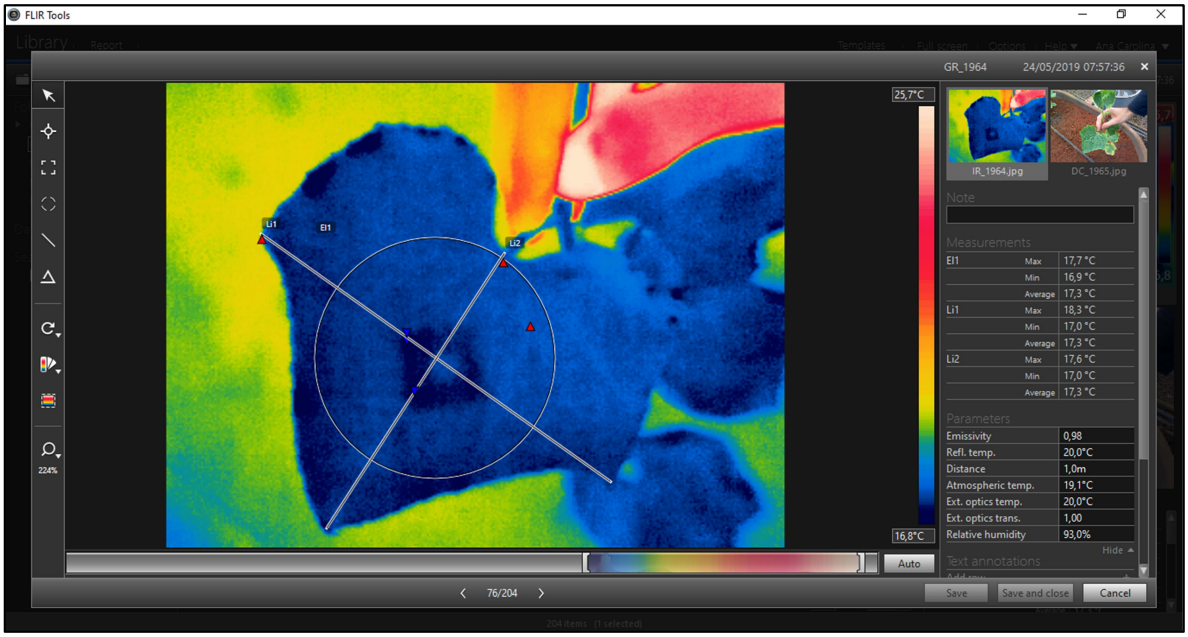

Figura 4. Processamento de imagem termográfica no *software* FLIR Tools. Fonte: própria autoria.

Os Índices Relativos de Clorofila (IRC) *a*, *b* e total foram obtidos com o clorofilômetro, modelo ClorofiLOG® CFL1030 (Falker Automação Agrícola, Brasil), realizando-se uma leitura por folha, sempre no centro da folha e evitando-se a nervura. Os valores para parcela foram obtidos pela média dos valores coletados nas quatro folhas, uma em cada planta da parcela.

3.9. Análises de plantas

A diagnose nutricional foi realizada coletando-se a 5ª folha a partir do ápice de cada planta (TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015), aos 54 dias após do transplantio (DAT), pouco mais de um mês após o início da irrigação com efluente, no meio do ciclo de cultivo. As folhas retiradas foram lavadas, pesadas e tiveram a sua área foliar medida com o auxílio de integrador de área LI-3100 (LI-COR®). As folhas foram secas em estufa com circulação forçada a 65 °C por 72h, pesadas, moídas em moinho de Wiley e encaminhadas para análise química no Laboratório de Ciências Agrárias/Solos (FZEA/USP), Pirassununga, SP.

Os frutos colhidos entre a nona e a décima primeira semana após o transplantio foram utilizados para avaliação da taxa de matéria seca. Os frutos foram pesados frescos, cortados em cubos e levados à estufa de circulação forçada a 65°C até peso constante. Após a secagem os frutos foram novamente pesados.

Ao final do ciclo de cultivo, aos 93 DAT, os últimos frutos foram colhidos e avaliados. A parte aérea de cada planta foi separada por parcela e acondicionada em sacos de papel e levadas para estufa de circulação forçada a 65 °C para secagem. Findo esse período, a matéria seca da parte aérea foi pesada e registrada. O mesmo processo foi realizado para as raízes das plantas, porém esse

processo para raízes foi realizado aos 105 DAT, pois foi necessário esperar a redução da umidade do solo, possibilitando a retirada das raízes de forma a minimizar o rompimento dessas.

3.10. Colheita e classificação de frutos

Os frutos foram colhidos sempre que atingiam o tamanho comercial, entre 0,21 e 0,23 m, conforme recomendação de Carvalho et al. (2013), e classificados entre comerciais e não comerciais, de acordo com a tortuosidade definida pela relação A/B (Figura 5) que deve ser inferior a 0,85; e com a presença ou ausência de quaisquer outros defeitos (ponta fina, podridão, descoloração, mosqueamento, entre outros). Os frutos nos quais se observava algum defeito eram colhidos no momento dessa constatação, geralmente antes de atingirem o tamanho comercial. Todos os frutos foram separados de acordo com o tratamento correspondente, classificados, contados e pesados.

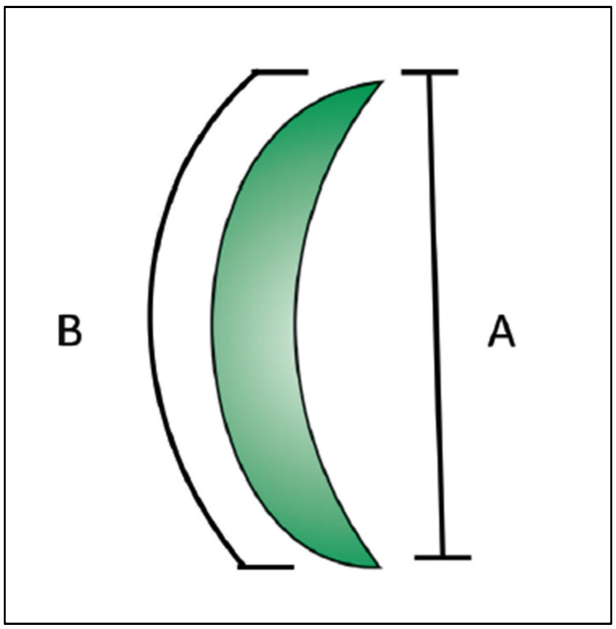

Figura 5. Relação A/B para tortuosidade em pepino. Fonte: Carvalho et al. (2013).

3.11. Extrato de saturação do solo

Ao final do cultivo do pepineiro, foram coletadas amostras de solo por parcela (0-0,30 m), com pelo menos 0,5 kg cada. As amostras foram analisadas realizando o processamento em pastas de saturação para obtenção do extrato aquoso do solo, segundo a metodologia de Richards (1954). Foram então realizadas as leituras de pH e condutividade elétrica com auxílio de peagâmetro e condutivímetro, respectivamente.

3.12. Análises estatísticas

A análise estatística foi realizada no programa SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2011). Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) ao nível de 5% de probabilidade. Havendo interação entre os fatores foram analisados os desdobramentos.

Para a seleção do fungo de *Trichoderma* spp. realizou-se o teste de Tukey ($p<0,05$) para comparação entre as cepas e análise de regressão polinomial para comparação entre as doses do efluente tratado de laticínio.

As análises relacionadas ao cultivo do pepineiro do tipo japonês foram realizadas comparando-se as médias para o fator inóculo de *Trichoderma asperellum* (dados qualitativos) pelo Teste t, e comparando-se as médias para o fator doses de efluente (dados quantitativos) por regressão polinomial. Para comparação de cada dose com o respectivo tratamento controle (0% de efluente, com ou sem a aplicação de *T. asperellum*) foi realizada análise de contraste pelo Teste de Scheffé.

Nas avaliações realizadas ao longo do tempo (Índice Relativo de Clorofila *a*, *b* e Total), este foi considerado como sub-parcela.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efluente tratado de laticínio

A caracterização do efluente tratado de laticínio utilizado na seleção da cepa de *Trichoderma* spp. e na irrigação do pepineiro é apresentado na Tabela 5, assim como a caracterização da água de abastecimento do local do experimento utilizada para irrigação dos controles e para diluição do efluente nos tratamentos 25, 50 e 75%.

Tabela 5. Caracterização físico-química do efluente tratado de laticínio (EF) em comparação com a água de abastecimento (AB).

Parâmetro	AB[1]	EF[2]
N-NTK (mg L^{-1})	19,46 ± 2,47	96,89 ± 13,05
N-NH_4^+ (mg L^{-1})	0,00 ± 0,00	80,07 ± 14,07
N-NO_3 (mg L^{-1})	0,26 ± 0,05	0,71 ± 0,75[1]
N-NO_{2-} (mg L^{-1})	0,00 ± 0,00	0,05 ± 0,05[1]
P-total (mg L^{-1})	0,21 ± 0,17	9,09 ± 3,20
P-solúvel (mg L^{-1})	0,05 ± 0,03	2,28 ± 0,65
K^+ (mg L^{-1})	0,23 ± 0,05	114,00 ± 24,00
Ca^{2+} (mg L^{-1})	6,85 ± 1,06	3,60 ± 0,13
Mg^{2+} (mg L^{-1})	1,83 ± 0,27	21,70 ± 0,01
Na^+ (mg L^{-1})	1,78 ± 0,65	234,33 ± 30,66
Mn (mg L^{-1})	-	0,03 ± 0,01
Fe (mg L^{-1})	-	0,06 ± 0,01
DQO (mg L^{-1})	-	758,59 ± 377,51
Sólidos Totais (g L^{-1})	-	3,14 ± 0,52
Sólidos Totais Fixos (g L^{-1})	-	2,13 ± 0,18
Sólidos Totais Voláteis (g L^{-1})	-	1,01 ± 0,37
Alcalinidade Total	-	1812,14 ± 325,50
Acidez Volátil	-	502,20 ± 315,99
RAS $(mmol/L)^{-1/2}$	0,16 ± 0,05	14,45 ± 1,72
C.E. (dS m^{-1})	0,04 ± 0,02	4,13 ± 0,35
pH	6,92 ± 0,18	7,79 ± 0,13

N-NTK: nitrogênio total Kjeldahl; DQO: demanda química de oxigênio; RAS: razão de adsorção de sódio; C.E.: condutividade elétrica. [1]Fonte: Donatti et al. (2017). [2]Fonte: Própria autoria.

É possível observar desvios padrões altos nos parâmetros de caracterização do efluente, o que se deve à heterogeneidade do efluente bruto descartado pelo laticínio. Esse varia de acordo com os derivados lácteos, produzidos por demanda, e com os produtos utilizados na limpeza dos equipamentos e da fábrica. Além disso, acontecem variações no próprio tratamento do efluente,

devido à sazonalidade das condições de temperatura ambiente, por exemplo, que afetam a cinética bioquímica do reator (LIU; CHEN; ZHU, 2018), alterando a atividade metabólica da biomassa e, consequentemente, a remoção de DQO e nutrientes. Ainda assim, a DQO média do efluente bruto de 4.124,35 mg L^{-1} foi removida com uma eficiência média de 81,64% durante o período experimental.

Apesar das variações, destaca-se a presença em grande quantidade de sódio, em comparação com a água de abastecimento, concentrações típicas de efluente de laticínio, consequência da salga no processo de produção de queijos. A alta concentração de sódio, somada a outros íons em menor concentração, faz com que o efluente tenha alta condutividade elétrica (CE), com média de 4,13 dS m^{-1} na irrigação com efluente 100% e estimativas de 3,09; 2,07 e 1,03 dS m^{-1} na irrigação com 75, 50 e 25%, respectivamente. Dessa forma, segundo Maas & Hoffman (1977), haveria perda de produtividade do pepineiro nos tratamentos 50, 75 e 100%, devido à salinidade água de irrigação, pois o pepineiro tolera condutividades elétricas na água de irrigação de até 1,70 dS m^{-1} sem perdas teóricas.

O valor médio da razão de adsorção de sódio (RAS) encontrado para o efluente é alto em comparação a estudos anteriores que também caracterizaram esse efluente, que foram de 1,86 (GOMES et al., 2017) e 5,19 (BRICHI, 2018). Isso se deve à alta concentração de sódio e à baixa concentração de cálcio, em comparação com esses mesmos estudos. A concentração de sódio na água de irrigação deve ser, no máximo, até três vezes a concentração de cálcio, caso contrário corre-se o risco de ocorrer a dispersão das argilas do solo pelo excesso de sódio, gerando problemas de infiltração da água e vedação dos poros superficiais (AYERS; WESTCOT, 1989). O uso de diluições do efluente e a aplicação na irrigação por um curto período de cultivo não levou à acúmulos no solo, como veremos adiante. Mas, em casos como esse, pode-se fazer uso de técnicas de gessagem ou aplicação de enxofre ao solo (AYERS; WESTCOT, 1989), além do processo de fitorremediação (DONATTI et al., 2017).

O teor de sódio encontrado no efluente está acima da concentração máxima de 69 mg L^{-1} preconizado pela CETESB (2006) para aplicação em cultivo agrícola. Entretanto, águas residuárias com valores de concentração de sódio acima desse limite poderão ser autorizados pela CETESB mediante comprovação da viabilidade agrícola do uso na irrigação por meio de parecer de instituição de pesquisa oficial ou credenciada.

Apesar da concentração de nitrogênio amoniacal estar acima dos padrões de lançamento de efluente (máximo de 20 mg L^{-1}) estabelecidos pela resolução CONAMA (2011), a alta concentração desse nutriente é interessante para o reúso agrícola já que a planta pode aproveitá-lo. A própria orientação da CETESB (2006) determina que a concentração de nitrogênio acima da permitida na água de reúso poderá ser autorizada pelo órgão para utilização na agricultura desde que resguardada a proteção dos corpos d'água comprovada por estudos. O nitrogênio amoniacal é a forma predominante no efluente, o que se deve ao tratamento anaeróbio, no qual ocorre a decomposição do

nitrogênio da matéria orgânica na ausência de oxigênio, impossibilitando a transformação em nitrito e nitrato, que ocorre na presença de oxigênio. O fato da aplicação do N amoniacal ser realizada pela irrigação e com os valores de pH próximos da neutralidade minimizam as perdas por volatilização.

Gomes et al. (2015) encontraram melhores resultados de produtividade de beterraba com a irrigação com efluente anaeróbio em relação aos resultados encontrados para efluente aeróbio e água de abastecimento. Esses resultados se devem principalmente à maior concentração de nitrogênio no efluente anaeróbio em relação ao aeróbio, o que é comum devido à característica de maior velocidade de crescimento de biomassa e, consequentemente, de remoção de nutrientes no tratamento aeróbio. O tratamento irrigado com efluente anaeróbio apresentou ganhos em produtividade em relação ao controle, mesmo com 50% da adubação nitrogenada deste, gerando ganhos e economia de adubo mineral.

Análises microbiológicas e de sólidos suspensos e dissolvidos totais não foram realizadas, mas foram conduzidas em trabalhos anteriores com efluente do mesmo laticínio e tratado pelo mesmo sistema utilizado nesse trabalho. Ferreira et al. (2015) demonstraram a eficiência do sistema de desinfeção por ultravioleta para o efluente e para beterraba irrigada com esse efluente. No caso o pepino o risco de contaminação microbiológica é ainda menor, pois devido ao sistema de irrigação por gotejamento e ao cultivo tutorado do pepineiro japonês, os frutos não entram em contato direto com o efluente tratado de laticínio. Macan et al. (2017) avaliaram a classificação do efluente em relação ao potencial de entupimento de emissores e relataram potencial baixo e moderado em relação à quantidade de sólidos suspensos e dissolvidos, respectivamente. Além disso, os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, de Christiansen e estático foram maiores do que 96%, considerados excelentes.

4.2. Seleção da cepa de *Trichoderma* spp.

Quando submetidas ao crescimento em ambiente com efluente tratado de laticínio, as cepas de *Trichoderma* spp. tiveram redução do seu crescimento micelial, apresentando redução linear com o aumento de efluente no meio (Figura 6).

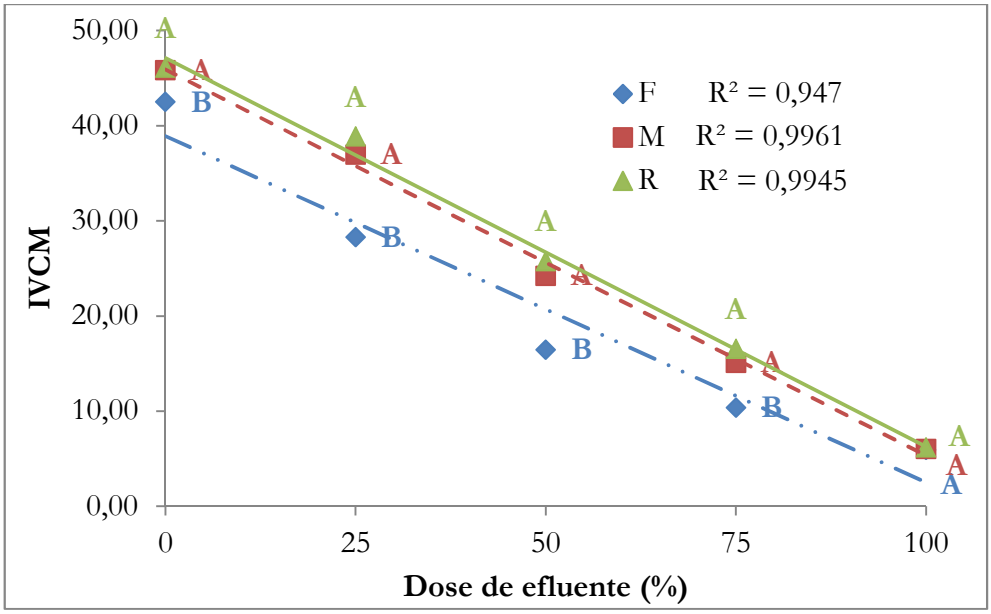

Figura 6. Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) das cepas *Trichoderma atroviride* (GEBio "F"), *Trichoderma harzianum* (ESALQ 1306 "M") e *Trichoderma asperellum* (GEBio "R") nas diferentes doses de efluente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,05$). Equações de ajuste: (F) $y = -0,3643x + 38,911$; (M) $y = -0,4061x + 45,912$; (R) $y = -0,4084x + 47,109$. Fonte: Própria autoria.

Com exceção da dose de 100%, as cepas R (*T. asperellum*) e M (*T. harzianum*) tiveram índices de velocidade de crescimento micelial (IVCM) maiores do que os índices para a cepa F (*T. atroviride*). No meio de cultivo com 100% efluente as três cepas tiveram IVCM estatisticamente iguais e próximos de zero. Essa redução no IVCM deve-se, provavelmente, à alta concentração salina no efluente.

A quantidade de esporos produzida pelas cepas diferiu estatisticamente mesmo na ausência do efluente, sendo que a cepa R apresentou os maiores valores de esporulação (Figura 7), com um comportamento polinomial de segunda ordem, com ápice de esporulação próximo à dose de 25% efluente e, então, diminuindo até não diferir da esporulação das outras cepas no tratamento 100%. A esporulação de R maior em 25% pode ser um mecanismo de resposta ao estresse no qual a cepa perde crescimento micelial, mas investe em produção de estruturas reprodutivas. Para a cepa M houve um ajuste linear negativo e para a cepa F não houve ajuste.

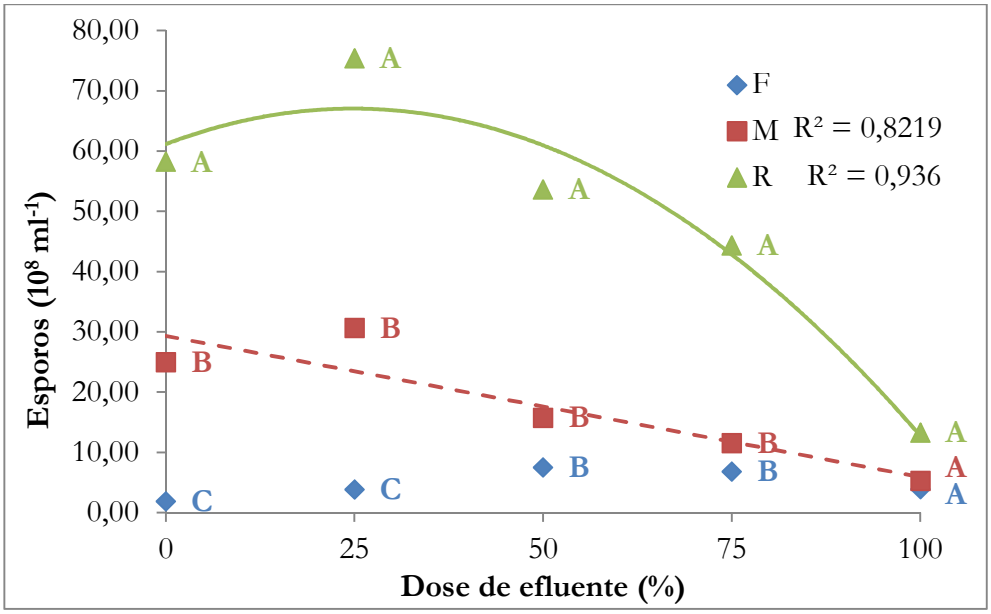

Figura 7. Quantidade de esporos em solução para cada uma das cepas *Trichoderma atroviride* (GEBio "F"), *Trichoderma harzianum* (ESALQ 1306 "M") e *Trichoderma asperellum* (GEBio "R") nas diferentes doses de efluente. Médias seguidas por letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,05$). Equações de ajuste: (M) $y = -0,2339x + 29,304$; (R) $y = -0,0096x2 + 0,4763x + 61,148$. Fonte: Própria autoria.

Na avaliação da taxa de germinação, não houve diferença estatística entre as doses de efluente, apenas entre as cepas avaliadas (Tabela 6). Ou seja, as altas doses do efluente e, consequentemente, de salinidade no meio de cultivo, apesar de terem diminuído a quantidade de esporos produzidos pelo fungo, não alterou a viabilidade dessas estruturas reprodutivas. As taxas de germinação médias das cepas diferiram entre si, estatisticamente, sendo que R e F apresentaram as maiores taxas e M a menor.

Tabela 6. Taxa de germinação para cada uma das cepas de *Trichoderma* spp. (F, M e R) nas diferentes doses de efluente tratado de laticínio.

EF (%)	Taxa de germinação					
	"F"		"M"		"R"	
0	0,71		0,36		0,53	
25	0,46		0,34		0,49	
50	0,46		0,38		0,50	
75	0,45		0,38		0,53	
100	0,50		0,33		0,34	
Média	0,52	A	0,36	B	0,48	A
C.V. (%) = 22,46						

EF: efluente. GEBio "F": *Trichoderma atroviride*, ESALQ 1306 "M": *Trichoderma harzianum*, GEBio "R": *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por letras diferentes na mesma linha diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p<0,05$). Fonte: Própria autoria.

Portanto, foi possível observar um melhor desempenho da cepa GEBio "R". Isso porque, apesar dessa cepa ter tido o mesmo índice de velocidade de crescimento micelial da cepa M, ela foi capaz de produzir mais esporos em quase todas as doses de efluente, com exceção da dose 100%, e obteve as melhores taxas de germinação. Dessa forma, a cepa GEBio "R" (*Trichoderma asperellum*) foi selecionada para inóculo no solo durante o cultivo do pepineiro irrigado com efluente tratado de laticínio.

4.3. Irrigação do pepineiro e aporte de nutrientes

As leituras de tensão no solo, obtidas no turno de rega de dois dias, foram utilizadas para o cálculo da tensão média por tratamento e, em seguida, para o cálculo da lâmina de água/efluente tratado necessária para reposição da umidade à capacidade de campo (0,335 cm^3 cm^{-3}). Os valores de tensão média por tratamento ao longo do tempo encontram-se na Figura 8. É possível perceber que as lâminas aplicadas tiveram maior variação a partir de 22/05/2019, mas, à exceção do controle 0% STR em 17/06/2019, as tensões médias de umidade no solo estiveram sempre acima da umidade crítica determinada para esse solo (0,228 cm^3 cm^{-3}).

As quedas mais pronunciadas na umidade do solo observadas no gráfico geraram leituras de alta tensão e, consequentemente, alta lâmina de irrigação. Por isso é possível observar picos de umidade logo após as quedas. Ao final do ciclo foram detectados problemas técnicos no sistema tensiômetro-tensímetro em algumas das parcelas. Assim sendo, optou-se por aplicar lâminas mínimas mesmo quando não houve tensão suficiente para demandar irrigação no dia de manejo, evitando assim variações bruscas na umidade do solo por erros de leitura.

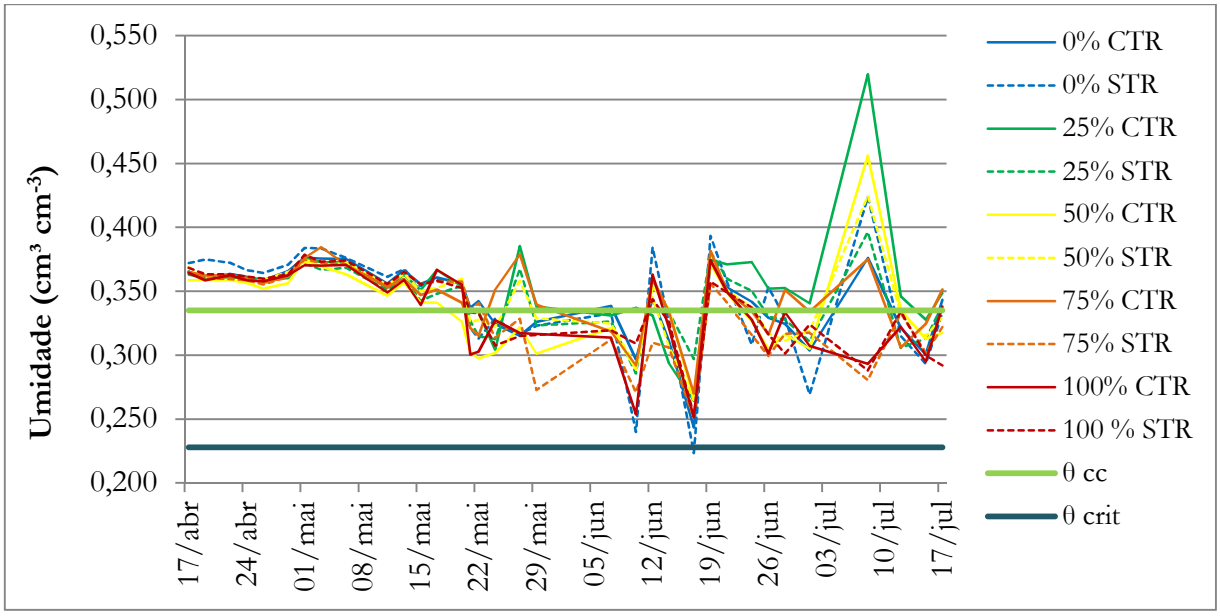

Figura 8. Umidade do solo ao longo do tempo para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; θ cc: umidade na capacidade de campo; θ crit: umidade crítica. Fonte: Própria autoria.

A lâmina de efluente e água de abastecimento, assim como a lâmina total aplicada durante o ciclo de cultivo do pepineiro encontram-se na Tabela 7. As menores lâminas aplicadas foram para os tratamentos 25% CTR e 25% STR, 176,85 e 198,22 mm, respectivamente; enquanto as maiores foram para 100% CTR e 0% STR, 329,44 e 296,52 mm, respectivamente.

Tabela 7. Lâmina aplicada de cada uma das fontes de água ao longo do ciclo de cultivo do pepineiro e principais nutrientes e sódio aportados pela irrigação.

Tratamento	Lâmina aplicada (mm)				Nutrientes e sódio aportados pela irrigação (kg ha^{-1})					
	AB1	AB2	EF	Total	N-NTK	P-total	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
0% CTR	66,32	170,89	0,00	237,20	46,16	0,50	0,55	16,25	4,34	4,22
0% STR	64,78	231,73	0,00	296,52	57,70	0,62	0,68	20,31	5,43	5,28
25% CTR	63,25	85,20	28,40	176,85	56,41	2,89	32,72	11,19	8,88	69,19
25% STR	64,78	100,08	33,36	198,22	64,40	3,38	38,41	12,49	10,26	81,10
50% CTR	69,38	98,03	98,03	265,43	127,55	9,26	112,13	15,00	24,33	232,68
50% STR	70,92	70,60	70,60	212,11	95,94	6,71	80,81	12,24	17,91	167,95
75% CTR	63,25	37,64	112,92	213,80	129,04	10,48	128,96	10,98	26,35	266,39
75% STR	69,38	56,47	169,41	295,26	188,63	15,66	193,42	14,72	39,07	399,22
100% CTR	63,25	0,00	266,19	329,44	270,22	24,33	303,60	13,92	58,92	624,88
100% STR	73,98	0,00	199,70	273,68	207,88	18,31	227,82	12,26	44,69	469,27

AB1: água de abastecimento durante as duas primeiras semanas de cultivo; AB2: água de abastecimento durante o restante do ciclo de cultivo; EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; N-NTK: nitrogênio total Kjeldahl. Fonte: própria autoria.

O volume de efluente aplicado em relação ao volume total não corresponde às proporções exatas dos tratamentos devido ao período de aplicação de água de abastecimento nas duas primeiras semanas após o transplantio. Ainda assim, a economia de água de abastecimento é significativa. Para se ter a dimensão dessa economia, apenas para irrigar a área de produção de pepino japonês do estado de São Paulo em 2018, aproximadamente 1.721 ha (IEA, 2019), seriam utilizados quase 4,6 bilhões de litros de efluente, tendo como parâmetro o tratamento com maior aplicação de efluente (100% CTR), durante um único ciclo. Retomando a estimativa da quantidade de efluente produzido no Brasil, de quase 88 bilhões de litros por ano, seria possível pelo menos dezenove vezes a área de cultivo do pepineiro no estado de São Paulo com efluente tratado de laticínio.

Os principais macronutrientes e o sódio aportados no sistema solo-planta pela irrigação também são apresentados na Tabela 7. É possível notar que, com exceção dos tratamentos 25%, os valores de aporte de nitrogênio pela irrigação estão dentro ou acima da faixa recomendada para a adubação nitrogenada de cobertura recomendada para a cultura do pepineiro, de 80 a 100 kg ha^{-1} (TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015). O aporte de nitrogênio abaixo do recomendado para os tratamentos 25% CTR e 25% STR não resultou em teores de nitrogênio foliar inferiores ao tratamento testemunha, como será apresentado a seguir.

4.4. Diagnose foliar do pepineiro

As concentrações de macronutrientes foliares e de sódio estão apresentadas na Tabela 8. Para nenhum dos nutrientes e sódio, houve diferença estatística para o fator *Trichoderma asperellum*. Os valores de nitrogênio dos tratamentos com efluente se ajustaram a uma equação de segundo grau (Figura 9), e apenas o tratamento 75% diferiu da média do tratamento controle, apresentando valor superior. Os teores de fósforo para os tratamentos com efluente não diferiram entre si, mas a sua média foi menor do que a média do controle. Para potássio, cálcio, magnésio, enxofre e sódio não houve diferença entre os tratamentos e nem entre os tratamentos e o controle, portanto foram apresentadas as médias de todos os tratamentos para essas variáveis (Tabela 8). Ou seja, com exceção do fósforo, a aplicação de efluente na irrigação do pepineiro, em quaisquer das doses utilizadas, não resultou em perdas nutricionais para a planta em relação ao controle.

Tabela 8. Teores de macronutrientes e sódio na folha do pepineiro para os diferentes tratamentos.

EF (%)	Nutrientes na folha do pepineiro (g kg^{-1})						
	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio	Enxofre	Sódio
0	11,17	1,64	18,94	17,95	6,31	2,18	1,17
25	10,87	1,37 #					
50	11,24						
75	13,02 #						
100	12,83						
C.V. (%) =	14,45*; 14,19**	20,03*; 18,10**	17,02**	10,32**	16,31**	9,85**	33,58**

EF: dose de efluente na água de irrigação. C.V.: coeficiente de variação. *Tratamentos; **Tratamentos x Controles. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Fonte: própria autoria.

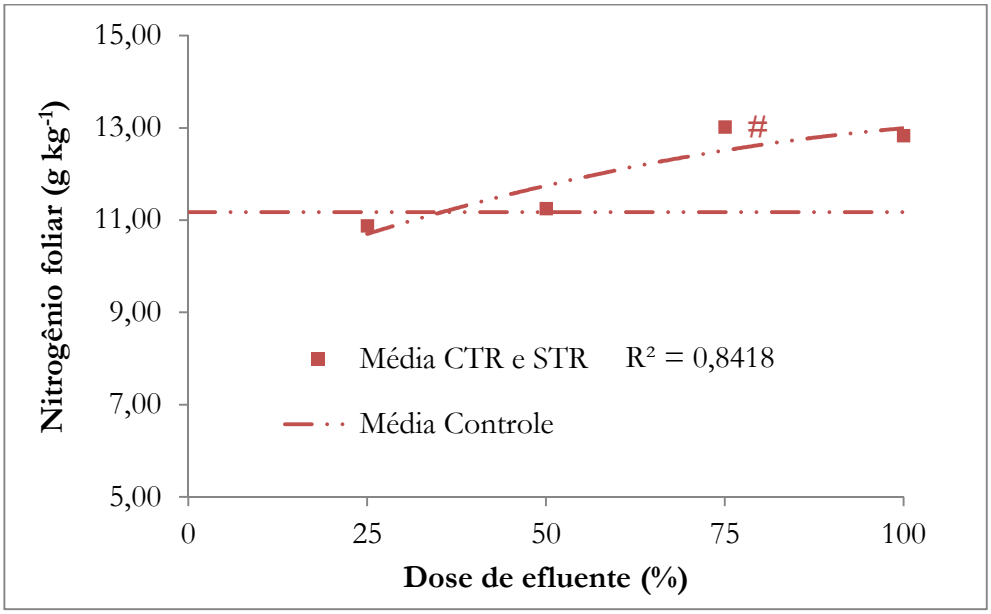

Figura 9. Concentrações de nitrogênio foliar para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Equação de ajuste: (Média) $y = -0{,}0002x^2 + 0{,}0588x + 9{,}3719$. Fonte: própria autoria.

Os teores nutricionais encontrados nessa análise estão abaixo daqueles estabelecidos como adequados para a diagnose foliar, com exceção para o magnésio, que ficou dentro da faixa adequada (TRANI; PASSOS; ARAÚJO, 2015). A faixa adequada é definida com base nos teores nutricionais em folhas coletadas no do início do florescimento, conforme recomendação dos autores. Entretanto, visando identificar diferenças na diagnose nutricional resultando do aporte de nutrientes pelos tratamentos, optou-se por fazer a coleta para análise da diagnose foliar aos 54 DAT, com as plantas produzindo (em frutificação), pois neste período os tratamentos estavam sendo aplicados há cinco semanas. No entanto, nesse período do ciclo, é normal que os nutrientes da folha estejam em níveis mais baixos por serem translocados para os frutos.

4.5. Índice relativo de clorofila

O equipamento Clorofilog® forneceu os índices relativos de clorofila *a*, *b* e total das folhas do pepineiro. Foram feitas médias das plantas de cada parcela dessas variáveis e a análise estatística foi realizada para os fatores experimentais ao longo do tempo.

4.5.1. Índice Relativo de Clorofila *a*

A análise de variância para o índice relativo de clorofila *a* não apresentou interação tripla dos fatores, mas apresentou interação dos fatores dose e *T. asperellum* (Figura 10), e diferença no tempo (Figura 11). As doses em CTR não apresentarem diferença significativa entre si, no entanto, a média foi superior à média do controle CTR. Na dose de 25% houve diferença para o fator *T. asperellum*, sendo que com a aplicação do agente biológico o IRC *a* foi maior. No tratamento STR, o IRC *a* foi inferior ao controle STR nas doses de 25 e 50% de efluente. Esses resultados indicam que a aplicação de *T. asperellum* no solo possibilitou altos valores de índice relativo de clorofila *a* nas folhas do pepineiro ainda que nos tratamentos mais diluídos e com menor aporte de nitrogênio pela água de irrigação.

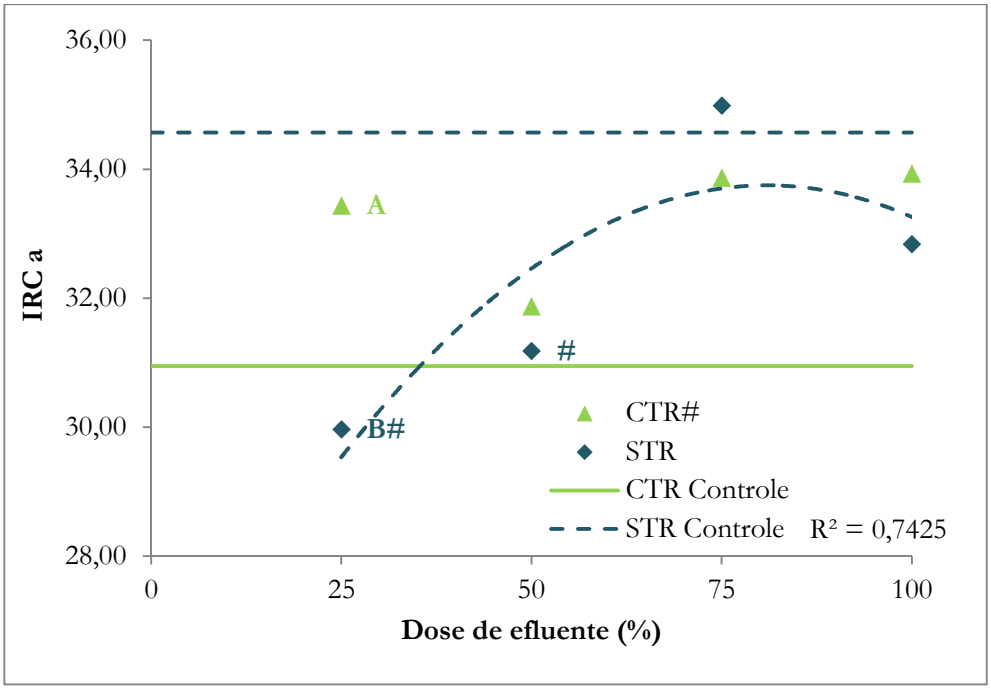

Figura 10. Índice relativo de clorofila *a* (IRC a) para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equação de ajuste: (STR) $y = -0,0013x^2 + 0,2181x + 24,923$. Fonte: própria autoria.

O ajuste do IRC *a* ao longo do tempo foi linear negativo, independentemente dos fatores experimentais, o que é esperado devido ao processo de senescência da planta. O gráfico com as médias do IRC *a* e o ajuste ao longo do tempo estão apresentados na Figura 11.

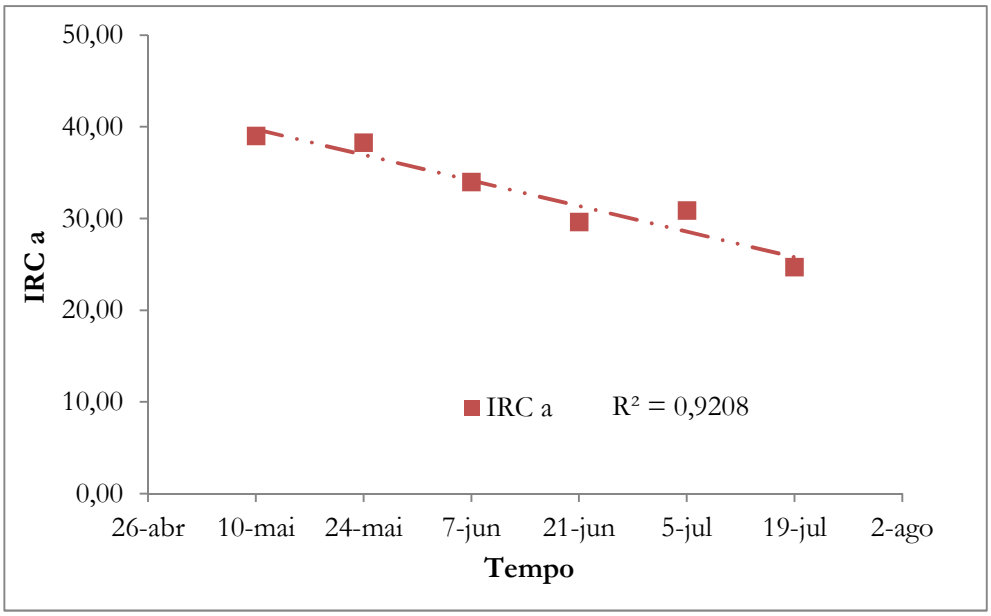

Figura 11. Índice relativo de clorofila *a* (IRC *a*) ao longo do tempo. Equação de ajuste: (IRC a) $y = -0,1998x + 8750,1$. Fonte: própria autoria.

4.5.2. Índice Relativo de Clorofila *b*

A clorofila *b* aparece em menor quantidade do que a clorofila *a*, já que é um pigmento auxiliar, com função de aumentar o espectro de absorção de luz. Os valores de índice relativo de clorofila *b* (IRC *b*) medidos pelo clorofilômetro apresentaram diferença para os fatores estudados de forma similar ao IRC *a* (Figura 12). Neste caso, o tratamento CTR se ajustou a uma curva de segundo grau e apresentou valores de IRC *b* menores do que o tratamento STR na dose de 75%. Somente na dose de 50% o tratamento SRT não foi inferior ao seu controle.

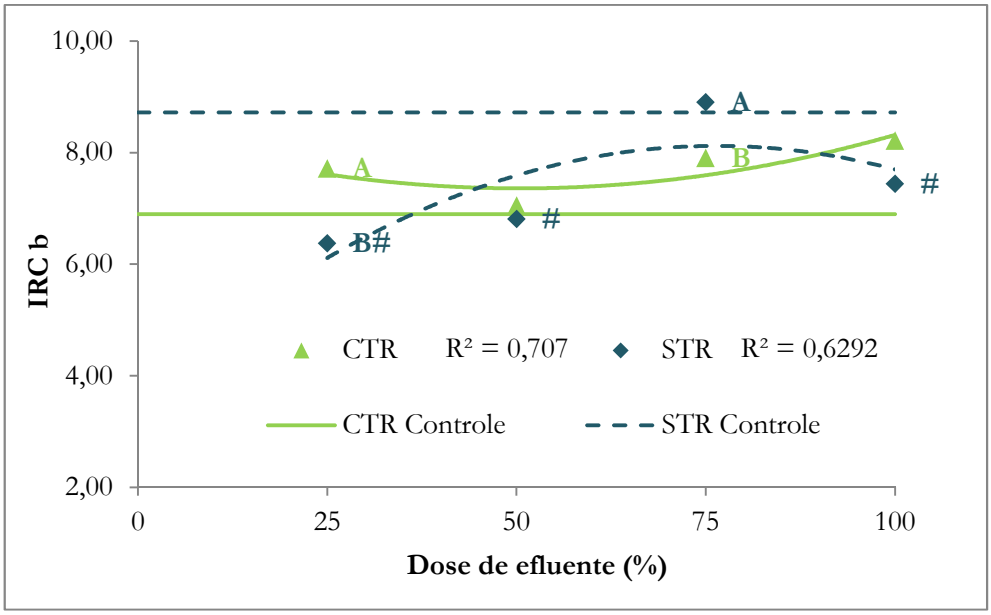

Figura 12. Índice relativo de clorofila *b* (IRC b) para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) $y = 0,0004x^2 - 0,0393x + 8,3494$; (STR) $y = -0,0008x^2 + 0,1161x + 3,6845$. Fonte: própria autoria.

Da mesma forma que para IRC *a*, houve uma queda linear do IRC *b* ao longo do tempo, apresentado na Figura 13.

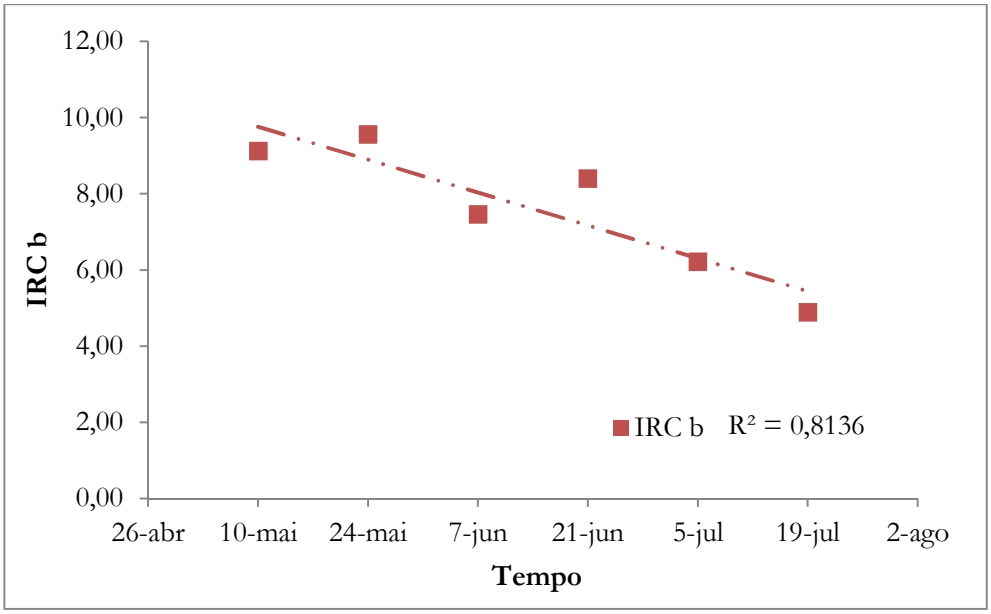

Figura 13. Índice relativo de clorofila *b* (IRC b) ao longo do tempo. Equação de ajuste: (IRC b) y = -0,0617x + 2700,8. Fonte: própria autoria.

4.5.3. Índice Relativo de Clorofila Total

A análise para o índice relativo de clorofila total (IRC Total) apresentou interação entre os fatores dose e *T. asperellum*, e entre os fatores dose e tempo. Na Figura 14 está apresentado esse primeiro desdobramento, na qual é possível perceber ajustes menores para as equações de segundo grau, com o ponto mínimo de IRC Total para CTR próximo a dose de 50% e o ponto máximo para STR próximo a dose de 75%. Os tratamentos CTR e STR diferiram na dose de 25%, sendo o tratamento STR menor. Para todos índices relativos de clorofila a resposta na dose de 25% foi maior para o tratamento CTR, sugerindo que a aplicação do fungo auxiliou na resposta em condições de menor aporte de nitrogênio em cobertura.

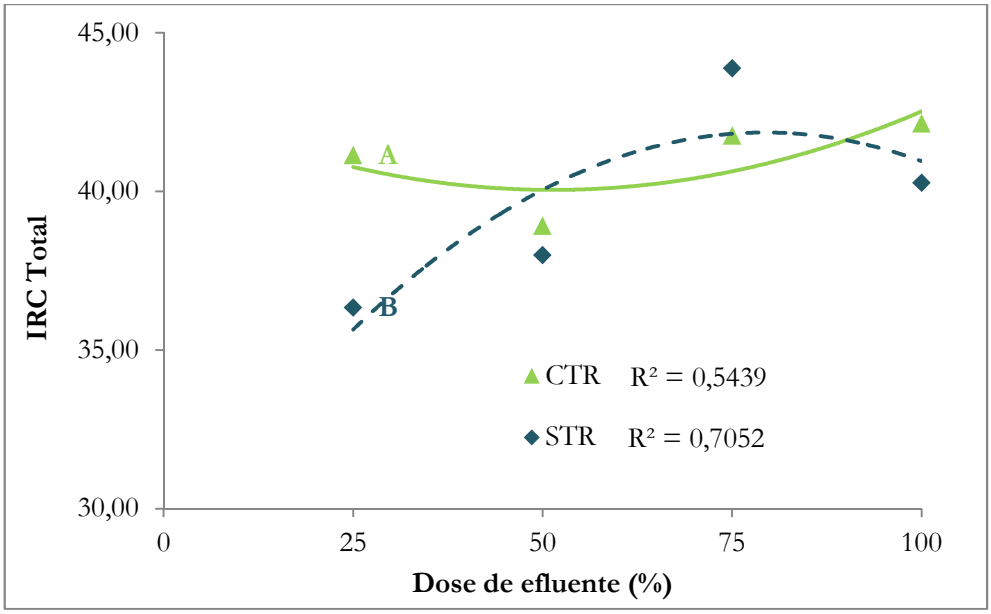

Figura 14. Índice relativo de clorofila Total (IRC Total) para os diferentes tratamentos no desdobramento de dose de efluente dentro do fator *Trichoderma asperellum*. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) $y = 0,001x^2 - 0,1071x + 42,795$; (STR) $y = -0,0021x^2 + 0,3343x + 28,603$. Fonte: própria autoria.

O desdobramento das doses no tempo é apresentado na Figura 15. Para todas as doses há diminuição linear do IRC Total ao longo do tempo, entretanto, a diferença estatística entre as doses ocorre nos tempos 21/jun e 05/jul, quando as doses de 75 e 100% apresentam os maiores índices. Os resultados de queda do índice relativo de clorofila ao longo do tempo corroboram com os resultados de Reis et al. (2009) para a cultura do café, no qual houve queda na clorofila total, *a* e *b* devido ao processo de senescência da planta.

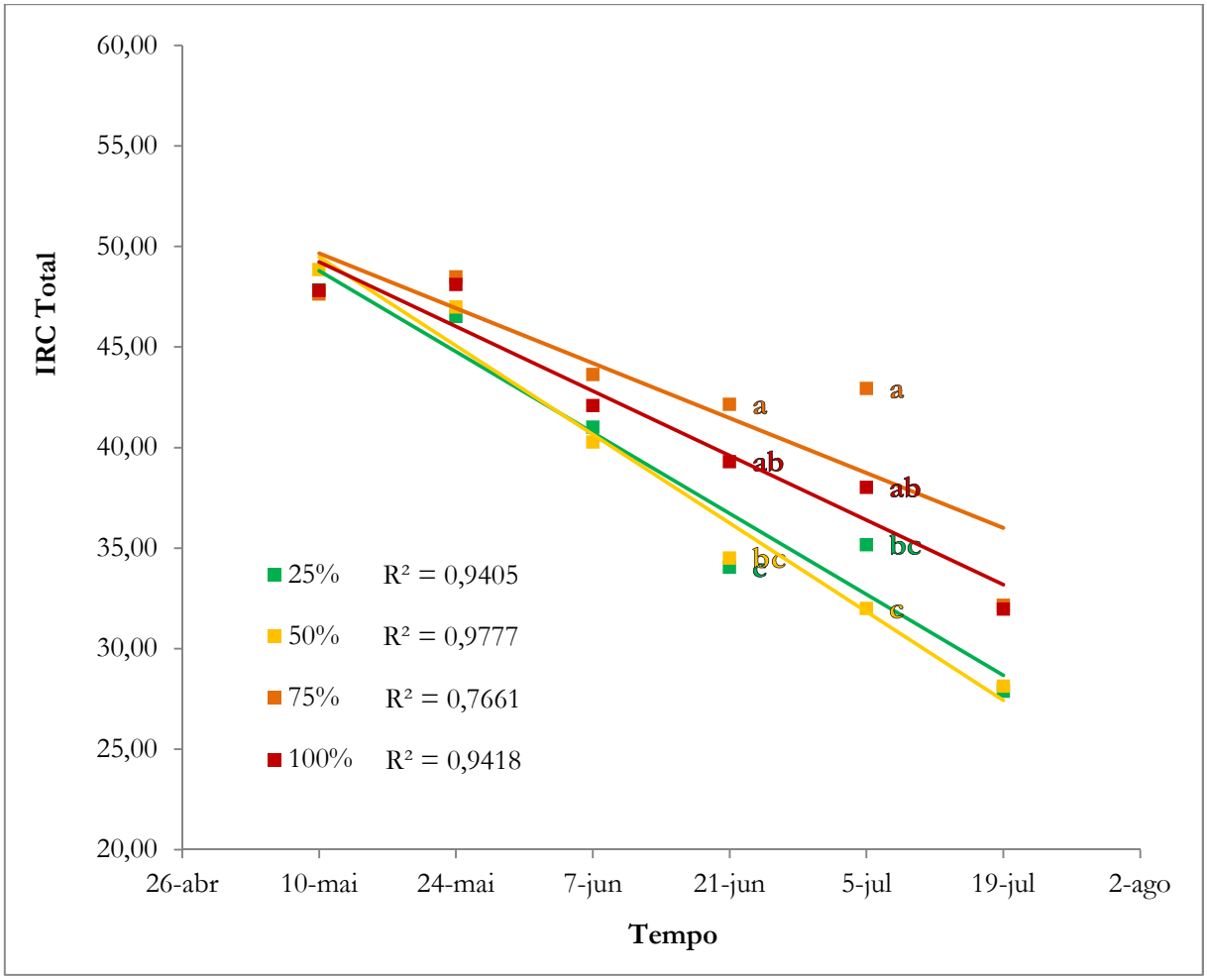

Figura 15. Índice relativo de clorofila Total (IRC Total) para os diferentes tratamentos no desdobramento de tempo dentro do fator dose de efluente. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Equações de ajuste: (25) $y = -0,2874x + 12576$; (50) $y = -0,315x + 13780$; (75) $y = -0,195x + 8551,1$; (100) $y = -0,2291x + 10036$. Fonte: própria autoria.

Para a análise dos tratamentos em comparação com os controles houve interação das doses com o fator *T. asperellum* ao longo do tempo. Assim, os contrates foram realizados dentro de cada desdobramento e apresentados na Tabela 9. Podemos perceber que os IRC Total dos tratamentos passam a diferir daqueles dos controles a partir de 21/jun. A partir dessa data todos os tratamentos STR que diferem do controle são inferiores a ele. Apenas na dose de 75% o tratamento STR não diferiu do controle em nenhuma das datas. Para CTR nas datas em que houve diferença em relação ao controle os IRC Total foram maiores.

Os tratamentos 50% CTR e 75% STR foram os únicos que não diferiram do controle em nenhuma das datas. Ao final do ciclo, em 19/jul, apenas os tratamentos CTR 25% e 75% apresentaram IRC Total superiores ao controle.

Tabela 9. Comparação dos índices relativos de clorofila total dos tratamentos com seus respectivos controles na interação tripla entre os fatores *Trichoderma asperellum*, dose de efluente e tempo.

Índice Relativo de Clorofila Total (IRC Total)																				
	0%		25%				50%				75%				100%					
Tempo	**CTR**	**STR**	**CTR**		**STR**		**CTR**		**STR**		**CTR**		**STR**		**CTR**		**STR**			
10-mai	48,38	48,58	48,10		47,57		49,10		48,59		47,25		48,02		47,33		48,27			
24-mai	49,23	48,86	47,25		45,77		46,75		47,20		45,86		51,09		48,35		47,85			
7-jun	39,28	41,37	42,22		39,81		41,26		39,29		43,82		43,42		43,15		41,00			
21-jun	35,94	44,39	35,97		32,11	#	35,80		33,20	#	39,53		44,76		41,66		36,93	#		
5-jul	29,84	44,98	39,73	#	30,60	#	31,47		32,51	#	41,18	#	44,69		42,06	#	33,96	#		
19-jul	24,35	31,57	33,62	#	22,14	#	29,13		27,12		32,97	#	31,32		30,31		33,60			

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Fonte: própria autoria.

Os resultados indicam que o inóculo com *T. asperellum* ajudou na manutenção do IRC Total a partir de 21-jun, a partir de quando os índices passam a diferir do controle e os tratamentos com a aplicação do fungo apresentam valores maiores do que aqueles obtidos no controle. Ou seja, na irrigação do pepineiro com efluente tratado de laticínio o fungo *T. asperellum* foi útil para ajudar na manutenção e até incremento do IRC Total nas últimas três semanas do ciclo de cultivo. A exceção se apresenta na dose de 75%, na qual os índices relativos de clorofila não diferiram do tratamento controle mesmo na ausência do fungo. Convém lembrar que na dose de 75% a produção de frutos comerciais foram superiores ao controle.

Os valores de IRC Total se assemelham aos encontrados por Padilla et al. (2017) para pepino, cujas respostas obtidas pelo clorofilômetro SPAD ficaram entre 30 e 55 "unidades SPAD", aproximadamente.

4.6. Temperatura foliar

As diferenças estatísticas se apresentaram apenas em 21/jun para a temperatura média e máxima, e em 19/jul para a temperatura mínima (Tabela 10). Para temperatura média não houve diferença para o fator dose, enquanto para temperatura máxima as doses do tratamento STR se ajustaram em uma equação quadrática (Figura 16).

Para temperatura mínima não houve diferença entre os tratamentos CTR e STR, por isso apresentou-se a média. Para essa variável houve diferença entre as doses de efluente, porém sem ajuste a uma equação linear ou quadrática, assim, realizou-se a comparação entres as médias pelo teste de Tukey.

Tabela 10. Temperaturas foliares média, máxima e mínima nas datas onde houve diferença significativa para os tratamentos.

	Temperatura da folha (°C)									
	Média				Máxima				Mínima	
EF (%)	21/jun								19/jul	
	CTR		STR		CTR		STR		Média C/S	
0	22,05		21,50		23,09		22,63		14,08	
25	21,20	B	22,02	A	22,75		23,31		14,26	ab
50	20,96		21,08		22,18		22,20		13,03	b#
75	21,96	A	21,10	B	23,43	A	22,08	B	14,57	a
100	21,69		21,63		23,02		22,90		14,06	ab
C.V. (%) =	3,34				2,71				6,77	

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; Média C/S: média dos tratamentos CTR e STR; C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas por letras maiúsculas diferem na linha e minúsculas na coluna para o Teste de Tukey (p<0,05). Médias seguidas por # diferem do controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05) Fonte: própria autoria.

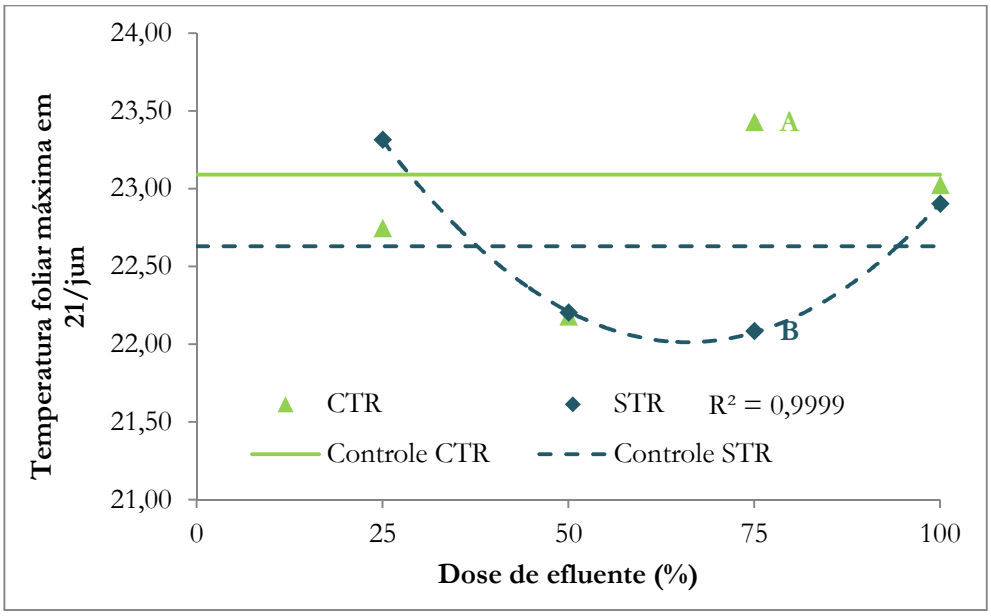

Figura 16. Temperatura foliar máxima no desdobramento de dose de efluente dentro do fator *Trichoderma asperellum*. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t (p<0,05). Equação de ajuste: (STR) $y = 0{,}0008x^2 - 0{,}1019x + 25{,}37503$. Fonte: própria autoria.

Para as temperaturas média e máxima na dose de 75% o tratamento CTR apresentou temperaturas mais elevadas. O contrário aconteceu para a temperatura média da folha na dose de 25%, em que CTR apresentou temperatura média menor. Para temperatura mínima a única dose que diferiu do controle foi a de 50%, apresentando valor inferior a este.

As temperaturas máxima, média e mínima obtidas pela câmera termográfica não diferiram entre dos tratamentos avaliados na maior parte do ciclo de cultivo, tendo apresentado respostas em apenas duas das seis datas de coleta de dados. A metodologia de coleta e o processamento de dados

nesse trabalho não permitiram a obtenção de resultados de forma a identificar uma tendência de aumento de temperatura acompanhando o aumento da dose de efluente e consequente salinização do solo. Entende-se que melhorias na metodologia, como o processamento das imagens na versão ampliada do software, por exemplo, podem gerar dados com respostas mais conclusivas.

4.7. Análises biométricas do pepineiro

4.7.1. Área foliar

A área foliar da quinta folha totalmente expandida, utilizada na diagnose nutricional, apresentou interação entre os fatores estudados. Dessa forma, o gráfico da Figura 17 apresenta as regressões obtidas para os tratamentos com aplicação de *Trichoderma asperellum* (CTR) e sem aplicação de *T. asperellum* (STR) em relação às doses do efluente e em comparação entre CTR e STR. Além do contraste de cada dose com o seu respectivo controle.

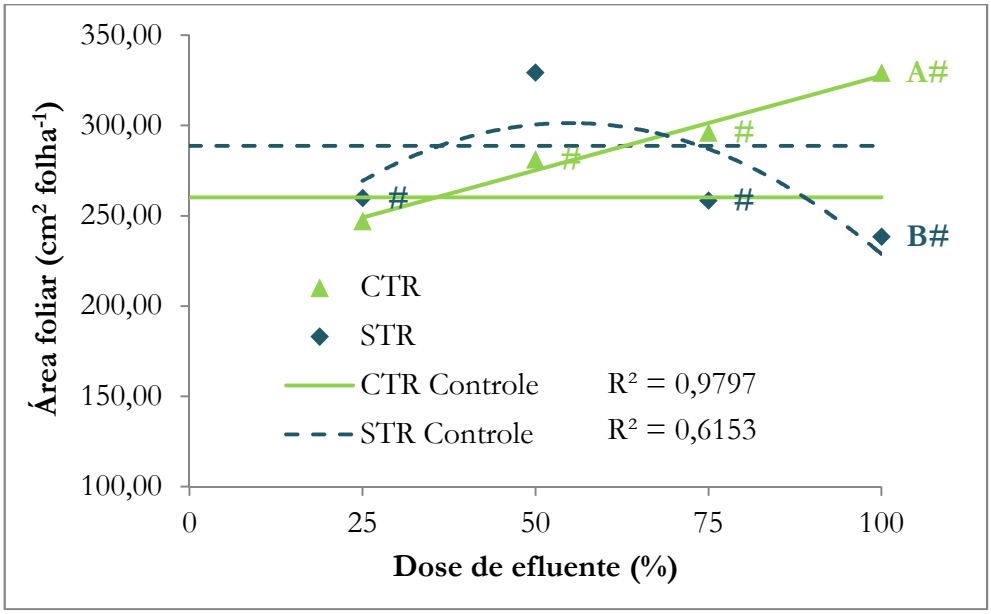

Figura 17. Área foliar para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) $y = 1,0466x + 222,94$; (STR) $y = -0,0358x^2 + 3,9282x + 193,48$. Fonte: própria autoria.

É possível perceber que sem o inóculo de *T. asperellum* (STR) apenas a dose de 50% do efluente não diferiu do controle, valor que está próximo ao ponto máximo da curva de segundo grau da regressão, havendo redução da área foliar em todas as outras doses em relação ao controle. Com inóculo de *T. asperellum* há um aumento crescente da área foliar, apenas o tratamento na dose de 25%

não difere do controle, enquanto nas outras doses a área foliar é superior a esse. As médias dos tratamentos CTR e STR só diferem entre si na dose de 100%, sendo que o CTR apresenta maior área foliar.

Esses resultados mostram o potencial do fungo *T. asperellum* em promover um aumento de área foliar quando é feita a irrigação com efluente e corroboram com os resultados encontrados por França et al. (2017), no qual cepas de *Trichoderma* spp. foram capazes de promover aumento da área foliar do tomate cereja. Deste modo, a aplicação de *Trichoderma asperellum* na produção de hortaliças folhosas irrigadas com efluente, pode vir a incrementar a produtividade, ou mesmo, evitar perdas em condições de irrigação com água salina como as relatadas por Oliveira et al. (2011a), estudo no qual os autores observaram perdas de massa fresca e seca da alface, com diminuição de área foliar.

4.7.2. Massa fresca e seca da folha

As respostas de massa fresca da folha (5ª folha totalmente expandida) (Figura 18) apresentam o mesmo padrão observado para área foliar, porém é possível notar a diferença entre os tratamentos CTR e STR a partir da dose 75%. O aumento da massa seca da folha com inóculo de *T. asperellum* irrigado com efluente nas doses acima de 50% reforçam a possibilidade de aplicação desses fatores para hortaliças folhosas.

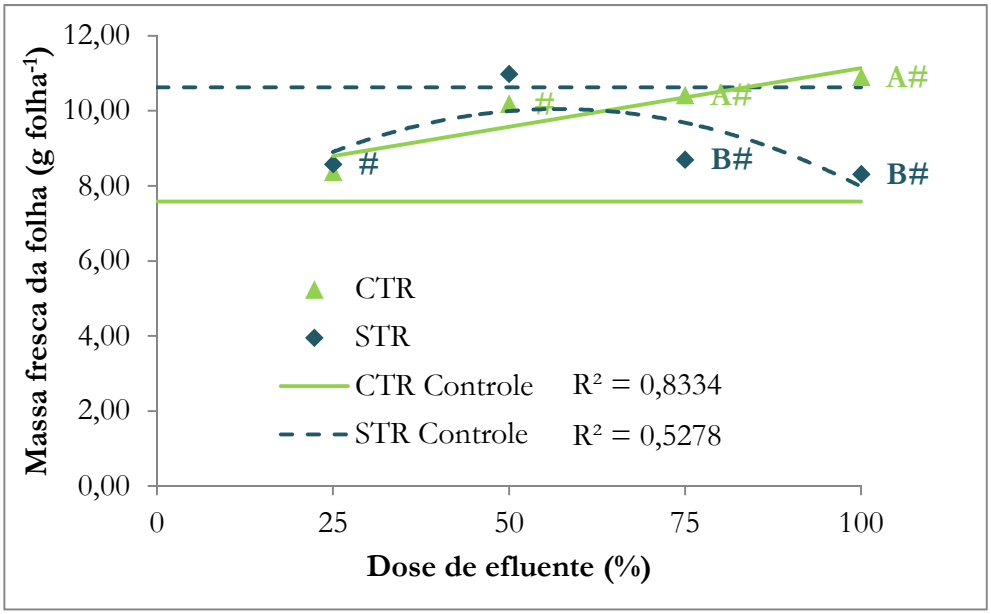

Figura 18. Massa fresca da folha para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) $y = 0,0313x + 8,0125$; (STR) $y = -0,0011x^2 + 0,1274x + 6,4187$. Fonte: própria autoria.

Para massa seca os tratamentos STR nas doses 25, 75 e 100% foram inferiores ao controle, indicando baixo acúmulo de fotoassimilados. Para CTR, os valores não diferiram do controle em nenhuma das doses, ou seja, com a aplicação de *T. asperellum* não houve perdas no acúmulo de fotoassimildados na irrigação com efluente tratado de laticínio (Tabela 11 e Figura 19).

Tabela 11. Massa seca de folha para os diferentes tratamentos.

EF (%)	Massa seca da folha (g folha^{-1})		
	CTR	STR	Média
0	1,78	2,76	2,27
25	2,02	2,17 #	2,09
50	2,41	2,87	2,64
75	2,38	2,01 #	2,19
100	2,38	1,99 #	2,18
C.V. (%) = 15,45 (Tratamentos); 15,39 (Tratamentos x Controle)			

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; C.V.: coeficiente de variação. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Fonte: própria autoria.

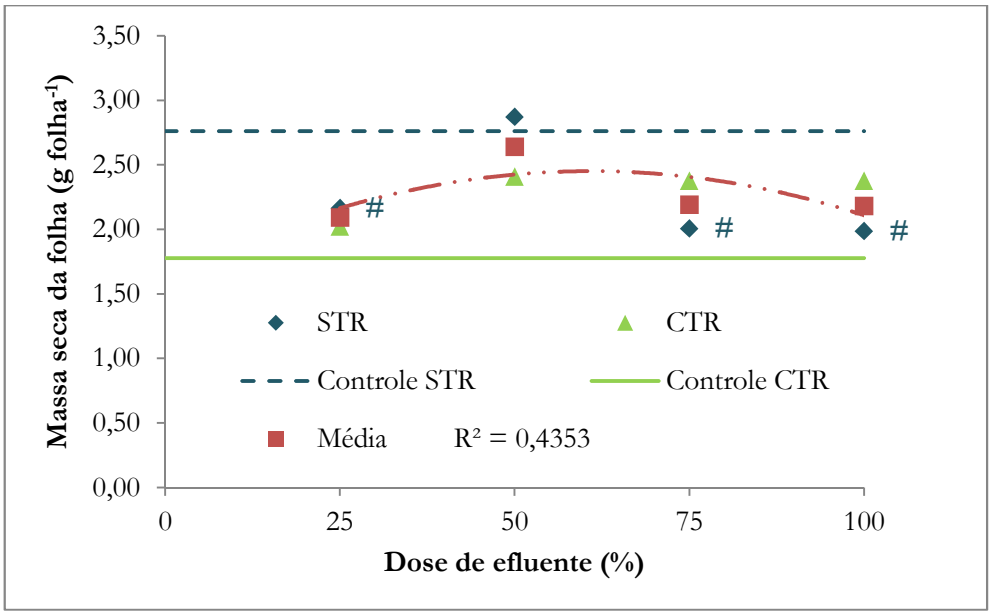

Figura 19. Massa seca da folha para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Equação de ajuste: (Média) $y = -0{,}0002x^2 + 0{,}0271x + 1{,}625$. Fonte: própria autoria.

4.7.3. Análise da planta ao final do ciclo de cultivo

Não houve diferença significativa entre os tratamentos em relação aos controles para taxa de massa seca de folha e de fruto e nem para massa seca da parte aérea (Tabela 12). Isso indica que o acúmulo de fotoassimilados pela planta ocorreu de forma proporcional à absorção de água nas folhas e nos frutos, sem efeito dos fatores da dose de efluente (EF) ou aplicação de *Trichoderma asperellum*.

Tabela 12. Taxa de massa seca de folhas e frutos e massa seca da parte aérea do pepineiro ao final do ciclo de cultivo.

EF (%)	MS folha		MS fruto		MS parte aérea (g m^{-2})	
	CTR	STR	CTR	STR	CTR	STR
0	0,23	0,26	0,04	0,04	221,83	245,55
25	0,24	0,25	0,04	0,04	239,42	218,41
50	0,24	0,26	0,04	0,04	249,91	246,15
75	0,23	0,23	0,03	0,04	256,51	226,29
100	0,22	0,24	0,03	0,03	245,69	237,08
C.V. (%) =	8,07		8,07		18,19	

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; MS: massa seca; C.V.: coeficiente de variação. Fonte: própria autoria.

O fator *T. asperellum* não apresentou efeito na massa seca de raízes. As respostas médias para as doses de efluente apresentaram ajuste quadrático (Figura 20) sendo que nas doses de 25 e 50% a massa seca de raiz foi inferior a média dos controles. O menor desenvolvimento radicular nesses tratamentos provavelmente afetou a absorção de fósforo pelas plantas, já que esse nutriente não é móvel no solo e sua maior absorção depende do alcance das raízes da planta.

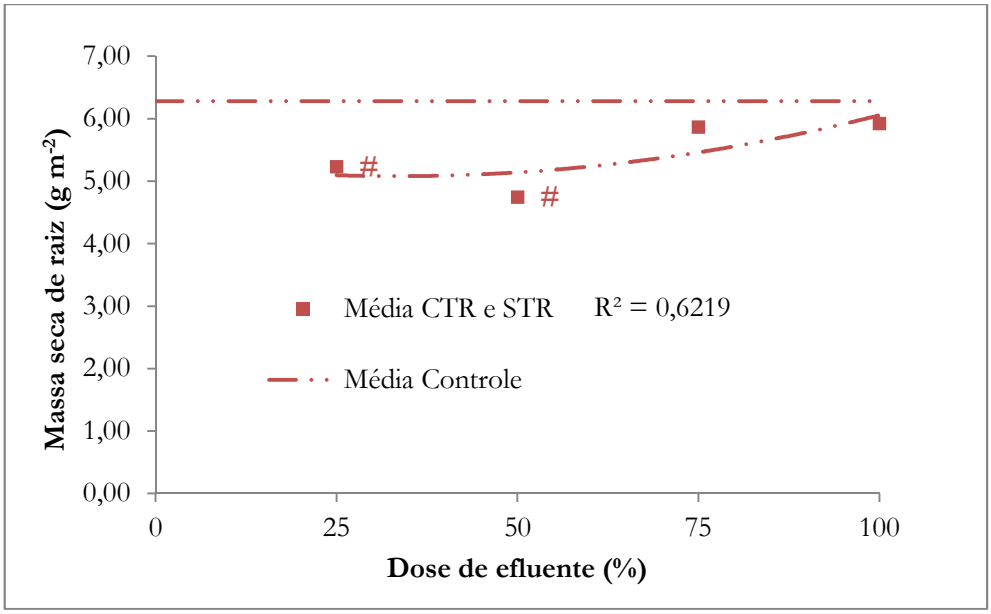

Figura 20. Massa seca de raiz para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equação de ajuste: (Média) $y = 0,0002x^2 - 0,0146x + 5,3228$. Fonte: própria autoria.

4.8. Produtividade do pepineiro

A massa fresca de frutos comerciais é o principal resultado para o agricultor, o qual irá obter sua renda a partir da venda dos frutos de pepino japonês, geralmente comercializados na forma de caixas de 24 kg para os grandes centros de distribuição.

Para essa variável não houve diferença entre os tratamentos CTR e STR. Na Figura 21 pode-se observar o ajuste das médias das doses em uma equação quadrática. Os tratamentos 25, 50 e 100% não diferiram do tratamento controle, enquanto o tratamento 75% foi superior ao controle. Esses resultados demonstram que é possível cultivar o pepineiro japonês irrigado com efluente tratado de laticínio sem perdas de produtividade e com incrementos para a dose de 75%, possibilitando economia de água de melhor qualidade e adubação mineral nitrogenada, com incremento no rendimento.

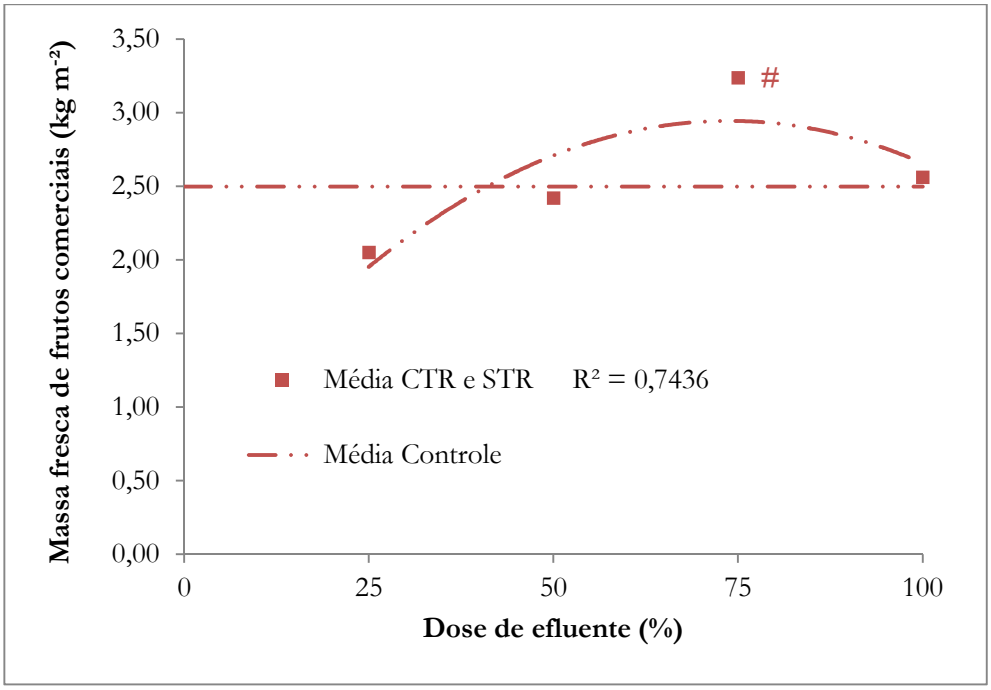

Figura 21. Massa fresca de frutos comerciais na média das doses do efluente. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equação de ajuste: (Média) $y = -0,0004x^2 + 0,0615x + 0,6756$. Fonte: própria autoria.

A produtividade máxima de frutos comerciais foi dose de 75% efluente, 3,38 kg m^{-2} (Tabela 13). Esse valor é inferior à produtividade média do pepino encontrada para o estado de São Paulo em 2018, de 4,2 kg m^{-2} (IEA, 2019). Oliveira et al. (2011b), obtiveram produtividade máxima de pepino japonês de 4,59 kg m^{-2} com um ciclo de 91 dias de cultivo após o transplantio. Nesse trabalho, o ciclo de cultivo se estendeu por 93 dias a partir do transplantio, porém com reduções significativas de produtividade e elevado grau de senescência da planta ao final do ciclo, principalmente por questões de sanidade vegetal e condições climáticas. Assim, a condução desse híbrido com período de cultivo mais curto e com mais ciclos ao longo do ano pode se apresentar como uma alternativa para obtenção de maiores rendimentos.

A resposta para o número de frutos comerciais (Figura 22) apresentou comportamento semelhante ao da reposta de massa fresca de fruto comercial. Entretanto, houve diferença estatística para as médias das doses do efluente nos fatores CTR e STR, que foram de 17,19 e 14,35 frutos m^{-2}, respectivamente.

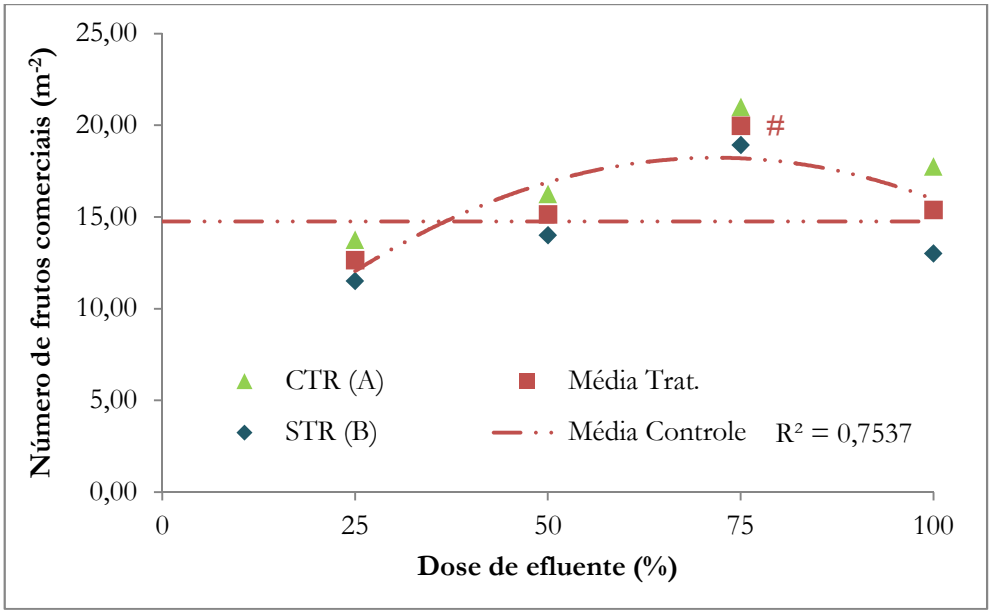

Figura 22. Número de frutos comerciais para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. As médias dos tratamentos para o fator *Trichoderma asperellum* seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equação de ajuste: (Média) $y = -0,0028x^2 + 0,4063x + 3,655$. Fonte: própria autoria.

A massa fresca de frutos total apresentou um aumento linear no tratamento CTR, enquanto o tratamento STR ajustou-se em uma regressão quadrática com valor máximo entre 50 e 75% (Figura 23). Não houve interação entre os fatores, mas a média geral do tratamento CTR, 3,58 kg m^{-2}, foi superior à média do tratamento STR, 2,89 kg m^{-2}. Entretanto, houve diferença na comparação com o controle, sendo que o tratamento 25% STR foi inferior ao seu respectivo controle, e os tratamentos 75% CTR e 100% CTR foram superiores.

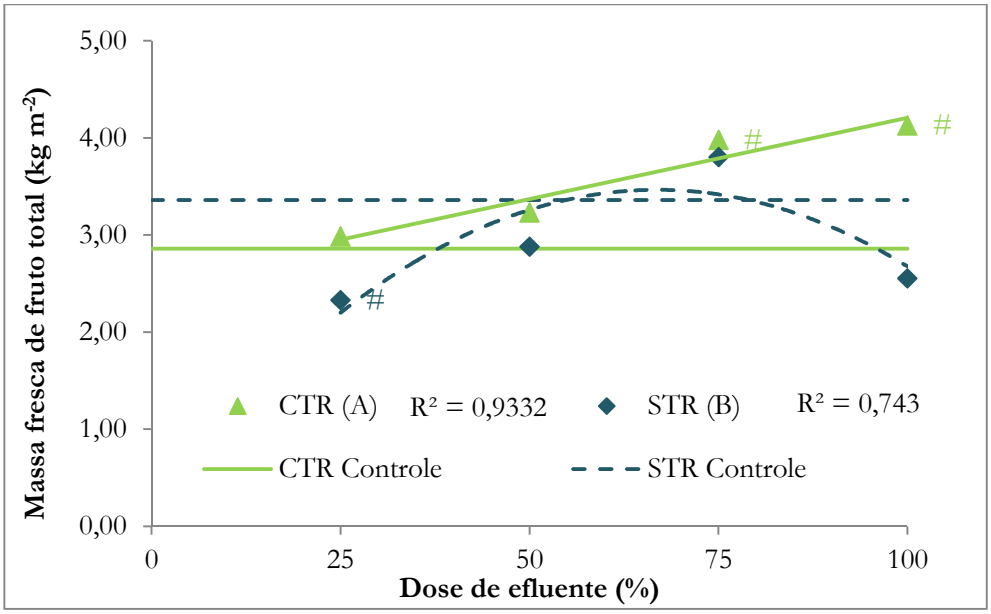

Figura 23. Massa fresca de fruto total para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. As médias dos tratamentos para o fator *Trichoderma asperellum* seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) $y = 0,0167x + 2,5338$; (STR) $y = -0,0007x^2 + 0,0964x + 0,2413$. Fonte: própria autoria.

A resposta para o número de frutos total apresentou interação entre os fatores, com padrão de comportamento para as doses semelhante ao da massa fresca de frutos total (Figura 24). Entretanto, para essa variável, STR não diferiu do controle em nenhuma das doses, e na dose de 100% o tratamento CTR se apresentou superior ao STR.

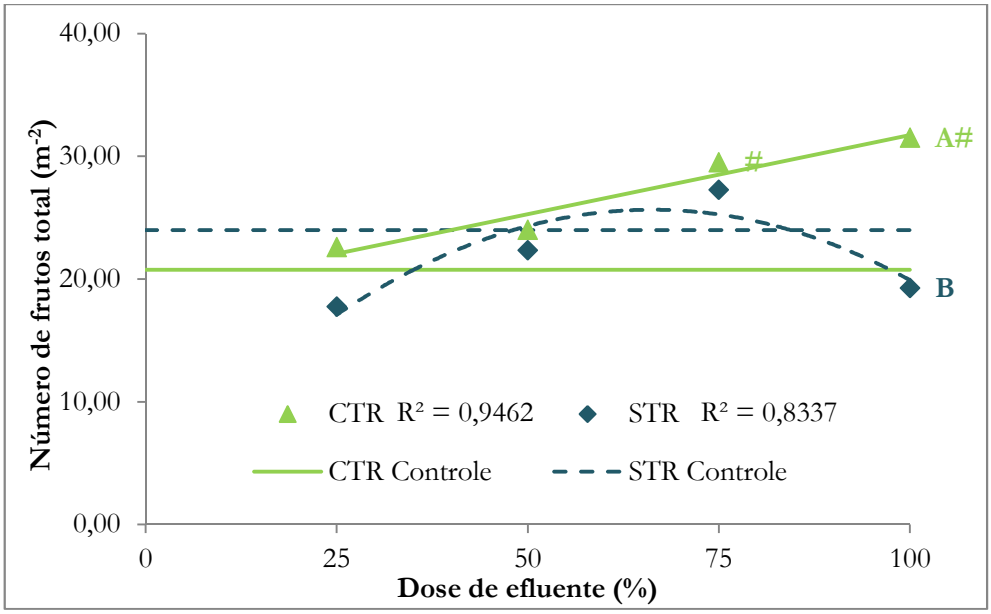

Figura 24. Número de frutos total para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. Médias seguidas de letras diferentes na mesma dose de efluente diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equações de ajuste: (CTR) y = y = 0,129x + 18,833; (STR) $y = -0,005x^2 + 0,6668x + 3,5631$. Fonte: própria autoria.

A produção total maior para CTR com aumento na dose de efluente indica um aumento dos frutos não comerciais, já que para os frutos comerciais não houve diferença para o fator *Trichoderma asperellum*. Porém, ao compararmos a taxa de frutos não comerciais com base na massa fresca (Tabela 13) e com base no número de frutos (Tabela 14), esse aumento não foi significativo, não havendo diferença entre os tratamentos ou destes em contraste com o controle. Isso pode ser explicado pelos altos coeficientes de variação para a taxa de frutos não comerciais, o que é comum para esse variável. Ao avaliar a produção de tomate irrigado com efluente tratado de laticínio e fertirrigação complementar, Brichi (2018) encontrou altos coeficientes de variação para os frutos classificados como "descarte", valores de 47% e 36% para massa e número de frutos, respectivamente.

Tabela 13. Massa fresca (MF) de fruto comercial (Com.), total e taxa de frutos não comerciais com base na massa fresca (TFNM) para os diferentes tratamentos.

EF (%)	MF Com. (kg m^{-2})			MF Total (kg m^{-2})			TFNM	
	CTR	STR	Média	CTR	STR	Média	CTR	STR
0	2,16	2,84	2,50	2,86	3,36	3,11	0,26	0,16
25	2,21	1,89	2,05	2,98	2,33 #	2,66	0,27	0,19
50	2,61	2,22	2,42	3,23	2,88	3,06	0,19	0,23
75	3,38	3,08	3,23 #	3,97 #	3,80	3,89	0,14	0,19
100	2,90	2,23	2,57	4,13 #	2,55	3,34	0,31	0,14
Média Trat.	2,78	2,36	2,57	3,58 A	2,89 B	3,24	0,23	0,19
C.V. (%) =	24,26*; 26,19**			16,06*; 18,30**			48,78**	

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; C.V.: coeficiente de variação. *Tratamentos; **Tratamentos x Controles. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem na linha para o Teste t (p<0,05). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Fonte: própria autoria.

Tabela 14. Número de frutos (NF) de fruto comercial (Com.), total e taxa de frutos não comerciais com base no número de frutos (TFNN) para os diferentes tratamentos.

EF (%)	NF Com. (m^{-2})			NF Total (m^{-2})		TFNN	
	CTR	STR	Média	CTR	STR	CTR	STR
0	12,75	16,75	14,75	20,75	24,00	0,39	0,30
25	13,75	11,50	12,63	22,58	17,75	0,40	0,34
50	16,25	14,00	15,13	24,00	22,33	0,32	0,37
75	21,00	18,92	19,96 #	29,50 #	27,25	0,27	0,30
100	17,75	13,00	15,38	31,50 A#	19,25 B	0,45	0,33
Média Trat.	17,19 A	14,35 B	15,78	26,90	21,65	0,36	0,34
C.V. (%) =	22,00*; 24,46**			15,36*; 18,08**		30,20**	

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; C.V.: coeficiente de variação. *Tratamentos; **Tratamentos x Controles. Médias seguidas por letras maiúsculas diferentes diferem na linha para o Teste t (p<0,05). Médias seguidas por # diferem do respectivo controle (0%) pelo Teste de Scheffé (p<0,05). Fonte: própria autoria.

Além disso, as taxas de fruto comercial encontradas nesse trabalho estão próximas àquelas encontradas em outros trabalhos com pepineiro japonês. Nomura & Cardoso (2000) avaliaram o desempenho de pepino japonês híbrido enxertado sobre abóbora e submetido à crescentes taxas de desfolha durante a poda. A partir dos valores apresentados pelos autores para produção e número de frutos total e comercial calculou-se a taxa de frutos não comerciais, que variaram de 0,21 a 0,58 quando baseado na produção, e de 0,30 a 0,64 quando baseado no número de frutos. É interessante destacar que as maiores produções comerciais encontradas no trabalho de Nomura & Cardoso foram para a testemunha, sem poda ou desbaste de frutos, e para o tratamento com poda padrão para recomendada para a cultura (sem redução de área foliar) e com o desbaste de frutos tortos ainda novos. Esse tratamento apresentou a menor taxa de frutos tortos e menores taxas de frutos não comerciais.

Em outro trabalho, comparando híbridos comerciais, híbridos experimentais e linhagens de pepino japonês, foram apresentados dados para a taxa de frutos comerciais, a partir dos quais encontramos valores de taxa de frutos não comerciais variando de 44,8 a 67,8%; sendo que para os três híbridos comerciais esses valores ficaram entre 55,0 e 57,9% (LIMA; CARDOSO, 2012). Nesse estudo, entretanto, não foi realizado o desbaste de frutos defeituoso, o que justifica as altas taxas de frutos não comerciais e reforça a importância desse manejo.

4.9. Extrato de saturação do solo

Apesar do efluente utilizado na irrigação ter apresentado valores de pH mais alcalinos do que a água de abastecimento, estes ainda ficaram próximos à faixa de neutralidade, com média de 7,79. Essa média se encontra dentro da faixa de pH normal para água de irrigação, que varia de 6,5 a 8,4. Valores acima ou abaixo dessa faixa podem alterar o balanço nutricional e a disponibilidade de nutrientes no solo, assim como podem indicar a presença de um íon tóxico (AYERS; WESTCOT, 1989). A diferença de pH na água de abastecimento e no efluente não resultaram em diferenças estatísticas significativas para os valores médios de pH encontrados no extrato de saturação do solo (Tabela 15), variando de 6,66 a 6,97.

Tabela 15. Valores de pH do extrato aquoso da pasta de saturação do solo para os diferentes tratamentos.

	pH	
EF (%)	**CTR**	**STR**
0	6,66	6,87
25	6,85	6,68
50	6,75	6,74
75	6,72	6,97
100	6,86	6,71
C.V. (%) = 6,00 (Tratamentos); 5,72 (Tratamentos x Controles)		

EF: efluente; CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*; C.V.: coeficiente de variação. Fonte: própria autoria.

A análise estatística para condutividade elétrica extrato de saturação do solo não apresentou interação entre os fatores de dose do efluente e *Trichoderma asperellum*. Entretanto, houve diferença estatística para o fator *Trichoderma asperellum*, sendo que o a média dos tratamentos CTR tiveram condutividade elétrica de 0,955 dS m^{-1}, superior à média dos tratamentos STR, 0,748 dS m^{-1}. Para o fator dose foi possível perceber um aumento linear na condutividade elétrica (Figura 25), sendo que apenas a média do tratamento 25% não diferiu da média do controle, enquanto todas as outras doses tiveram médias estatisticamente superiores quando comparadas com o controle.

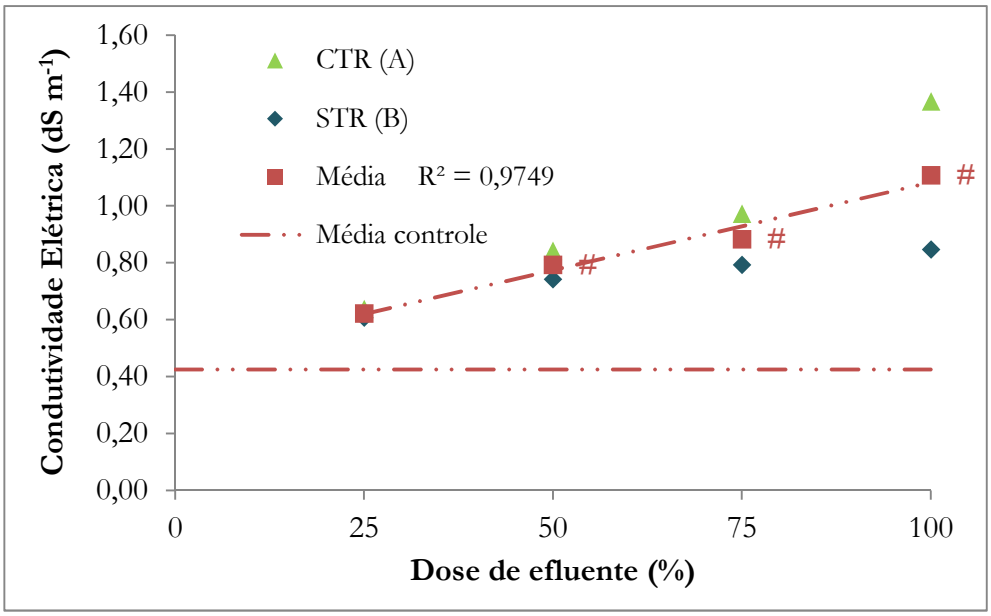

Figura 25. Condutividade elétrica no extrato de saturação do solo para os diferentes tratamentos. CTR: com inóculo de *Trichoderma asperellum*; STR: sem inóculo de *Trichoderma asperellum*. As médias dos tratamentos para o fator *Trichoderma asperellum* seguidas por letras diferentes maiúsculas diferem entre si pelo Teste t ($p<0,05$). Médias seguidas por # diferem da média dos controles (0% efluente) pelo Teste de Scheffé ($p<0,05$). Equação de ajuste: (Média) $y = 0,0062x + 0,465$. Fonte: própria autoria.

Apesar dos valores estimados de condutividade elétrica na água de irrigação para as doses de efluente indicar perdas no potencial produtivo do pepineiro, observa-se que em nenhum dos tratamentos a condutividade elétrica no extrato de saturação do solo ultrapassou 2,50 dS m^{-1}, valor a partir do qual a cultura do pepino apresentaria perdas no potencial produtivo (AYERS; WESTCOT, 1989). Isso se deve, provavelmente, ao ciclo curto da cultura e à irrigação com água de abastecimento para todas as parcelas nas duas primeiras semanas de cultivo, totalizando 12 semanas de aplicação de efluente (Tabela 4), gerando acúmulo de sais no solo, mas que não foram suficientes para atingir os limites a partir dos quais haveria perdas de potencial produtivo.

4.10. Síntese dos resultados

Dentre as cepas de *Trichoderma* spp. avaliadas, *Trichoderma asperellum* foi a que melhor se desenvolveu em meio de cultura contendo efluente tratado de laticínio, apresentado tolerância a salinidade.

A irrigação com efluente tratado de laticínio foi capaz de suprimir a adubação nitrogenada de cobertura recomenda para a cultura nos tratamentos 50, 75 e 100%.

O teor médio de fósforo foliar para os tratamentos foi menor do que para o controle e teor de nitrogênio foliar foi superior ao controle na dose de 75% de efluente, não tendo diferido do controle nas outras doses.

Os índices relativos de clorofila (*a*, *b* e total) para os tratamentos sem inóculo de *T. asperellum* tiveram seu máximo próximo da dose de 75%. Com inóculo de *T. asperellum* os índices foram maiores na dose de 25% e superiores ao controle no final do ciclo para IRC Total.

A análise de termografia apresentou diferença significativa apenas em uma das seis datas estudas. Na dose de 75%, as temperaturas foliares máxima e média foram maiores com inóculo de *T. asperellum*. A temperatura mínima foi inferior ao controle na dose 50%.

O inóculo com *Trichoderma asperellum* favoreceu as análises biométricas da folha quando combinado com a irrigação com efluente tratado de laticínio.

Houve perda de massa seca de raiz nas doses de 25 e 50% em relação ao controle, independente do inóculo com o agente biológico *T. asperellum*.

A massa fresca de frutos comercializáveis foi superior ao controle na dose 75% e não diferiu do controle nas outras doses.

A condutividade elétrica no extrato de saturação do solo aumentou de forma linear com o aumento da dose efluente na água de irrigação.

Os resultados desse estudo mostraram que a irrigação do pepineiro com efluente tratado de laticínio e sem adubação nitrogenada de cobertura apresentou ganho produtividade na dose de 75% efluente e não causou perdas nas demais doses de efluente, sendo possível substituir em 100% a irrigação com água de abastecimento por efluente tratado de laticínio. Há viabilidade técnica para aplicação do fungo *Trichoderma asperellum* ao solo, haja vista que esta favoreceu algumas das respostas biométricas do pepineiro irrigado com efluente.

Assim sendo, no cultivo do pepineiro com irrigação com efluente tratado de laticínio e aplicação de *Trichoderma asperellum* é possível economizar água de melhor qualidade, economizar adubo mineral nitrogenado e reduzir o volume de efluente despejado nos corpos d'água, contribuindo para melhor gestão dos recursos hídricos.

5. CONCLUSÕES

A cepa *Trichoderma asperellum* foi a que melhor se desenvolveu em meio de cultura contendo efluente tratado de laticínio, apresentando tolerância à salinidade. A aplicação do fungo *Trichoderma asperellum* no solo irrigado com efluente tratado de laticínio favoreceu parâmetros biométricos da folha do pepineiro, os índices relativos de clorofila na dose de 25% do efluente, e o índice relativo de clorofila total ao final do ciclo de cultivo. No entanto, não influenciou na produtividade do pepineiro.

A irrigação com o efluente tratado de laticínio foi capaz de aportar nitrogênio para o pepineiro de forma a suprir a adubação mineral nitrogenada de cobertura nas doses de 50, 75 e 100% do efluente, sendo que na dose de 75% houve aumento em relação ao controle.

O pepineiro produziu satisfatoriamente quando irrigado com efluente tratado de laticínio em todas as doses avaliadas, com incremento de produtividade na dose de 75% do efluente em relação ao controle.

REFERÊNCIAS

AGRISTAR. Disponível em <https://agristar.com.br/superseed/pepino-japones-hibrido/tikara-f1/3264//> Acesso em: 17 dez. 2019.

AHMAD, P. et al. Role of *Trichoderma harzianum* in mitigating NaCl stress in Indian mustard (*Brassica juncea* L.) through antioxidative defense system. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2015.

AHMED, C. B. et al. Saline water irrigation effects on soil salinity distribution and some physiological responses of field grown Chemlali olive. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 538-544, 2012.

AL-HAMAIEDEH, H.; BINO, M. Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. **Desalination**, v. 256, n. 1-3, p. 115-119, 2010.

ALMEIDA, I. C. C. et al. Soil quality after six years of paper mill industrial wastewater application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, 2017.

AMORIM, J. R. A. et al. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 167-176, 2002.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**, Brasília: ANA, 2017, 37 p.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual: versão atualizada**, Brasília: ANA, 2019, 72 p.

APHA/AWWA/WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION/ AMERICAN WATER WORKSASSOCIATION/ WATER ENVIROMENT FEDERATION. **Standard methods for the examination for water and wastewater.** 22 ed. Washington, 2012, 1496 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Salinity problems. **Water quality for agriculture**. FAO, Rome, Italy, p. 1-32, 1989.

AZEVEDO, L. P.; OLIVEIRA, E. L. Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 253-263, 2005.

BALKHAIR, K. S. Microbial contamination of vegetable crop and soil profile in arid regions under controlled application of domestic wastewater. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 1, p. S83-S92, 2016.

BANERJEE, K.; KRISHNAN, P.; MRIDHA, N. Application of thermal imaging of wheat crop canopy to estimate leaf area index under different moisture stress conditions. **Biosystems Engineering**, v. 166, p. 13-27, 2018.

BARBIERI JUNIOR, E. et al. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.

BEGNINI, B. C.; RIBEIRO, H. B. Plano para redução de carga poluidora em indústria de lacticínios. **Saúde e Meio Ambiente: revista interdisciplinar**, v. 3, n. 1, p. 19-30, 2014.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 4, p. 305-309, 2005.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 285-291, 2003.

BRAGA, M. B.; LIMA, C. E. P. Reúso de água na agricultura. **Brasília: Embrapa**, 2014, 200 p.

BRALTS, V. F.; KESNER, C. D. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, v. 26, n. 5, p. 1369-1374, 1983.

BRICHI, L. Minitomateiro consorciado com adubos verdes fertirrigados com efluente tratado de laticínio. **Dissertação de Mestrado** (ESALQ – Universidade de São Paulo). Piracicaba, 2018. 104 p.

BROTMAN, Y. et al. *Trichoderma*-plant root colonization: escaping early plant defense responses and activation of the antioxidant machinery for saline stress tolerance. **PLOS Pathogens**, v. 9, n. 3, p. e1003221, 2013.

BROTMAN, Y.; KAPUGANTI, J. G.; VITERBO, A. *Trichoderma*. **Current Biology**, v. 20, n. 9, p. R390-R391, 2010.

CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. Crescimento e produção de híbridos de pepino em função da enxertia. **Horticultura brasileira**, v. 16, n. 2, p. 110-113, 1998.

CARVALHO, A. D. F. et al. Circular técnica 113: A cultura do pepino. Brasília-DF: Embrapa Hortaliças, 2013, 18 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/956387/a-cultura-do-pepino>. Acesso em: 02 jan. 2018.

CATÁLOGO Brasileiro de Hortaliças: saiba como plantar e aproveitar 50 das espécies mais comercializadas no País. Brasília-DF: Embrapa Hortaliças; SEBRAE, 2010, 59 p. Disponível em: <http://www.ceasa.gov.br/dados/publicacao/Catalogo%20hortalicas.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2018.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006). **Orientação para apresentação de projeto visando à aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura.** CETESB, 11 p.

CETESB/ANA – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO/AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia Nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos.** Org. Carlos Jesus Brandão et al. São Paulo: CETESB, Brasília-DF: ANA, 2011. 326 p.

CIRELLI, G. L. et al. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 163-170, 2012.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução n° 121, de 16 de dezembro de 2010. **Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH N° 54, de 28 de novembro de 2005.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 16 mar. 2011.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências.** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 09 mar. 2006.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).** Brasília, DF: Diário Oficial da União, 16 mai. 2011. N. 92, p. 89.

COSTA, J. M. et al. Thermal imaging to phenotype traditional maize landraces for drought tolerance. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 3, p. 334-343, 2015.

DANTAS, P. A. S. et al. Estimativa não destrutiva do teor foliar de nitrogênio em cacaueiro utilizando clorofilômetro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 669-677, 2012.

DIAS, M. D. et al. O. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de *Coffea arabica* L. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 545-552, 2005.

DONATTI, R. N. et al. Sodium phytoremediation by green manure growing in soil irrigated with wastewater of dairy industry. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 4, p. 665-675, 2017.

DUARTE, A. S. et al. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.

ELSAYED, S. et al. Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes. **Agricultural Water Management**, v. 189, p. 98-110, 2017.

ETHUR, L. Z. Dinâmica populacional e ação de *Trichoderma* no controle de fusariose em mudas de tomateiro e pepineiro. **Tese de Doutorado** (Universidade Federal de Santa Maria). Santa Maria, 2006. 153 p.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT: Crops. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 02 jan. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, L. G. et al. Beterraba irrigada com efluente tratado de laticínio: avaliação microbiológica. **Anais CONBEA**, 2015.

FOLEGATTI, M. V.; BLANCO, F. F. Desenvolvimento vegetativo do pepino enxertado irrigado com água salina. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 3, p. 451-457, 2000.

FRANÇA et al. *Trichoderma* spp. isolates with potential of phosphate solubilization and growth promotion in cherry tomato. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 4, p. 360-368, 2017.

GAL-HEMED, I et al. Marine isolates of *Trichoderma* spp. as potential halotolerant agents of biological control for arid-zone agriculture. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 15, p. 5100-5109, 2011.

GATTA, G. et al. Treated agro-industrial wastewater irrigation of tomato crop: effects on qualitative/quantitative characteristics of production and microbiological properties of the soil. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 33-43, 2015.

GOMES, T. M. et al. Supplementation of nutrients for table beets by irrigation with treated dairy effluent. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 6, p. 1137-1147, 2017.

GOMES, T. M. et al. Treated dairy wastewater effect on the yield and quality of drip irrigated table beet. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 31, n. 2, p. 255-260, 2015.

GÓMEZ-BELLOT, M. J. et al. Sensitivity of thermal imaging and infrared thermometry to detect water status changes in Euonymus japonica plants irrigated with saline reclaimed water. **Biosystems Engineering**, v. 133, p. 21-32, 2015.

HACKL, H. et al. A comparison of plant temperatures as measured by thermal imaging and infrared thermometry. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 6, p. 415-429, 2012.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

HURTADO, S. M. C. et al. Clorofilômetro no ajuste da adubação nitrogenada em cobertura para o milho de alta produtividade. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1011-1017, 2011.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Estatísticas da produção paulista. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/bancodedados.html>. Acesso em: 08 nov. 2019.

IHUOMA, S. O.; MADRAMOOTOO, C. A. Recent advances in crop water stress detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 141, p. 267-275, 2017.

JAMES, R. A.; SIRAULT, X. R. R. Infrared thermography in plant phenotyping for salinity tolerance. In: **Plant Salt Tolerance**. Humana Press, Totowa, NJ, 2012. p. 173-189.

JINWEN, L. et al. Responses of rice leaf thickness, SPAD readings and chlorophyll a/b ratios to different nitrogen supply rates in paddy field. **Field Crops Research**, v. 114, n. 3, p. 426-432, 2009.

JUNGLAUS, R. W. Aplicação de bioestimulante vegetal sobre o desenvolvimento de pepineiro (*Cucumis sativus*) enxertado e não enxertado. **Dissertação de Mestrado** (Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP). Botucatu, 2007. 65 p.

KARADAG, D. et al. A review on anaerobic biofilm reactors for the treatment of dairy industry wastewater. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 2, p. 262-271, 2015.

LEITE, E. M. et al. Correção da Sodicidade de Solos Irrigados em Resposta à Aplicação de Gesso Agrícola. Irriga, Botucatu, SP, v. 12, n. 2, p.168-176, jun. 2007.

LIBUTTI, A. et al. Agro-industrial wastewater reuse for irrigation of a vegetable crop succession under Mediterranean conditions. **Agricultural Water Management**, v. 196, p. 1-14, 2018.

LIMA, A. T. S.; CARDOSO, A. I. I.. Produção e heterose de híbridos experimentais de pepino do tipo japonês. **Revista Ceres**, p. 484-492, 2012.

LIU, C.; CHEN, L.; ZHU, L. Application of membrane distillation for the treatment of anaerobic membrane bioreactor effluent: An especial attention to the operating conditions. **Chemosphere**, v. 208, p. 530-540, 2018.

LIU, Y.-Y.; HAYNES, R. J. Influence of land application of dairy factory effluent on soil nutrient status and the size, activity, composition and catabolic capability of the soil microbial community. **Applied soil ecology**, v. 48, n. 2, p. 133-141, 2011.

LÓPEZ, A. et al. Determining the emissivity of the leaves of nine horticultural crops by means of infrared thermography. **Scientia Horticulturae**, v. 137, p. 49-58, 2012.

LUCON, C. M. M. et al. Bioprospecção de isolados de *Trichoderma* spp.para o controle de *Rhizoctonia solani* na produção de mudas de pepino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 225-232, 2009.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, v. 103, p. 115-134, 1977.

MACAN, N. P. F. et al. Desempenho da irrigação por gotejamento com o uso de efluente de laticínio tratado por processo biológico. **Irriga**, v. 22, n. 3, p. 575-590, 2017.

MAIA, S. C. M. et al. Estimativa da necessidade de nitrogênio em cobertura no feijoeiro IAC Alvorada com clorofilômetro portátil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2229-2238, 2013.

MAIA, S. C. M. et al. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. Revista **Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 183-192, 2012.

MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v. 46, n. 3, p. 467-472, 1995.

MARTINS, P. C. (Org.). ANUÁRIO LEITE 2018: Indicadores, tendências e oportunidades para quem vive no setor leiteiro. [s.l.]: Embrapa Gado de Leite, 2018. 116 p.

MEDEIROS, P. R. F et al. Tolerância do pepino à salinidade em ambiente protegido: efeitos sobre propriedades físico-químicas dos frutos. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 301-311, 2010.

MOHAMED, H. AL. A.; HAGGAG, W. M. Biocontrol potential of salinity tolerant mutants of *Trichoderma harzianum* against *Fusarium oxysporum*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 37, n. 2, p. 181-191, 2006.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 25, n. 2, p. 239-250, 2002.

NOMURA, E. S.; CARDOSO, A. I. I. Redução da área foliar e o rendimento do pepino japonês. **Scientia Agricola**, p. 257-261, 2000.

OLIVEIRA, E. C. et al. Análise produtiva e econômica do pepino japonês submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental – -Agriambi**, v. 15, n. 7, 2011a.

OLIVEIRA, F. A. et al. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental-Agriambi**, v. 15, n. 8, 2011b.

OLIVEIRA, F. A. et al. Strategies of fertigation with saline water for growing cucumber in a greenhouse. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 606-610, 2017.

PADILLA, F. M. et al. Derivation of sufficiency values of a chlorophyll meter to estimate cucumber nitrogen status and yield. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 141, p. 54-64, 2017.

PEPINO japonês, holandês, aodai e caipira: conheça os diferentes tipos do legume. Disponível em <https://www.conquistesuavida.com.br/noticia/pepino-japones-holandes-aodai-e-caipira-conheca-os-diferentes-tipos-do-legume_a10901/1>. Acesso em: 06 dez. 2019.

POCOJESKI, E. et al. Estimativa do teor de nitrogênio em arroz irrigado com o clorofilômetro e a cartela de cores. **Ciência Rural**, v. 42, n. 11, p. 1982-1988, 2012.

QARYOUTI, M. et al. Effect of using raw waste water from food industry on soil fertility, cucumber and tomato growth, yield and fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 99-104, 2015.

REIS, A. R. et al. Photosynthesis, chlorophylls, and SPAD readings in coffee leaves in relation to nitrogen supply. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 40, n. 9-10, p. 1512-1528, 2009.

RHEIN, A. F. L.; SILVA, M. A. Nitrogen doses on physiological attributes and yield of sugarcane grown under subsurface drip fertigation. **Journal of Plant Nutrition**, v. 40, n. 2, p. 227-238, 2017.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. (Ed.). Washington: U.S. Salinity Laboratory Staff, USDA, 1954. 160 p.

ROSSI, F. et al. Cultivo de alface com efluente tratado de laticínio como fonte de água e nitrogênio: aplicação de preparado homeopático e análise termográfica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 45., 2016, Florianópolis. **Anais…** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2016.

RUIZ, H. A. et al. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1119-1126, 2004.

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; MIGUEL, D. S. Respostas de plantas de pepino à salinidade da água de irrigação. **Global Science and Technology**, v. 3, n. 3, 2010.

SILVA, E. N. et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agricola,** v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011.

SIRAULT, X. R. R.; JAMES, R. A.; FURBANK, R. T. A new screening method for osmotic component of salinity tolerance in cereals using infrared thermography. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 11, p. 970-977, 2009.

SIRTOLI, L. F. Fisiologia do pepineiro japonês, com e sem enxertia, tratado com fungicida boscalida. **Tese de Doutorado** (Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP). Botucatu, 2010. 104 p.

STENCHLY, K. et al. Effects of waste water irrigation on soil properties and soil fauna of spinach fields in a West African urban vegetable production system. **Environmental Pollution**, v. 222, p. 58-63, 2017.

SUN, Y. et al. Wilted cucumber plants infected by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum* do not suffer from water shortage. **Annals of Botany**, v. 120, n. 3, p. 427-436, 2017.

SUNDEFELD JÚNIOR, G. C. et al. Separation of solids and disinfection for agronomical use of the effluent from a UASB reactor. **Water science and technology**, v. 69, n. 1, p. 25-30, 2014.

TOZE, S. Reuse of effluent water – benefits and risks. **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 1-3, p. 147-159, 2006.

TRANI, P.E.; PASSOS, F. A.; ARAÚJO, H. S. Calagem e adubação do pepino. Campinas-SP: Instituto Agronômico de Campinas, 2015. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/98.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2018.

TUNC, T.; SAHIN, U. The changes in the physical and hydraulic properties of a loamy soil under irrigation with simpler-reclaimed wastewaters. **Agricultural Water Management**, v. 158, p. 213-224, 2015.

VAN GENUCHTEN, M. T. et al. M. RETC version 6.02. Disponível em: <https://www.pc-progress.com/en/Default.aspx?downloads >. Acesso em 12 dez. 2019

VAN GENUCHTEN, M. T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

VARALLO, A. C. T. et al. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 372-377, 2010.

WAN, S. et al. Effect of saline water on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield and water use under drip irrigation in North China. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 1, p. 105-113, 2010.

WANG, M. et al. Detection of the dynamic response of cucumber leaves to fusaric acid using thermal imaging. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 66, p. 68-76, 2013.

WANG, M. et al. Thermographic visualization of leaf response in cucumber plants infected with the soil-borne pathogen *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 61, p. 153-161, 2012.

YASMEEN, R.; SIDDIQUI, Z. S. Ameliorative effects of *Trichoderma harzianum* on monocot crops under hydroponic saline environment. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, n. 4, p. 4, 2018.

ZANELLA, F.; SONCELA, R.; LIMA, A. L. S. Formação de mudas de maracujazeiro "amarelo" sob níveis de sombreamento em Ji-Paraná/RO. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 5, p. 880-884, 2006.

ZHANG, F. et al. Putative *Trichoderma harzianum* mutant promotes cucumber growth by enhanced production of indole acetic acid and plant colonization. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1-2, p. 433-444, 2013.

ZHANG, F. et al. Quantification and role of organic acids in cucumber root exudates in *Trichoderma harzianum* T-E5 colonization. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 250-257, 2014.

ZHANG, F. et al. *Trichoderma harzianum* mitigates salt stress in cucumber via multiple responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 170, p. 436-445, 2019.

ZHANG, F. et al. *Trichoderma harzianum* T-E5 significantly affects cucumber root exudates and fungal community in the cucumber rhizosphere. **Applied Soil Ecology**, v. 72, p. 41-48, 2013b.

ANEXO

ANEXO A. Análise físico-química do composto orgânico utilizado na adubação de plantio do pepino tipo japonês.

FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CIÊNCIAS AGRÁRIAS - LABORATÓRIO DE SOLOS

AGRÁRIAS FZEA/USP
GRUPO DE PESQUISA

Av. Duque de Caxias Norte, 225 CEP: 13635-900 Pirassununga - SP
Fone: (19) 3565-4078 | 4174 - e-mail: agrarias@usp.br

USP

Proprietário: PESQUISA
Propriedade: FZEA/USP
Município: Pirassununga - SP
Telefone: ( ) -
Laudo Nº 936/2019
Entrada: 16/10/2019

Cliente: PESQUISA
Solicitante:
Convênio: PESQUISA
Gerado: 06/11/2019

Resultado de Composto Orgânico

Nº Lab.	Identificação	pH	Umidade	MS Total	MO	Cinza	C Total	C org	N	P_2O_5	K_2O	S	CaO	MgO	B	Cu	Fe	Zn	Mn	Rel C/N
			%						g/kg						mg/kg					
503	COMPOSTO	8,50	18,30	81,70	12,40	86,00	7,20	2,40	6,70	21,00	20,80	4,90	59,30	14,10	ns	159,80	8.563,50	76,20	1.341,80	11:1

Observações:
ns = não solicitado
A empresa não se responsabiliza pela coleta das amostras
Para recomendações de calagem de adubação, consulte um Engenheiro Agrônomo.

Prof. Dr. Pedro Henrique de Cerqueira Luz
Responsável
CREA 0601.365492-6ª Região