



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E
BIOTECNOLOGIA
CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA



ANDREZA HELOIZA DA SILVA GONÇALVES

Padronização do cultivo de plântulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em
laboratório para aplicação em teste ecotoxicológico

MACEIÓ-AL
SETEMBRO/2019

ANDREZA HELOIZA DA SILVA GONÇALVES

Padronização do cultivo de plântulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) em laboratório para aplicação em teste ecotoxicológico

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química do Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisitos para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Cenira Monteiro de Carvalho

MACEIÓ-AL
SETEMBRO/2019

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação do Curso de Licenciatura em Química do Instituto de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias
Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Cenira Monteiro de
Carvalho

Aprovado em: 06 de setembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva – Orientador
Centro de Tecnologia/Ufal

Profa. Dr. João Gomes da Costa – Examinador
Embrapa Tabuleiro Costeiro

Prof. Dr. Dimas José da Paz Lima – Examinador
Instituto de Química e Biotecnologia/Ufal

Maceió – AL
2019

Dedico este TCC a minha Família,
em especial aos meus pais Maria
Elizabete da Silva e André Luiz
Gonçalves dos Santos e aos meus
irmãos Allysson, André e Maria
Luiza.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por ser minha base em todas as circunstâncias da minha vida. Aos meus pais e avô (Luiz Cícero) que sempre me incentivaram a estudar e apoiaram minhas decisões. Também aos meus irmãos pelos momentos de descontração, apoio e amizade.

Por todos os amigos que me ajudaram neste desafio, gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Eduardo de Farias Silva por tanta paciência, orientação e pelo tempo despendido durante todo curso. Também a minha coorientadora Prof^a. Dra. Cenira Monteiro de Carvalho por toda dedicação e orientação.

Gostaria de agradecer aos professores, funcionários e pesquisadores do Instituto de Química e Biotecnologia-IQB-UFAL. Em especial aos professores: Josealdo Tonholo, Francine Santos de Paula, Dimas José da Paz, Júlio Cosme da Silva, Edma Miranda, Helber Barros Gomes e Ruth Rufino do Nascimento. E aos pesquisadores Aryana Nogueira, Andrea Claudia de Oliveira, Domingos Lusitânio Pier Macuvele, João Paulo dos Santos e Mariana Gomes e ao Técnico Aldy dos Santos.

Agradeço também aos demais amigos que conheci durante a graduação: Krystal Marie, Rafael Silva, Luciana Campos, Cássia Fagundes, Micaela Almeida, Letícia de Almeida, Vanessa Lima, Fabiana Lima, Débora Átila, Nathaly Costa, Nathaly Almeida, Jéssica Lima e Camila Chicuta.

Finalmente aos parentes e amigos que são e foram importantes na conclusão deste trabalho: Girlene Nascimento, Dirlene Nascimento, Freed, Audinete Vânia, Fábio Santos, Felipe Santos, José Luiz (Zezinho), Sylvania Gonçalves, Jéssica Gonçalves, Iramis Fernandes, Tuane Cipriano, Natana Cardoso, Cristiane, Pedro e Osmar Lyra. E a todos que ajudaram de forma direta ou indiretamente.

“Nada te perturbe, nada te amedronte. Tudo passa! Só Deus não muda. A paciência tudo alcança. Quem a Deus tem nada falta. Só Deus basta.”

(Santa Tereza D'Ávila)

RESUMO

Atualmente, o tomate é um dos vegetais mais conhecidos e consumidos no mundo, sendo cultivado em regiões tropicais, subtropicais e temperadas. Devido a crescente importância para a agricultura e o interesse comercial, a germinação/crescimento de tomates vem sendo estudada. Vários fatores internos e externos podem interferir na germinação das sementes e crescimento das plântulas, como exemplo, a intensidade de luz que pode interferir positiva ou negativamente. O objetivo deste trabalho foi padronizar uma metodologia para avaliação de ecotoxicidade de efluentes utilizando sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.; Solanaceae), sendo quatro cultivares diferentes (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin), observando assim o desenvolvimento das plântulas irrigadas com os efluentes, otimizando parâmetros operacionais. Os principais parâmetros avaliados foram intensidade de luz, quantidade de água diária no processo de irrigação e relação de substrato(solo)/planta no cultivo. As variáveis analisadas foram a porcentagem de germinação da semente, comprimento da parte aérea e da radícula, produzida por cada cultivar. Com os melhores valores obtidos na padronização, foram realizados testes ecotoxicológicos com efluentes químicos e agroindustriais, mais especificamente o verde de malaquita e o soro do leite, comparando-os com os resultados controle, com a finalidade de validar padronização alcançada no desenvolvimento deste trabalho.

Palavras-chaves: bioindicador, bioensaio, soluções testes e toxicidade.

ABSTRACT

Nowadays, tomatoes are one of the best known and most consumed vegetables in the world and are grown in tropical, subtropical and temperate regions. Due to the growing importance for agriculture and commercial interest, tomato germination / growth has been studied. Several internal and external factors can interfere with seed germination and seedling growth, such as the light intensity that can interfere positively or negatively. The objective of this work is to standardize a methodology for effluent ecotoxicity evaluation using tomato seeds (*Solanum lycopersicum* L.; Solanaceae), being four different cultivars (Carolina, Yashi, Kada and Chapolin), observing the development of irrigated seedlings with effluents, optimizing operational parameters. The main parameters evaluated will be light intensity, daily amount of water in the irrigation process and substrate (soil) / plant ratio in the crop. The variables analyzed will be the percentage of seed germination, shoot and root length produced by each cultivar. With the best values obtained in the standardization, ecotoxicological tests will be performed with chemical and agroindustrial effluents, specifically malachite green and whey, comparing them with the control results, in order to validate standardization achieved in the development of this work. .

Keywords: bioindicator, bioassay and test solutions.

LISTA DE FIGURA

Figura 1. Detalhe de sementes de tomate imersas em líquido gelatinoso na cavidade locular (A); (B) sementes exibindo recobertas por tricomas; (C) seção longitudinal de sementes de tomate.	12
Figura 2. Materiais utilizados nos experimentos. A- sementeira; B- Cultivares	25
Figura 3. Variáveis estudadas: A. Intensidade luminosa; B. Volume de água para regadura; C. Quantidade de substrato	27
Figura 4. Efluentes utilizados nos bioensaios: A. Soro do leite; B. Verde malaquita bruto; C. Verde malaquita tratado	28
Figura 5. Gráfico de taxa de inibição por log da concentração do contaminante. Usada para se encontrar CI_{50} .	30
Figura 6. A. Taxa de germinação; B. Comprimento da radícula e C. Comprimento do hipocólito para testes ecotoxicológicos em diferentes volumes diários de regadura	33
Figura 7. A. Taxa de germinação; B. Comprimento da radícula e C. Comprimento do hipocólito para os testes ecotoxicológicos em diferentes intensidades luminosas	35
Figura 8. A. Taxa de germinação; B. Comprimento da radícula e C. Comprimento do hipocólito para os testes ecotoxicológicos em diferentes quantidades de substrato por célula de cultivo	38
Figura 9. Taxa de germinação dos experimentos com verde de malaquita bruto e tratado por POA	39
Figura 10. Comprimento da radícula das plântulas cultivadas com os efluentes verde malaquita bruto e tratado com PAOs	40
Figura 11. Comprimento do hipocólito das plântulas cultivadas com os efluentes verde malaquita bruto e tratado com PAOs	41
Figura 12. Taxa de germinação dos experimentos com quatro variedade de tomate utilizando soro do leite na irrigação	42
Figura 13. Comprimento da radícula de plântulas de tomates irrigadas com o efluente soro do leite	43
Figura 14. Comprimento da parte aérea de plântulas de tomates irrigadas com o efluente soro do leite	44
Figura 15. Concentração de inibição em relação a 50% de germinação de plântulas de tomates irrigadas com o efluentes soro do leite	45
Figura 16. Concentração de inibição em relação a 50% do crescimento da radícula de plântulas de tomates irrigadas com o efluente soro do leite	46
Figura 17. Concentração de inibição em relação a 50% do crescimento da parte aérea de plântulas de tomates irrigadas com o efluente soro do leite	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1. Normas brasileiras sobre ensaios ecotoxicológicos	15
Tabela 2. Espécies de organismos-teste para ensaios ecotoxicológicos utilizados no Brasil	16
Tabela 3. Classificação das plantas bioindicadoras	17
Tabela 4. Comprimento da radícula e hipocólito para os testes ecotoxicológicos em diferentes volumes diários de regadura	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 Geral	13
2.2 Específico	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 Testes ecotoxicológicos	16
3.1.1 Organismos-teste	16
3.1.2 Organismos -teste vegetais	17
3.1.3 Classificação dos ensaios ecotoxicológicos	17
3.1.3.1 Teste de ecotoxicológico aguda	18
3.1.3.2 Teste de ecotoxicológico crônica	18
3.2 Tomate	18
3.2.1 Características anatômicas e morfológicas do tomateiro	19
3.2.2 Produção da tomaticultura brasileira	20
3.2.3 Fatores ambientais e nutricionais no cultivo do tomateiro	20
3.3 Tomateiro em testes ecotoxicológicos	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS	25
4.1. Montagem do experimento e análises realizadas	26
4.2. Planejamento experimental	27
4.2.1 Intensidade luminosa	27
4.2.2 Volume de regadura diária	28
4.2.3 Quantidade de substrato	28
4.3. Coleta e uso de efluentes	28
4.4. Amostragem e análise estatística	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 Variação da água	31
5.2 Variação da Intensidade Luminosa	34
5.3 Variação da Quantidade de Substrato	37
5.4 Efluente têxtil	39
5.5 Efluente soro do leite	42
6 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	

1 INTRODUÇÃO

Apesar da ampla importância da água potável, a cada dia ela tem se tornado mais escassa devido as grandes crises hídricas que tem passado o País. Além disto, os corpos hídricos que ainda existem são mal administrados pela população, sem conscientização da preservação do meio ambiente e de seus recursos naturais, assim contribuindo com a poluição hídrica cada dia mais. Jacobi e Grandisoli (2017) revelam que apenas um litro de água contaminada basta para poluir oito litros de água pura, sendo assim a poluição atinge níveis que crescem em altas proporções. Esta situação afeta, sobretudo, os países em desenvolvimento, onde cerca de 50% da população está exposta a fontes de água poluídas.

Algumas universidades têm uma parcela de contribuição nas ações de recuperação dos recursos hídricos e nas descontaminações das águas existentes em mananciais, e nas estações de tratamentos. Esta contribuição vem através de pesquisas relacionadas ao tratamento de água sujas (efluentes) sejam elas de origem industrial, agroindustrial ou doméstica que são despejados de qualquer forma na natureza. Essas pesquisas têm como objetivo tratar a água e devolvê-la a população de forma potável. Nelas o efluente sofre um tratamento físico-químico e logo após o mesmo passam por testes ecotoxicológicos.

Os testes ecotoxicológicos são ensaios biológicos ou bioensaios, onde normalmente são utilizados organismos denominados bioindicadores que são expostos a uma amostra de água ou sedimentos para estimar assim a toxicidade das substâncias químicas existentes nessas amostras. Através desses bioensaios avalia-se a intensidade do efeito agudo ou crônico produzido na sobrevivência, crescimento e reprodução dos organismos, ou métodos ecológicos que partem do levantamento das comunidades presentes no corpo de água ou do solo (RUBINGER, 2009).

Como há grande diversidade de metodologias para teste ecotoxicológicos, que contribui para obtenção de resultados variados, surge a necessidade de realizar uma padronização dos bioensaios para alcançar valores mais uniformes, obter testes mais eficientes e reproduzíveis (SIMÕES et al., 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Padronizar as melhores condições (luz, água e terra) para o cultivo de quatro cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de plântulas de tomate (*Solanum lycopersicum*. L.; solanaceae) em laboratório. Por fim, testes ecotoxicológicos com efluentes químicos e agroindustriais serão utilizados para validação.

Padronizar as condições ótimas para o desenvolvimento de cultivares de tomate, em laboratório, utilizando testes ecotoxicológicos com efluentes químicos e agroindustriais (para validação).

2.2 Específicos

- Aferir a incidência de luz ideal para o cultivo;
- Padronizar a quantidade de água para rega;
- Verificar a quantidade de substrato para o plantio;
- Averiguar o desempenho das cultivares nas melhores condições de água, luz e substrato.
- Aplicar os melhores resultados em testes ecotoxicológicos utilizando os efluentes (têxtil e agroindustrial – soro do leite) como água de rega.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Testes ecotoxicológicos

Ecotoxicologia é uma ciência que tem como finalidade analisar os danos que compostos químicos podem causar ao meio ambiente e a humanidade, quando são lançados nos corpos hídricos, solo e na atmosfera nas condições *in natura* ou tratada. Os danos causados por esses compostos podem ser estudados de maneira aguda ou crônica (BORGES, 2011).

O toxicologista francês, René Truhalt em 1969, foi o percussor para utilização da nomenclatura ecotoxicologia, essa palavra é a junção das palavras ecologia e toxicologia. Houve a necessidade de ocorrer a união destas duas palavras, devido à preocupação que começou a surgir nesta época não só com a natureza ou muito menos com a civilização, mas com conjunto, pois ambos estão relacionados (WALKER, 2006).

A ecologia busca estudar a interação entre as espécies e seu habitat (ZAGATTO; BERTOLETI, 2008). Já a toxicologia analisa as alterações que compostos químicos podem acarretar aos indivíduos ou habitat que entram em contato com os mesmos. Quando se refere à toxicidade de efluentes, essa subdivisão da toxicologia, busca estudar os danos que compostos químicos presentes no efluente podem causar, onde esses resíduos são despejados, (AREZON; NETO; GERBER, 2011).

Crescente poluição ao longo dos anos da água potável no Brasil decorrente tanto da população como das indústrias, por jogar nos corpos hídricos seus efluentes bruto ou tratado de forma inadequado. Contribuindo assim com escassez de água doce para consumo humano e também como matéria prima para produção de seus produtos e serviços.

Atualmente já existe uma preocupação das empresas em realizar o tratamento da água utilizada para posterior reuso. Porém, só os tratamentos físico-químicos não são suficientes para avaliar o potencial tóxico para meio ambiente. Logo, surge a necessidade de uma avaliação ecotoxicológica para averiguar se o método utilizado no tratamento ainda pode trazer danos ao ecossistema (RAMOS, 2018).

Costa et al, (2018) corrobora com Ramos (2018) que as análises físico-químicas não são suficientes para mensurar os possíveis impactos que os

efluentes trazem ao ecossistema. Logo, surge a necessidade de realizar os testes ecotoxicológicos para estudar os danos ambientais.

Esses testes no Brasil são fiscalizados pelas resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que também é responsável pelo despejo de efluentes e a idoneidade dos recursos hídricos do país. Já agência ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) responde pelas leis que norteiam os testes ecotoxicológicos, porém cada Estado possui um órgão ambiental que faz a fiscalização do ecossistema estadual.

No estado de São Paulo é a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) que responde pela fiscalização referente ao ecossistema. Porém, suas regulamentações não só são realizadas no Estado, pois servem de base para o País, assim trabalha em conjunto com a ABNT, conforme pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1: Normas brasileiras sobre ensaios ecotoxicológicos

Agência	Norma	Descrição
ABNT	NBR 15469:2007	Ecotoxicologia Aquática – Preservação e preparo de amostras
ABNT	NBR 12713:2009	Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade aguda – Método de ensaio com <i>Daphnia spp</i> (Crustacea. Cladocera)
ABNT	NBR 13373:2010	Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Crônica- Método de ensaio com <i>Ceriodaphnia spp.</i> (Crustacea. Cladocera)
ABNT	NBR 15088:2011	Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Aguda- Método de ensaio com peixes
ABNT	NBR 15499:2007	Ecotoxicologia Aquática – Toxicidade Crônica de Curta Duração- Método de ensaio com peixes
ABNT	NBR 12648:2011	Ecotoxicologia Aquática- Método de ensaio com algas (Chlorophyceae)
ABNT	NBR 15470:2007	Ecotoxicologia Aquática- Toxicidade em sedimento- Método de ensaio com <i>Hyalella spp</i> (Amphipoda)
ABNT	NBR 15308:2011	Ecotoxicologia Aquática – Método de ensaio com misídeos (Crustácea)
CETESB	L5. 227:2001	Teste de toxicidade com bactéria luminescente <i>Vibrio fischeri</i> – Método de ensaio
CETESB	L5. 228:2001	Teste de toxicidade aguda utilizando <i>Spirillum volutans</i> – Método de ensaio

Fonte: Adaptado de POMPEO et al., 2005.

Os testes de toxicidades ou ecotoxicológicos contribuem de maneira significativa para o controle, monitoramento e prevenção da poluição ambiental em nível nacional e internacional, por meio dos bioindicadores (POMPÊO et al., 2005). Os testes realizados com essas espécies ambientais possuem outro benefício que é o custo reduzido quando confrontados com outros métodos ambientais (FIALHO, 2002).

3.1.1 Organismos-teste

Os organismos de diferentes espécies podem ser utilizados como bioindicadores (MAKI, 2013). De forma geral, em Ecologia, podemos considerar os seguintes níveis tróficos: organismos produtores (algas), consumidores primários (microcrustáceos), consumidores secundários (peixes) e decompositores (bactérias) (AREZON; NETO; GERBER, 2011). Na **tabela 2** será apresentado alguns ensaios realizados no país com efluentes utilizando bioindicadores que foram citados acima.

Tabela 2. Espécies de organismos-teste para ensaios ecotoxicológicos utilizados no Brasil

Tipos de ensaios	Organismos- teste	Tipo de organismo	Nível trófico
agudo	<i>Daphia similis</i>	microcrustáceo	consumidor primário
agudo	<i>Daphia magna</i>	microcrustáceo	consumidor primário
agudo e crônico	<i>Pimephales promelas</i>	peixes	consumidor secundário
agudo e crônico	<i>Danio rerio</i>	peixes	consumidor secundário
agudo e crônico	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	algas	Produtor
agudo e crônico	<i>Desmodesmus subspicatus</i>	algas	produtor
crônico	<i>Ceriodaphnia dubia</i>	microcrustáceo	consumidor primário
agudo	<i>Vibrio fischeri</i>	bactéria	decompositor

Fontes: Adaptado de AREZON, NETO e GERBER, 2011.

3.1.2 Organismos -teste vegetais

As espécies pluricelulares e superiores, como as plantas, são organismos eucarióticos, isto é, com uma maior complexidade celular e genética, são facilmente cultiváveis em laboratório e reagem sensivelmente a

testes de ecotoxicidade, principalmente em forma de plântulas se tornando uma ferramenta valiosa como bioindicador (ALVES, 2001). A **tabela 3** retrata a classificação das plantas bioindicadoras.

Tabela 3. Classificação das plantas bioindicadoras

Tipo	Característica
Bioindicadoras	Apresentam sintomas visíveis como necroses, cloroses e distúrbios fisiológicos como redução no crescimento, redução no número e diâmetro de flores.
Biosensoras	Reagem aos efeitos dos poluentes com efeitos não visíveis, apresentando alterações bioquímicas, fisiológicas e celulares.
Bioarticuladoras	São as plantas que também não apresentam sintomas visíveis, sendo menos sensíveis aos poluentes, porém, dentro dos seus tecidos podem acumular poeira e gases.
Biointegradoras	Indica o impacto da poluição por meio de mudanças populacionais como aparecimento, desaparecimento ou mudança na densidade da população ou até de comunidades. Dentre os organismos bioindicadores, destacam-se os líquens, os musgos e as plantas superiores que têm sido amplamente empregados como métodos complementares de monitoramento da qualidade do ar e da presença de poluentes.

Fontes: Adaptado de PEDROSO, 2007.

3.1.3 Classificação dos ensaios ecotoxicológicos

Avaliações dos compostos químicos através dos ensaios ecotoxicológicos são definidas em três subdivisões de experimentos: curta duração (toxicidade aguda), média duração (toxicidade subaguda) e longa duração (toxicidade crônica) (PERIN, 2005).

Já os ensaios são identificados de acordo com tempo decorrido no experimento (curta; intermediária e de longa duração), o sistema utilizado para adicionar a solução (sistema estático, semi-estático e de fluxo contínuo) e a finalidade (PERIN, 2005); (mortalidade, taxa de natalidade, crescimento, tamanho corporal médio, má formações, interferências no ciclo de vida, genotoxicidade, taxa de alimentação, dentre outros) (AREZON; NETO; GERBER, 2011).

Ainda conforme Perin (2005, p. 28), “a exposição pode ser estática (o meio em que contém a substância tóxica é preparado no início do experimento

e não sofre modificação até o final do teste), semi-estático, (o meio é periodicamente renovado) ou continua (meio é renovado continuamente)".

3.1.3.1 Teste de ecotoxicológico aguda

Possui finalidade de estudar se a solução teste, pode trazer danos agudos (morte ou imobilidade) ao bioindicadores em um espaço de tempo reduzido. Se o efluente for danoso ao ponto de matar o bioindicador já pode ser considerado tóxico, mesmo que seja por um período de curto tempo (AREZON; NETO; GERBER, 2011).

3.1.3.2 Teste de ecotoxicológico crônica

Esse teste busca avaliar os efeitos da solução teste em um período maior de tempo para analisar ação do efluente sobre mais fases do ciclo de vida do bioindicador, para obter informações destes de pequenas e grandes alterações fisiológicas até a morte do organismo (AREZON; NETO; GERBER, 2011).

Outra maneira de avaliar os danos agudos é através da concentração de efeito (CE_{50}) ou pela concentração letal (CL_{50}) ou ainda pela concentração de inibição (CI_{50}), que é um estudo para averiguar se a solução teste ocasionou 50% da alteração/mortalidade/inibição dos bioindicadores que foram submetidos ao teste. Já no teste de ecotoxicológico crônica, a finalidade é obter a concentração de efeito não observado (CENO), que pode não ocasionar dano em curto período de tempo ao ciclo de vida do bioindicador, mas pode ocasionar alterações fisiológicas, genéticas e outras (BORGES, 2011).

3.2 Tomate

O vegetal *Solanum lycopersicum* L. (Família Solanaceae), conhecido popularmente como o tomateiro, tem sua origem demarcada na América do Sul, pois seus ancestrais são encontrados na Região dos Andes, compreendida entre os países do Chile, Bolívia, Colômbia, Peru e Equador. O México tem sido delimitado como o possível sítio primitivo de sua domesticação (MELO, 2007).

O tomateiro é classificado como uma planta indiferente ao fotoperíodo, ou seja, ele germina e floresce em qualquer condição de fotoperíodo crítico, entretanto ele responde a estímulos de intensidade luminosas diferentes (SILVA et al., 2012). As sementes germinam a uma taxa superior em presença de luz; assim como a raiz e os cotilédones, preparando a planta para o processo fotossintético. Por outro lado, no escuro há um aumento do alongamento caulinar e ocorre redução dos cotilédones (SUZUKI e KERBAUY, 2006).

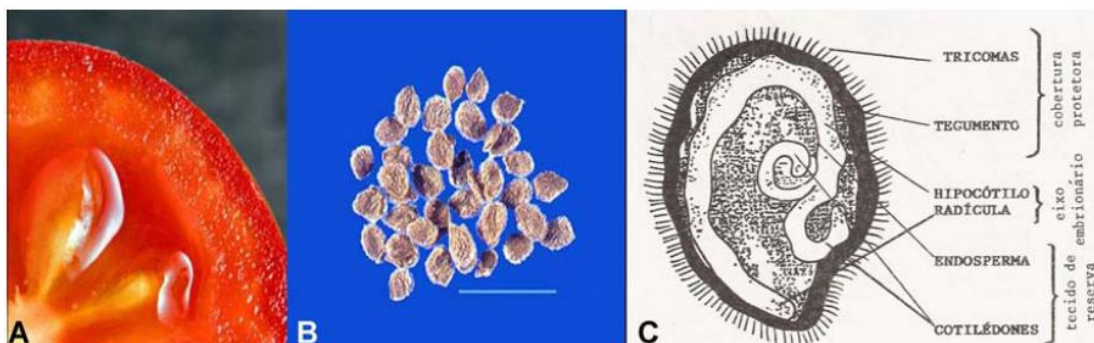
O tomate é uma hortaliça consumida em muitas partes do mundo através de diferentes formas de cultivo e tratos culturais (MELO, 2007). Ele apresenta muitos pontos positivos (ciclo, outras variedades, híbridos, enxertia, estaquia, importância econômica e tratos culturais e cultivo fácil) torna assim, um material muito relevante para ser aplicado em pesquisas com vegetais, pois já foram catalogados e descritas a finalidade de vários.

3.2.1 Características anatômicas e morfológicas do tomateiro

Esse vegetal que pertence a família Solanácea, tem por características ser herbáceo, possui ciclo de vida superior as plantas anuais, porém é cultivado com um ano. Também apresenta outros aspectos que são: folhas segmentadas, parte aérea maleável e piloso. Onde a anatomia assemelha-se a um arbusto com muitas bifurcações laterais (FILGUEIRA, 2000).

A semente é composta por uma cobertura protetora (tegumento e tricomas), pelo eixo embrionário (radícula e hipocótilo) e pelo tecido de reserva (dois cotilédones e endosperma) (MELO, 2007). Possui aproximadamente 2 a 3 mm de diâmetro, formato oval, com depressões laterais e superfície externa (testa) creme acinzentadas, coberta de pelos (tricomas) e pesam de 2,4 a 4,4 mg (RUBATZKY; YAMAGUCHI, 1997). A **figura 1** apresenta características e descrições das sementes de tomate.

Figura 1. Detalhe de sementes de tomate imersas em líquido gelatinoso na cavidade locular (A); (B) sementes exibindo recobertas por tricomas; (C) seção longitudinal de sementes de tomate.



Fonte: Melo, 2007.

3.2.2 Produção da tomaticultura brasileira

No Brasil, vários estados cultivam tomate, porém as grandes produções se concentram nas áreas da região Sudeste e Centro-Oeste. O tempo propício para ser feita a sementeira varia conforme as condições climáticas e geográficas de cada região (FILGUEIRA, 2000).

Segundo os dados IBGE para os anos 2016/17 (IBGE, 2017), a produção de tomate no País foi em torno de 4 milhões de toneladas. Para esse biênio a safra de cereais, leguminosas e oleaginosas, alcançou um total de 221,4 milhões de toneladas, 20,3% maior que a alcançada em 2016 (184,0 milhões de toneladas). A região Nordeste apresentou nessa mesma safra, cerca de 18,0 milhões de toneladas.

3.2.3 Fatores ambientais e nutricionais no cultivo do tomateiro

Em relação ao tomateiro, não só as variáveis genéticas podem reduzir a produtividade da cultura, como também aspectos nutricionais e ambientais (temperatura, luminosidade, manejo cultural, nutrientes e água) oriundas do meio onde o vegetal está inserido, podem influenciar de forma negativa em seu ciclo vegetativo, contribuindo assim, para um baixo desenvolvimento, e consequentemente, produtividade (SILVA et al., 2012; FERREIRA et al., 2013; SANTOS et al., 2017).

Os parâmetros que influenciam no ciclo do desenvolvimento fenológicos do tomateiro são:

- **Temperatura**—é um parâmetro crucial no cultivo de tomate, pois dela depende o desenvolvimento e crescimento do vegetal em todo seu ciclo de vida. A temperatura atua sobre a velocidade de absorção da água e nas reações bioquímicas, logo garantem uma uniformidade no desenvolvimento das

sementes e das plântulas, ocasionando em uma relação positiva com a % de germinação e em menor tempo, assim como desenvolvimento da planta (FERREIRA et al., 2013). Para a germinação, valores entre 11 e 34 °C são geralmente utilizados, com uma faixa ótima entre 16-29 °C. A temperatura ideal para o adequado desenvolvimento do vegetal é cerca de 20 e 24° C. os valores mínimos e máximo de temperatura para planta são de 18 e 32° C (HAIFA, 2019).

- **Umidade do solo** – os valores ideais de umidade de solo, variam entre 60 a 80%. Umidade superior ou inferior às citadas acarretam patologias no hipocótilo da planta e surgimento de anomalias ao longo do ciclo vegetativo (MELO, 2007).

- **Substrato** – o substrato apresenta uma importância tanto para o crescimento e desenvolvimento de todo ciclo vegetativo do tomate, pois absorve o volume de água adequado, proporciona a quantidade certa de nutrientes e no tempo mais viável para planta (MONTEIRO,2007). Considerando o cultivo de mudas, utilizar substratos (minerais ou orgânicos; natural ou sintéticos), com características totalmente diferentes, mas uma coisa é certa, não existe um substrato universalmente aceito como melhor para todas as culturas (ABAD BERJON, 2001).

Em testes laboratoriais, principalmente, onde condições ambientais e nutricionais podem ser controladas, é importantíssimo a otimização desses parâmetros de forma a garantir o máximo desenvolvimento das cultivares consideradas, podendo-se avaliar com maior efetividade, os testes ecotoxicológicos analisados.

3.3 Tomateiro em testes ecotoxicológicos

Várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas usando o tomate como bioindicador para testes ecotoxicológicos. É através destes bioensaios que é avaliado a toxicidade dos efluentes, entre eles: as nanopartículas férricas e cádmium, antibiótico, antimicrobiano natural (alicina), alicina; efluentes têxteis, silicone, solo contaminado com chumbo, nanopartículas de titânio e prata (WANG et al. 2012; BELLINO et al., 2017; JI et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2018)

Em seu trabalho Wang et al, (2012) realizaram testes ecotoxicológicos usando seis nanopartículas (kaolin, montmorilonita, hidroxiapatita, Fe_3O_4 , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ e $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) sozinhas ou impregnadas com cádmium, para avaliar os possíveis efeitos dessas substâncias químicas, na fisiologia e morfologia da radícula de plântulas de tomateiro. Obteve-se como resultado para as nanopartículas, que apenas a hidroxiapatita inibiu o crescimento da radícula entre concentrações de 500-2000 mg/L.. Em relação as nanopartículas com cádmio, houve um aumento anômalo em relação ao controle no crescimento das radículas que foram expostas as seguintes nanopartícula: montmorilonita (500-2000mg/L), Fe_3O_4 (1000-2000 mg/L), $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (100-2000 mg/L) e $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (2000 mg/L).

Antibióticos (cloranfenicol, espiramicina, espectinomicina e vancomicina) foram testados com sementes de tomate para avaliar seu efeito tóxico na germinação e crescimento da raiz em concentrações entre 0-1000 mg/L. Os resultados mostraram que esses antibióticos não afetaram a germinação das sementes, no entanto o desenvolvimento radicular foi afetado nas concentrações de 10mg/L de espectinomicina, 100 mg/L para cloranfenicol e 1000mg/L para espiramicina e vancomicina (BELLINO et al., 2018).

O efeito tóxico de alicina (*diallyl*-tiosulfinato) que é um composto antimicrobiano do alho em cultivo de tomates contra *Meloidogyne incognita* e *Botrytis cinerea* (nematoide e fungo que destroem o tomateiro). Percebeu-se que entre 1-200mg/L o efeito de mortalidade da allicin foi crescente, chegando a mais de 95% a 100mg/L e a 100% em 200mg/L. A alicina não apenas teve efeito microbicida, mas também estimulou o crescimento das plantas, com alturas das plantas entre 35 e 42 cm. Não foi relatado se esse crescimento foi um estímulo ou se alguma anomalia do crescimento esteve presente (JI et al., 2019).

Efluentes têxteis (*Direct Blue 38* e *Reactive Blue 15* em concentrações de 62,5 a 1000 mg/L) foram avaliados em placa com papel filtro na germinação e comprimento da raiz de sementes de tomate. Nesses testes o *Reactive Blue15* atuou negativamente na germinação, embora com baixo efeito reduzindo de 100 para cerca de 80% na concentração de 1000 mg/L. No entanto considerando a radícula, não se verificou diferença significativa entre o controle negativo e os testes realizados. Isso demonstra, que mesmo utilizando

um efluente em altas concentrações dependendo do organismo vivo, variações agudas podem não ser verificadas e por isso necessita-se de mais estudos (OLIVEIRA et al., 2018).

Silicone foi testado em plantas de tomate verificando seu efeito durante estresse hídrico. Percebeu-se que o silicone não alterou significativamente, por exemplo, o comprimento da raiz das plantas, e mesmo nas plantas submetidas a estresse hídrico, quando silicone foi aplicado, verificou-se um aumento do comprimento da raiz em relação a planta estressada, mostrando que esse composto pode ser utilizado no cultivo do tomate como forma de mitigação do estresse (YI et al., 2018).

Solo contaminado com chumbo (0-500 mg/kg) foi avaliado com plantas de tomate, cultivadas desde sementes por 2 meses. O interesse foi avaliar o estresse oxidativo presente nas folhas e utilizar essas análises como biomarcadores de contaminação por chumbo no solo (WANG et al., 2008).

Song et al. (2013) avaliaram o efeito ecotoxicológico de nanopartículas de titânio e prata, onde não houve diferença significativa para a germinação entre o controle e todos os experimentos testados. Para o comprimento da raiz por outro lado, percebeu-se que as nanopartículas de titânio não causaram efeito negativo em nenhuma das concentrações, por outro lado, as de prata diminuiriam significativamente e em ordem crescente o comprimento da raiz. Também se verificou nas plantas cultivadas durante semanas, a incorporação desses metais na raiz, caule, folhas e até mesmo nos frutos, mostrando alta toxicidade.

Antibióticos veterinários (concentrações entre 0,001-500mg/L) foram avaliados em sementes de tomate em relação a taxa de germinação e desenvolvimento da raiz. Verificou-se que os antibióticos não alteraram significativamente a taxa de germinação, no entanto, em relação à inibição do crescimento radicular, valores de 80 a quase 100% de inibição foram observados, se mostrando altamente tóxicos para o cultivo de tomate (PAN e CHU, 2016).

Outro trabalho que utilizou plantas de tomate para testes ecotoxicológicos de forma menos similares a esse trabalho foi o de plantas irrigadas com efluentes industriais (HASHIM et al., 2013).

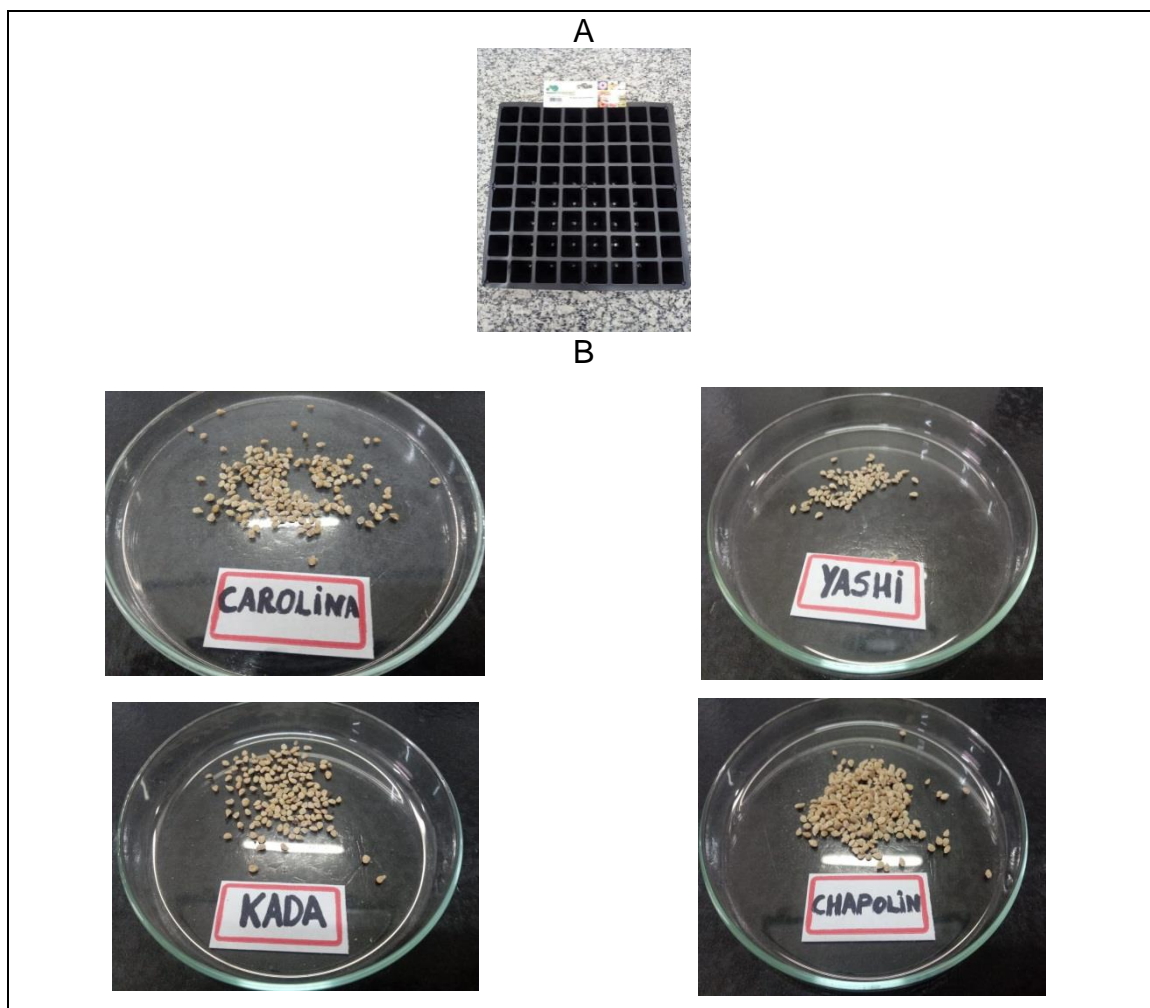
Diante do que foi exposto em termos de testes ecotoxicológicos com tomate, eles são realizados de forma diferentes com parâmetros nutricionais e ambientais, em placas ou em câmaras e tudo isso resulta em uma certa dificuldade de comparação entre os estudos. Nesse sentido, justifica-se o trabalho aqui apresentado, e a necessidade de padronização do teste para posterior uso dos efluente em um teste ecotoxicológico.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no laboratório de Eletroquímica Aplicada (LEAp) do Instituto de Química e Biotecnologia (IQB) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Esses experimentos tiveram a finalidade de padronizar o teste ecotoxicológico para observar a toxicidade no solo de efluentes oriundos de indústria têxtil e agroindústria, como potencial reutilização na irrigação.

Para o processo de padronização em laboratório, foram utilizadas sementes de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) para o plantio nas células (tubetes) sendo elas da marca Feltrin® e Isla® das cultivares (*var.*), híbridas amplamente comercializadas no Brasil, Carolina, Yashi, sendo tomate cereja (*var. cerasiforme*); Santa Cruz Kada e Chapolin (**Figura 2**).

Figura 2. Materiais utilizados nos experimentos. A- sementeira; B-Cultivares



Fonte: Autor, 2019

Durante o experimento foi testado: a intensidade de luz, a quantidade de água diária utilizada na irrigação e quantidade de solo por célula. Após a realização destes processos, ocorreu a adequação metodológica onde foram utilizados os dois efluentes na forma *in natura* e tratado por reação de Fenton para o efluente têxtil, e do soro do leite (agroindustrial) apenas *in natura*. A partir daí, foram avaliados a taxa de germinação (%), crescimento da radícula (mm) e hipocótilo (parte aérea)(mm), utilizando um paquímetro digital (Disma®, 0-150 mm)

4.1. Montagem do experimento e análises realizadas

Para realização do procedimento utilizou-se sementeira da marca Verdi Max®, de poliestireno alto impacto com 64 células das seguintes dimensões: espessura 0,045 cm, comprimento 34,2 cm, profundidade 5,5 cm, tamanho da célula 3,5 cm x 3,5 cm, volume da célula de 30 cm³, furo inferior da peça 1,0 cm x 1,0 cm.

O substrato comercial adicionado à sementeira foi da marca Verde E Forte® composto por bagaço de cana, torta de filtro, esterco de gado curtido, farelo de arroz, farelo de soja, feno e calcário, contendo as seguintes características físico-químicas: matéria orgânica 30%, relação C/N máxima 13/1, nitrogênio 1,75 - 1,9%, fósforo 0,7- 0,9%, potássio 1,3 - 1,5 %, cálcio 2,0 - 2,5%, umidade 35 - 40% e pH 7- 8.

Para execução do experimento, primeiramente foi pesado o substrato em balança semi analítica e logo após depositado nas cavidades da sementeira. Logo após foram adicionadas três sementes em cada célula posicionados a cerca de 1 cm profundidade em relação a superfície. A regadura foi realizada uma vez por dia, em um período de 15 dias, tempo considerado no estudo para o desenvolvimento das plântulas.

O acondicionamento da sementeira foi realizado em uma sala climatizada a 24 ± 2 °C. A temperatura e umidade do solo foram medidos diariamente. Após 15 dias foi averiguada a taxa de germinação pela Equação 1.

$$\% \text{ IG} = \text{ICR} * (\text{SGA}/\text{SGC}) * 100$$

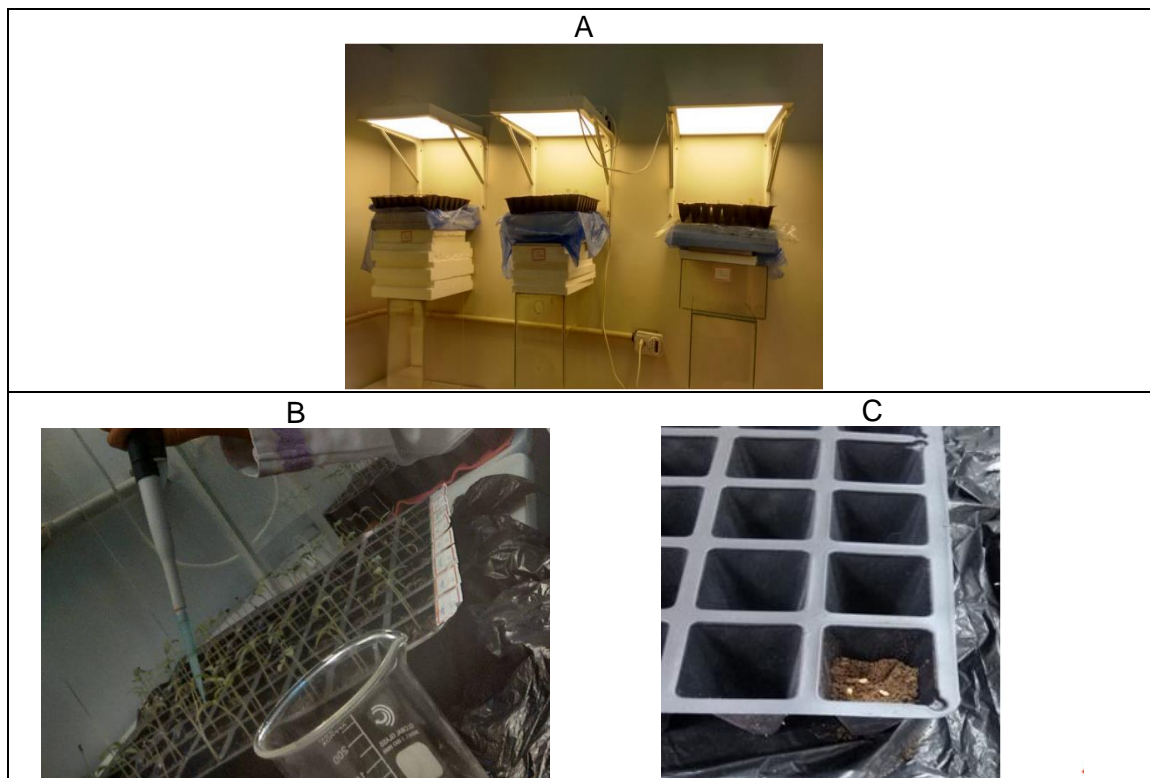
Equação (1)

Onde: IG é o Índice de Germinação, SGA é o número de Sementes Germinadas da Amostra e SGC é o número de Sementes Germinadas no Controle.

4.2. Planejamento experimental

Como a finalidade inicial do trabalho é a padronização das condições de cultivo em laboratório das cultivares de tomate. Então, foram estudadas três variáveis: intensidade luminosa, volume utilizado na regadura das células e quantidade de substrato por célula (**Figura 3**), sendo cada variável estudada em um conjunto de experimentos, realizados sequencialmente.

Figura 3. Variáveis estudadas: A. Intensidade luminosa; B. Volume de água para regadura; C. Quantidade de substrato



Fonte: Autor, 2019

4.2.1 Intensidade luminosa

Considerou-se três intensidade de luz (30, 60 e 120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e mantido constante o volume de água e quantidade de substrato (2 mL dia^{-1} e 20 g, respectivamente). Foram controladas as umidades e temperatura do solo, assim como a incidência luminosa, três vezes (início, meio e no final) no

decorrer do experimento. A umidade foi realizada por um medidor Top Garden®, a temperatura foi medida utilizando um termômetro DIGITAL® (-50 - +300 °C) e a intensidade luminosa foi controlada por um radiômetro (Delta Ohm 2302.0).

4.2.2 Volume de regadura diária

Nesse estudo, utilizou-se volumes diários de regadura de 1, 2 e 3 mL, mantendo-se constantes a intensidade luminosa ($120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e quantidade de substrato (20g). O intuito foi de avaliar o requisito hídrico para o maior desenvolvimento das plântulas (ou seja, de não limitar a disponibilidade hídrica).

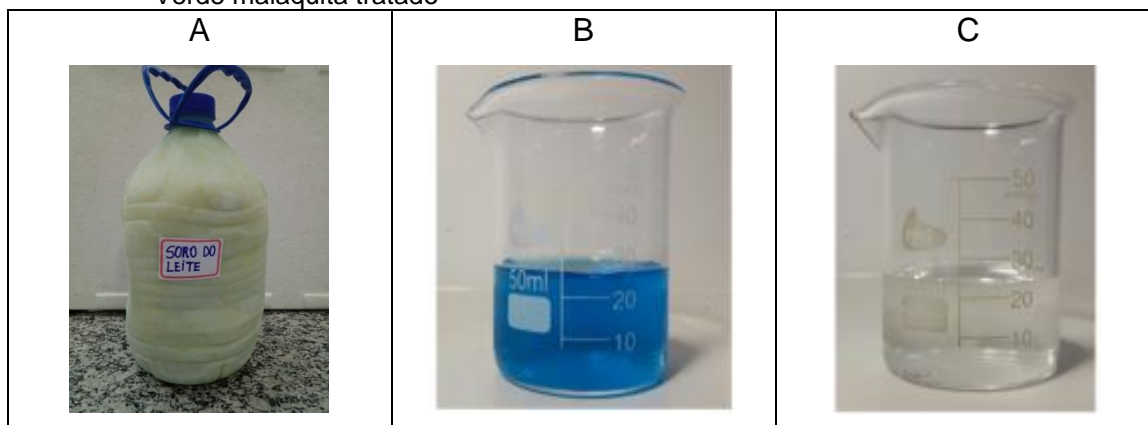
4.2.3 Quantidade de substrato

As concentrações de substrato utilizadas foram de 10, 15 e 20g, com o intuito de otimizar a quantidade de solo utilizada, visando a redução de gastos do experimento. Foram mantidos constantes a intensidade luminosa ($120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e o volume de regadura diário (2 mL).

4.3. Coleta e uso de efluentes

Para a realização dos bioensaios ecotoxicológicos foram testados dois efluentes, um agroindustrial (soro do leite) e um têxtil (verde malaquita) (**Figura 4**).

Figura 4. Efluentes utilizados nos bioensaios: A. Soro do leite; B. Verde malaquita bruto; C. Verde malaquita tratado



Fonte: Autor, 2019

O efluente verde malaquita bruto e tratado com reação de Fenton, foram disponibilizados por Ramos (2018). O efluente tratado consistiu de uma solução de verde malaquita (10 mg/L) que passou por tratamento de Fenton que baseou-se na degradação de H₂O₂ (2,5 mM) em radicais hidroxilas em meio ácido catalisada por Fe²⁺ (0,5 mM) em pH 3,0 a 25 °C. Os resultados alcançados foram à redução de 98% da cor e 82% da DQO do efluente.

O soro do leite foi coletado no Instituto Federal de Alagoas – Campus Satuba em janeiro de 2019, sendo um efluente da produção de queijo coalho (9°34'29.08"S 35°49'15.25"O), sendo filtrado em papel de filtro qualitativo e centrifugado a 3000rpm por 15 min (CetriLab – 80-2b-15mL), sendo congelado a -18 °C até o momento do uso. As características físico-químicas do efluente foram: DQO (mg O₂ L⁻¹) - 94869,84 ± 12770,94, Nitrogênio total (mg N L⁻¹) - 801,26 ± 2,33, Fosfato (mg PO₄³⁻ L⁻¹) - 681 ± 19,30 e pH - 6,19 (A caracterização foi feita pelo grupo do laboratório que faz tratamento biológico, sendo apenas cedido ao trabalho).

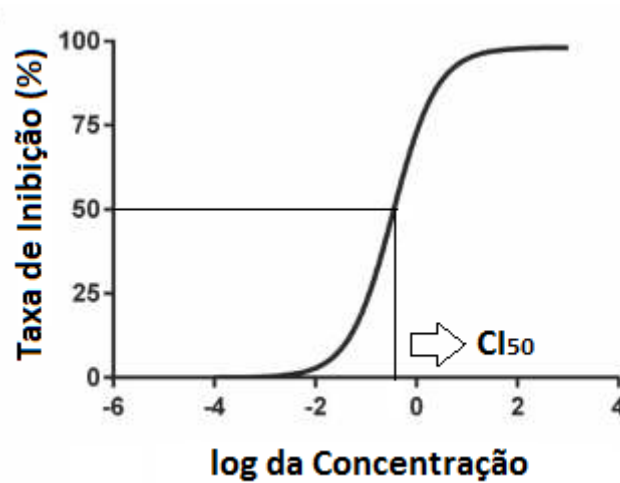
A avaliação ecotoxicológica do efluente agroindustrial (soro do leite) foi feita testando-se diluições dos efluentes para que se possa avaliar a concentração inibitória de 50% do parâmetro avaliado em relação ao controle (Cl₅₀). Para tanto se costuma construir um gráfico de taxa de inibição pelo log da concentração do contaminante utilizado. A taxa de inibição é calculada pela equação 2.

$$\text{Taxa de Inibição (\%)} = 100 - \frac{N}{N_c} * 100 \quad \text{Equação (2)}$$

onde: N é o valor medido da variável analisada (germinação em %, radícula e hipocótilo em mm), e N_c é o valor medido da mesma variável do sistema cultivado sem contato com o efluente testado, ou seja, o controle, que em teoria deve se desenvolver mais. Sendo assim, a taxa de inibição varia entre 0-100%.

Para facilitar a visualização tem-se a **Figura 5**, onde se percebe como calcular Cl₅₀. A partir do gráfico, se faz a correspondência entre a taxa de inibição de 50% com o log da concentração correspondente.

Figura 5. Gráfico de taxa de inibição por log da concentração do contaminante. Usada para se encontrar CI_{50} .



Fonte: Adaptado de Minho et al., 2016

Para o soro do leite as diluições seriadas foram de 2,5, 5, 10, 20, 40, 60, 80 e 100%, permitindo obter a CI_{50} . Para os efluentes têxteis, por outro lado, utilizou-se apenas as concentrações 100%, ou seja, *in natura* e tratado puros, uma vez que o intuito era apenas comparar se eles diferiam sua toxicidade nas plântulas de tomate, ou seja, medindo a eficiência do tratamento.

4.4. Amostragem e análise estatística

Para cada condição testada foram analisadas 16 repetições ($n=16$) para a análise da influência da intensidade de luz, volume diário de regadura, quantidade de substrato, avaliação dos efluentes têxteis e do efluente agroindustrial (soro do leite). Foram desconsiderados os 20% menores valores dos resultados obtidos, pois se verificou que essa foi a % média de sementes que não germinam mesmo na condição controle. Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pelo teste de Tukey utilizando o programa GraphPad Prism 6 considerando $p < 0.05$ (95% de significância estatística).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção será apresentado o detalhamento dos resultados obtidos neste trabalho. Inicialmente será discutida os resultados da padronização dos experimentos em relação a quantidade diária de água na regadura das células, intensidade luminosa e quantidade de solo por célula de germinação utilizada. Apesar do amplo uso de bioensaios vegetais na investigação científica, ainda são considerados baixos o número de publicações que buscam aperfeiçoar as condições metodológicas, de modo a aumentar a reprodutibilidade e eficiência desses testes em laboratório (SIMÕES et al., 2013), justificando essa primeira etapa do trabalho.

Por fim se testará a metodologia definida na etapa anterior, primeiro, com efluente têxtil (verde malaquita) *in natura* e tratado, e por último, com soro do leite (efluente agroindustrial); tipologia de efluentes que vêm sendo usados em testes ecotoxicológicos com tomate (HASHIM et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2018; YI et al., 2018), com o intuito de validar a metodologia adotada.

5.1 Variação da água

A partir dos dados da **tabela 4**, pode-se verificar que há uma diminuição significativa entre os valores de desenvolvimento das plântulas ao se considerar 1 plântula e ao se fazer a média com 2 ou 3 plântulas (Teste de Tukey $p < 0.05 - 95\%$); logo, percebe-se que as plântulas se desenvolvem de modo diferente. Partindo desse princípio, se considerou apenas 1 plântula, a mais desenvolvida/adaptada às condições padronizadas, pois expressou de forma significativa o melhor desenvolvimento na condição de cultivo, ou seja, se inoculou 3 sementes para que estatisticamente pelo menos 1 se desenvolva bem e se possa avaliar de maneira mais clara os testes ecotoxicológicos.

Tabela 4. Média do Comprimento da radícula (mm) e do hipocólito (mm) de quatro cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomate em relação ao número de plântulas submetidas a diferentes volumes diários de regadura.

Comprimento da Radícula (mm)					
Plântulas	Volume de Água	Carolina	Yashi	Kada	Chapolin
1	1 mL	35,15 ± 2,89	38,47 ± 5,49	29,65 ± 4,46	25,31 ± 7,99
	2 mL	57,56 ± 11,97	49,83 ± 7,21	34,98 ± 9,80	59,50 ± 4,88
	3 mL	24,82 ± 4,75	61,66 ± 16,66	55,53 ± 13,54	50,71 ± 13,17
2	1 mL	31,80 ± 2,73	33,59 ± 5,45	24,09 ± 5,42	20,12 ± 7,89
	2 mL	50,70 ± 9,78	41,22 ± 6,63	28,55 ± 7,18	51,56 ± 6,55
	3 mL	18,11 ± 4,96	47,10 ± 16,71	36,37 ± 13,29	40,91 ± 12,76
3	1 mL	27,43 ± 3,06	25,98 ± 6,62	17,73 ± 5,13	14,22 ± 6,05
	2 mL	44,56 ± 7,62	35,58 ± 8,00	22,86 ± 5,83	41,90 ± 5,09
	3 mL	12,49 ± 3,69	39,07 ± 18,67	25,28 ± 9,66	33,62 ± 11,34
Comprimento do Hipocólito (mm)					
	Volume de Água	Carolina	Yashi	Kada	Chapolin
1	1 mL	36,76 ± 1,52	41,07 ± 2,88	52,50 ± 4,97	40,50 ± 7,62
	2 mL	51,65 ± 4,45	62,53 ± 5,62	86,21 ± 6,06	85,14 ± 6,89
	3 mL	44,40 ± 3,78	72,08 ± 10,70	88,36 ± 21,04	72,87 ± 5,89
2	1 mL	34,86 ± 1,66	38,88 ± 2,61	43,47 ± 7,55	33,17 ± 12,03
	2 mL	49,25 ± 3,4	58,73 ± 5,89	79,35 ± 5,85	76,40 ± 5,05
	3 mL	36,07 ± 8,25	60,05 ± 12,78	63,65 ± 23,44	63,40 ± 9,77
3	1 mL	31,04 ± 2,79	31,03 ± 5,59	31,54 ± 6,69	23,68 ± 9,22
	2 mL	46,04 ± 3,29	54,17 ± 5,65	69,52 ± 10,35	64,87 ± 11,46
	3 mL	25,05 ± 6,25	49,45 ± 16,09	45,15 ± 18,13	54,31 ± 12,15

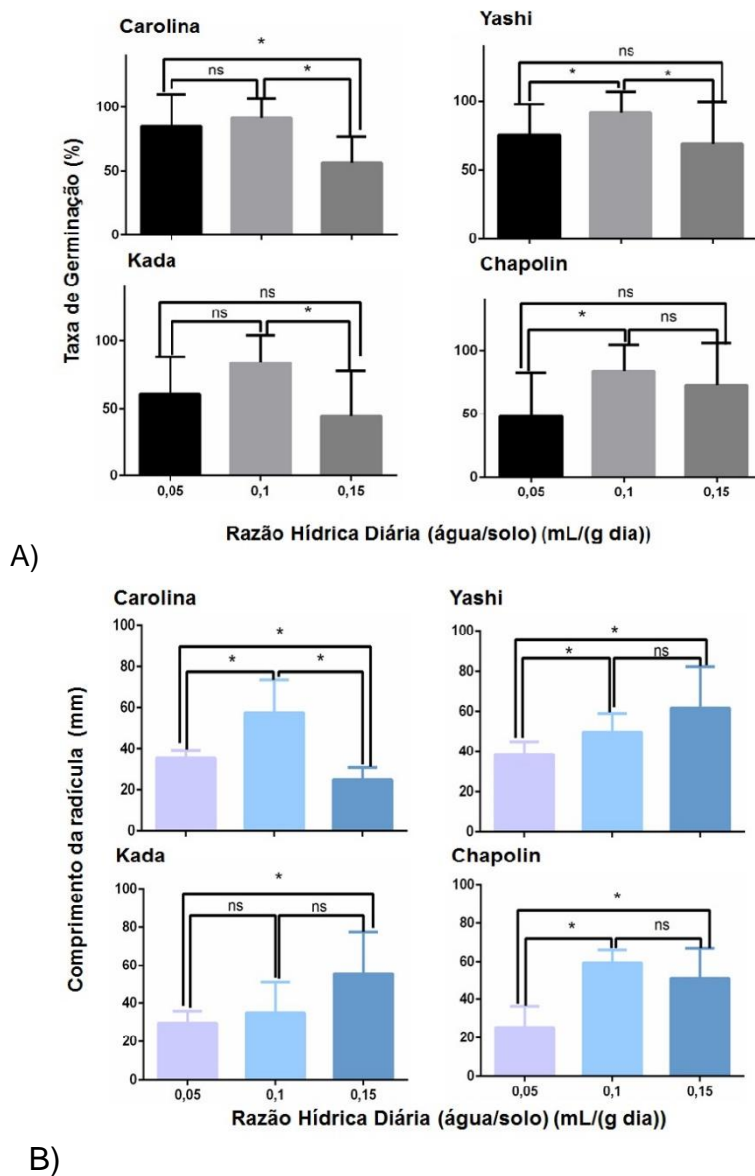
Fonte: Autor, 2019.

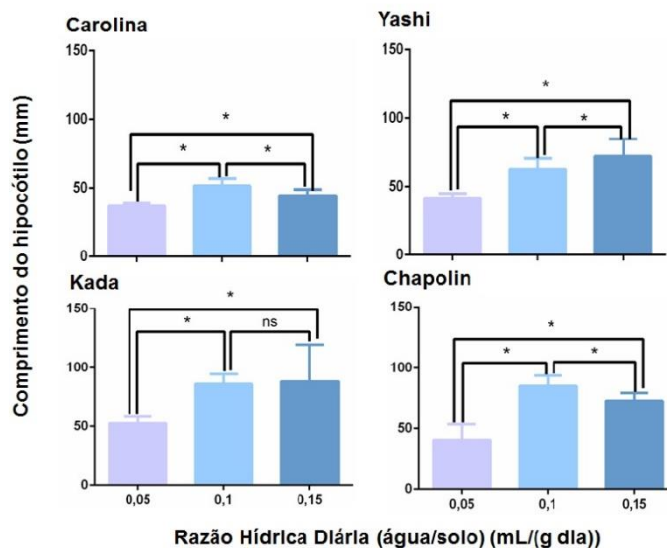
Essa consideração evita alguns inconvenientes como: nem todas as sementes germinam, logo uma média considerando uma planta não germinada diminuiria a média global, e mesmo as que germinaram, podem não se encontrar em condições semelhantes como mesma disponibilidade de água ou luz ou distância da cavidade da sementeira, mesmo considerando a mesma célula. Sabendo-se que a padronização da análise dos resultados se baseou em uma plântula, a mais desenvolvida entre 3 sementes, parte-se para uma análise do % de germinação dos brotos, pois a quantidade de água adicionada deve ser suficiente para que as plântulas germinem (**Figura 6A**).

Como se percebe na **Figura 6A**, os melhores resultados se apresentaram quando a razão diária de regadura por célula foi de 2mL, considerando comprimento da radícula e hipocólito, (alcançando valores maiores que 90% de germinação para as cultivares carolina e yashi e 80% para Chapolin e Kada). Logo, um excesso de água durante a regadura pode influenciar negativamente na taxa de germinação das sementes, como aconteceu para as cultivares Carolina, Yashi e Kada, quando se utilizou 3mL. Esse resultado corrobora com Pires et al. (2009), no qual percebeu um

decréscimo significativo ($p < 0.05$) no desenvolvimento do tomateiro quando a taxa de irrigação foi elevada.

Figura 6. A. Taxa de germinação (%); B. Comprimento da radícula (mm) e C. Comprimento do hipocótilo (mm) das cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) para testes ecotoxicológicos em diferentes volumes diários de regadura.





C)

Fonte: Autor (2019).

De forma a padronizar o experimento para as 4 cultivares, foi escolhido 2mL de água para regar diariamente, pois a germinação é um parâmetro inicial que vai permitir posterior análise do desenvolvimento das plântulas, logo é importante garantir que o experimento testemunha (teste controle) germine bem (**Figura 6A**).

Para comprimento da radícula e hipocólito, a análise confirmou que utilizando 3mL de água diário faz com que as plântulas se desenvolvam de modo semelhante ou inferior as utilizando 2mL, ligando-se aos dados mostrados para taxa de germinação (**Figura 6B e C**).

Excesso de umidade pode ocasionar redução da disponibilidade de oxigênio proporcionando condição de hipóxia (SIMÃO et al., 2013). Condições anaeróbicas são um fator limitante em processo de germinação vegetativo, pois há uma relação negativa entre volume de líquido utilizado na regadura e disponibilidade de oxigênio para as sementes (MACIAS et al., 2000; SOUZA et al., 2010)

5.2 Variação da Intensidade Luminosa

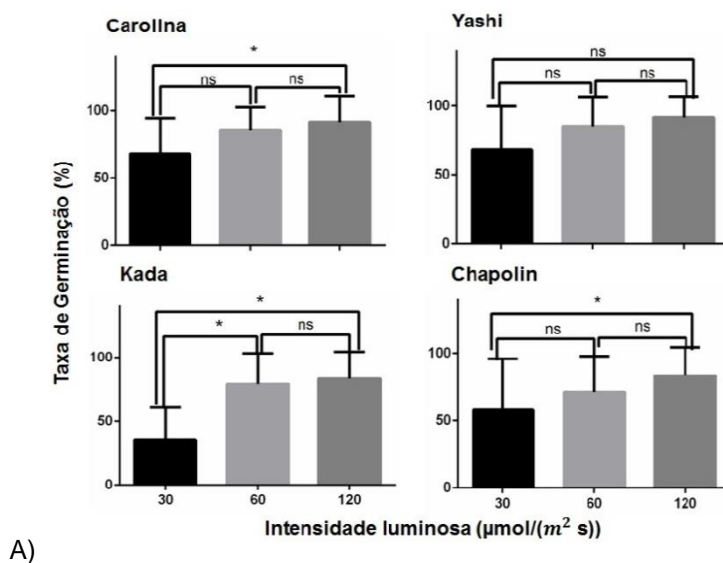
Vários fatores internos podem afetar a germinação das sementes, entre eles, a intensidade luminosa, que pode interferir de modo positivo ou negativo, a depender da cultivar (SILVA et al., 2012). Valores reduzidos de luminosidade

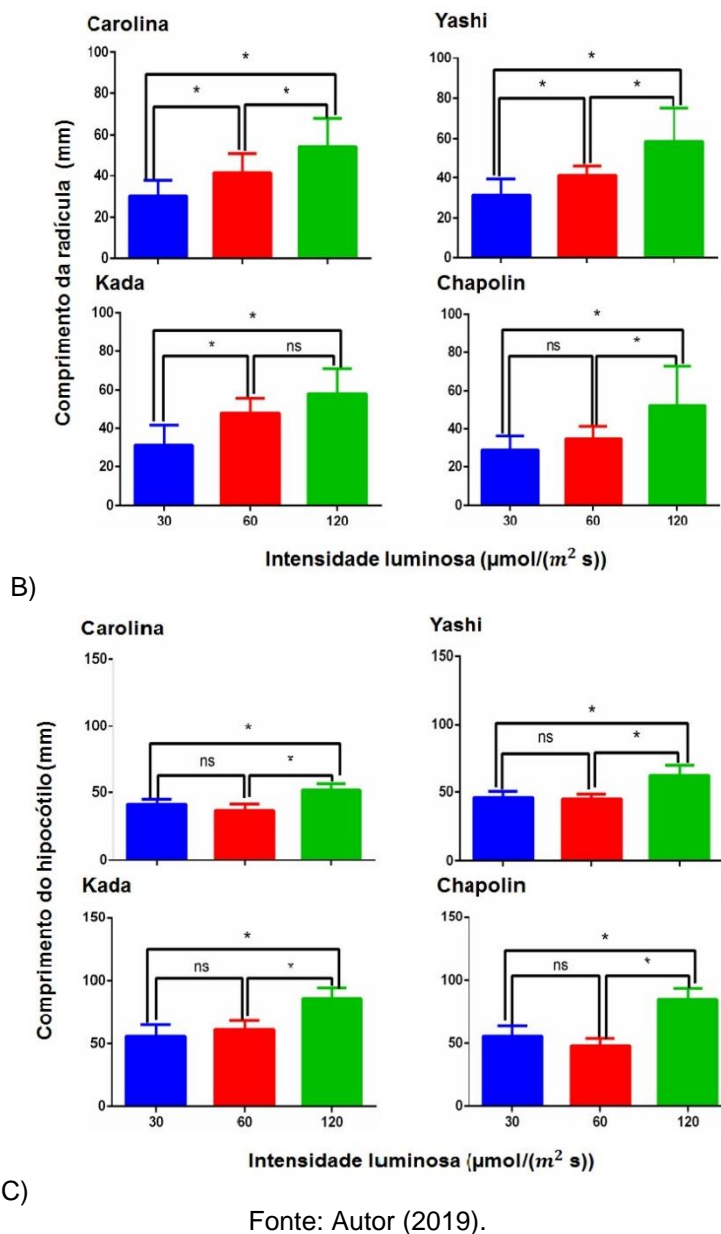
podem incidir de forma negativa sobre o desenvolvimento vegetativo em plantas de tomate (BELFORT, 2004; MELO, 2007).

Nesse contexto, estudou-se a intensidade de luz com a finalidade de se verificar em qual intensidade haveria um maior desenvolvimento das plântulas, uma vez que a fotoinibição/fotoestimulação poderia ocorrer. Relembrando que se decidiu considerar apenas uma plântula (a mais desenvolvida das três sementeiras), 2mL de volume de água diária em 20 g de substrato.

Em relação à germinação, verificou-se que para as cultivares carolina, kada e chapolin a melhor intensidade de luz demonstrou-se ser entre 60-120 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, onde não se verificou diferença estatística significativa, apesar da cultivar yashi germinar independentemente do intervalo de intensidade luminosa utilizado (**Figura 7A**).

Figura 7. A. Taxa de germinação (%); B. Comprimento da radícula (mm) e C. Comprimento do hipocótilo (mm) das cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) para os testes ecotoxicológicos em diferentes intensidades luminosas.





Tanto para raiz quanto para o hipocótilo a maioria das cultivares se desenvolveram significativamente melhor ($p < 0,05$) para o valor de intensidade $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ em relação a 30 e $60 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, com exceção para a radícula da cultivar kada (sem diferença estatística entre 60-120) (**Figura 7B e C**).

No entanto, é importante ressaltar que são cultivares diferentes e podem se comportar de modo diferente. No entanto, o teste do desenvolvimento das plântulas apontou $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ como melhor em todas as cultivares, sendo

a escolha mais viável visando uniformidade no procedimento para as 4 cultivares consideradas.

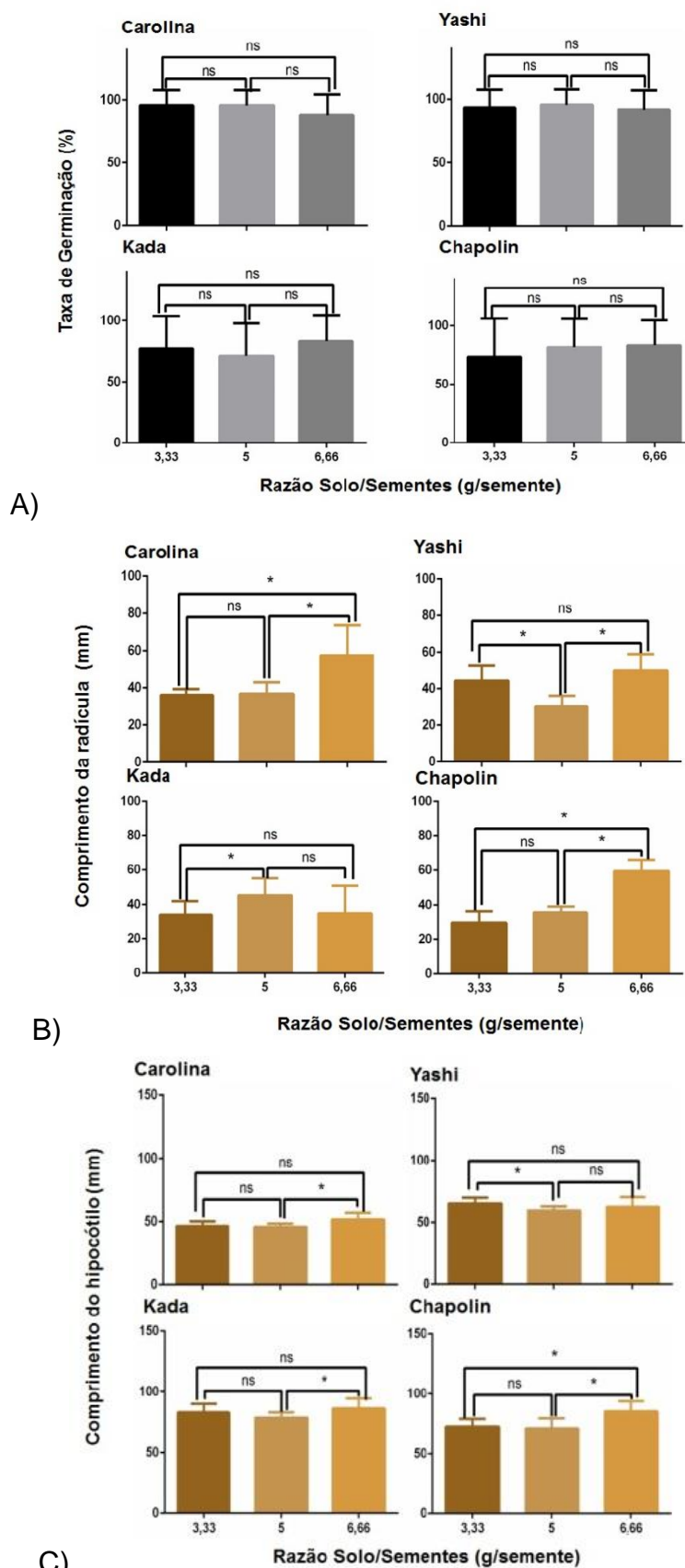
5.3 Variação da Quantidade de Substrato

Como não se conhecia qual a relação adequada da quantidade de substrato para cada célula da sementeira no cultivo das plântulas de tomate, decidiu-se testar diferentes quantidades por célula com a finalidade de se otimizar o custo ou a efetividade do teste.

A quantidade e tipo de substrato influenciam significativamente na germinação e desenvolvimento de mudas vegetais, pois o substrato deve fornecer não apenas os nutrientes necessários, mas ser suporte adequado ao crescimento da radícula e parte aérea e, conseqüentemente, sustentação da planta (CETNARSKI FILHO e CARVALHO, 2009; FLORES et al., 2014), principalmente em relação ao tomate (SANTOS et al., 2017). Uma irrigação inadequada (excesso ou falta, relação água/solo/tempo alta ou baixa) pode comprometer a fertilidade biológica, física e química do solo (INCAPER, 2010).

Em relação à germinação, não houve diferença estatística significativa para todas as cultivares em todas as condições avaliadas ($p > 0.05$) (**Figura 8A**). No entanto, para a radícula percebeu-se que um maior desenvolvimento ocorreu quando se utilizou 20 g de substrato (razão de solo/semente de 6,66), com exceção para a cultivar Kada, a qual obteve maior expressão em quando se usou 15 g de solo, mas ressalta-se que não houve diferença estatística com o experimento realizado com 20 g (**Figura 8B**).

Figura 8. A. Taxa de germinação (%); B. Comprimento da radícula (mm) e C. Comprimento do hipocótilo (mm) das cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) para os testes ecotoxicológicos em diferentes quantidades de substrato por célula de cultivo

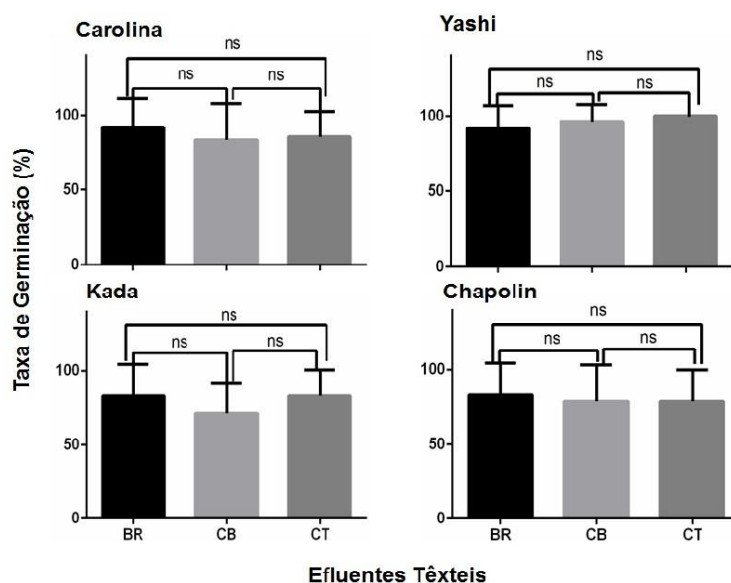


É importante ressaltar outro inconveniente: a quantidade de substrato utilizado (10-15g_{solo}/célula) não havia a capacidade de absorver a totalidade da água inserida, lixiviando o solo continuamente e causando problema de escoamento de líquido na câmara de germinação, principalmente ao se utilizar 2-3 mL. Resumidamente: o desperdício de água, lixiviação do solo e tombamento das plantas devido ao se utilizar um volume em excesso para quantidade de solo em cada célula. Por isso, utilizar 20 g de substrato se mostrou o mais adequado à germinação e cultivo das plântulas.

5.4 Efluente têxtil

De acordo com a **Figura 9**, não houve diferença estatística quando confrontados os resultados obtidos na germinação das quatro cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) entre o efluente na sua forma bruta, tratada e também com o controle. Demonstrado assim, que o efluente tanto na sua forma bruta como tratada, não interfere no processo germinativo do tomateiro. Esses resultados corroboram com os valores alcançados por Oliveira et al. (2018) utilizando efluente têxtil na avaliação da taxa de germinação dos efluentes preto direto 38 e azul reativo 15.

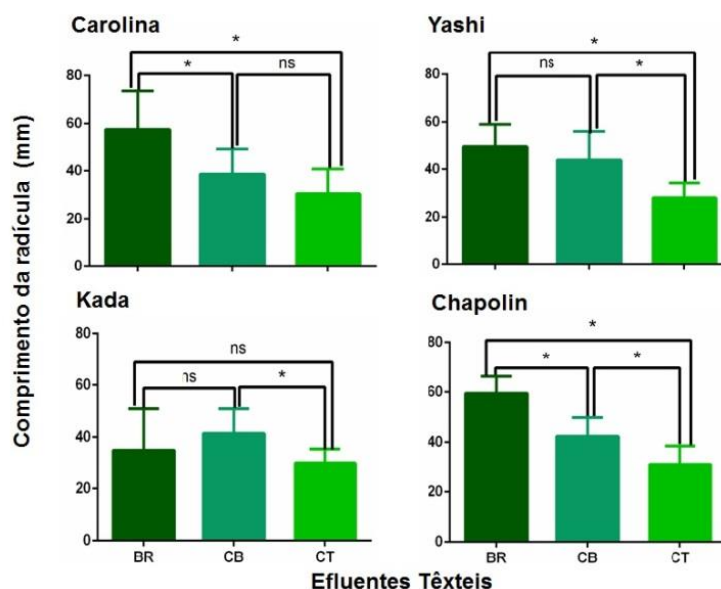
Figura 9. Taxa de germinação (%) (BR: branco, CB: corante bruto e CT: corante tratado) das cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) cultivadas com verde malaquita bruto e tratado por POAs.



Fonte: Autor (2019).

Na **Figura 10**, é analisado ação do efluente e do controle em relação ao parâmetro crescimento da radícula para as quatro cultivares. Na cultivar carolina não existiu diferenças estatísticas ($p>0.05$) no desenvolvimento da raiz das plântulas entre o efluente na sua forma bruta e tratada, porém houve um declínio no crescimento da radícula quando confrontados os valores alcançados do efluente nas suas duas formas em relação ao controle.

Figura 10. Comprimento da radícula (mm) (BR: branco, CB: corante bruto e CT: corante tratado) das plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) cultivadas com o efluente verde malaquita bruto e tratado com PAOs



Fonte: Autor (2019).

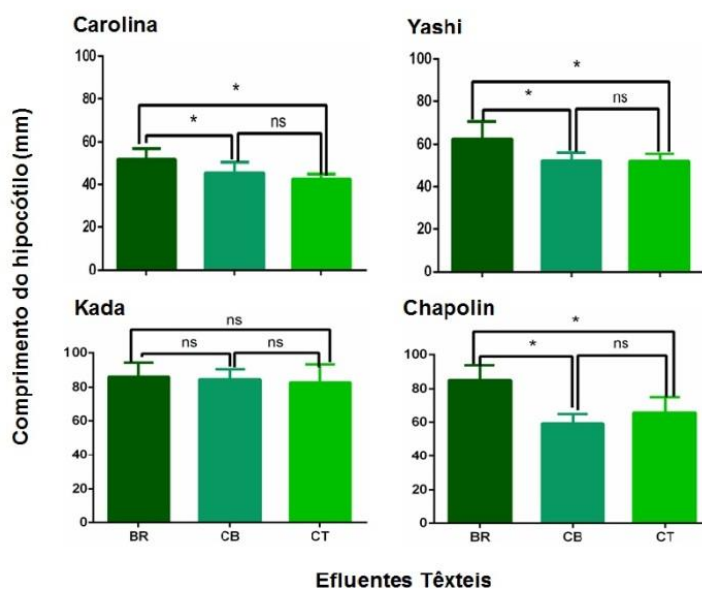
Porém na cultivar Yashi ocorreu uma inibição no crescimento da radícula quando foi regado o efluente na sua forma tratada quando comparado com efluente no seu estado bruto e com o controle. Não houve inibição entre o efluente bruto quando confrontado com controle.

Quando analisada a cultivar Kada pode ser observado que só existiu inibição no desenvolvimento da radícula entre o efluente nas suas duas formas. Já para cultivar Chapolin ocorreu declínio no crescimento da radícula tanto no efluente no seu estado bruto como tratado. Mas um comportamento que foi presente em todas as cultivares é que o efluente na sua forma tratada foi mais

tóxico que no estado bruto. Conforme Ramos (2018) essa situação pode ocorrer, pois apesar dos valores promissores obtidos no tratamento físico-químico com Fenton, quando se considera a redução de parâmetros como cor e DQO, após o tratamento via reação de Fenton os compostos gerados ou subprodutos podem exibir uma toxicidade maior ou igual a que já existia.

Por outro lado, na **Figura 11**, foi realizada avaliação do efluente sobre o hipocótilo. E pode ser observado que houve comportamentos semelhantes em três cultivares (carolina, yashi e chapolin), onde não houve diferença significativa entre o efluente em suas duas condições. Mas existiu diferença estatística ($p < 0.05$) quando confrontados o efluente em seus dois estados com controle. Porém na cultivar kada não ocorreu interferência no desenvolvimento do hipocótilo quando confrontados os dados obtidos tanto para o efluente nos seus dois estados como para o efluente (bruto e tratado) com o controle.

Figura 11. Comprimento do hipocótilo (mm) (BR: branco, CB: corante bruto e CT: corante tratado) das plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) cultivadas com os efluentes verde malaquita bruto e tratado com PAOs



Fonte: Autor (2019).

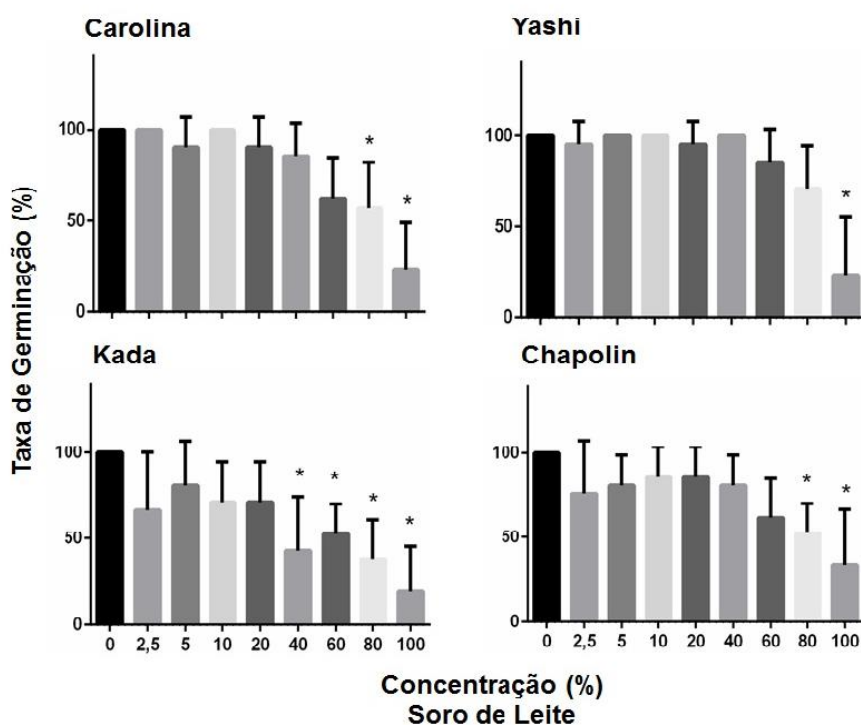
Com isso, pode-se verificar que a sensibilidade ecotoxicológica no tomate para efluentes têxteis não se mostrou muito expressiva, ou seja, talvez não seja, o melhor bioindicador para esse tipo de efluente. Além disso, foi possível visualizar que há diferenças no teste ao se comparar cultivares

diferentes. Portanto, esse trabalho é de alta relevância para elucidar melhor quais cultivares de tomate podem servir como organismo teste em efluentes têxteis.

5.5 Efluente soro do leite

A **figura 12** revela o índice germinativo de plântulas de tomates em ensaios ecotoxicológicos realizados em laboratório, utilizando como água de regadura um efluente agroindustrial da fabricação de queijo, o soro do leite. Diante dos resultados obtidos pode-se observar que para a cultivar Carolina as maiores concentrações de 80 e 100% do soro de leite, mostraram-se tóxicas às plântulas de tomates, a mesma condição pode-se ser constatada para a cultivar Chapolin. Já à Yashi apenas a maior concentração, 100%, apresentou toxicidade. Por fim a cultivar Kada mostrou-se menos resistente ao uso de soro de leite como líquido utilizado na irrigação, onde ele a partir da concentração de 40% já apresentou toxicidade.

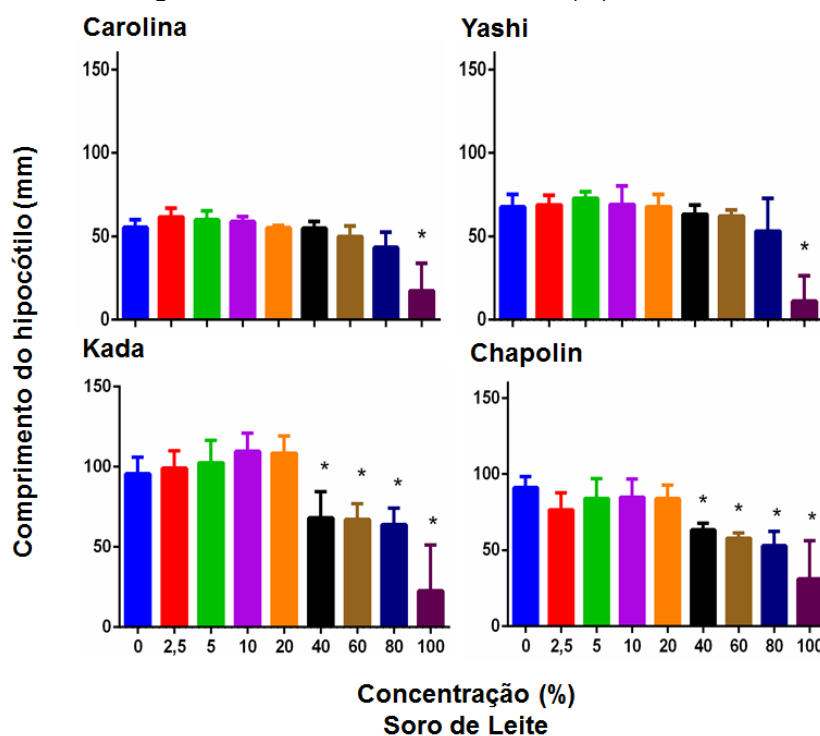
Figura 12. Taxa de germinação (%) dos experimentos com quatro variedades (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomate utilizando soro do leite na irrigação (%).



Fonte: Autor, 2019.

Utilizando o soro de leite para avaliar o potencial de toxicidade para o crescimento do hipocótilo, pode-se averiguar através da **figura 13** que, as cultivares Carolina e Yashi sofreram com a toxicidade quando o produto irrigador estava na sua forma natural, sem adição de água, ou seja, na concentração de 100%. Porém o soro do leite mostrou-se bastante tóxicos as cultivares Kada e Chapolin, onde ambas apresentaram menor poder de crescimento do hipocótilo a partir da concentração de 40%.

Figura 13. Comprimento do hipocótilo (mm) de plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomates irrigadas com o efluente soro do leite (%).

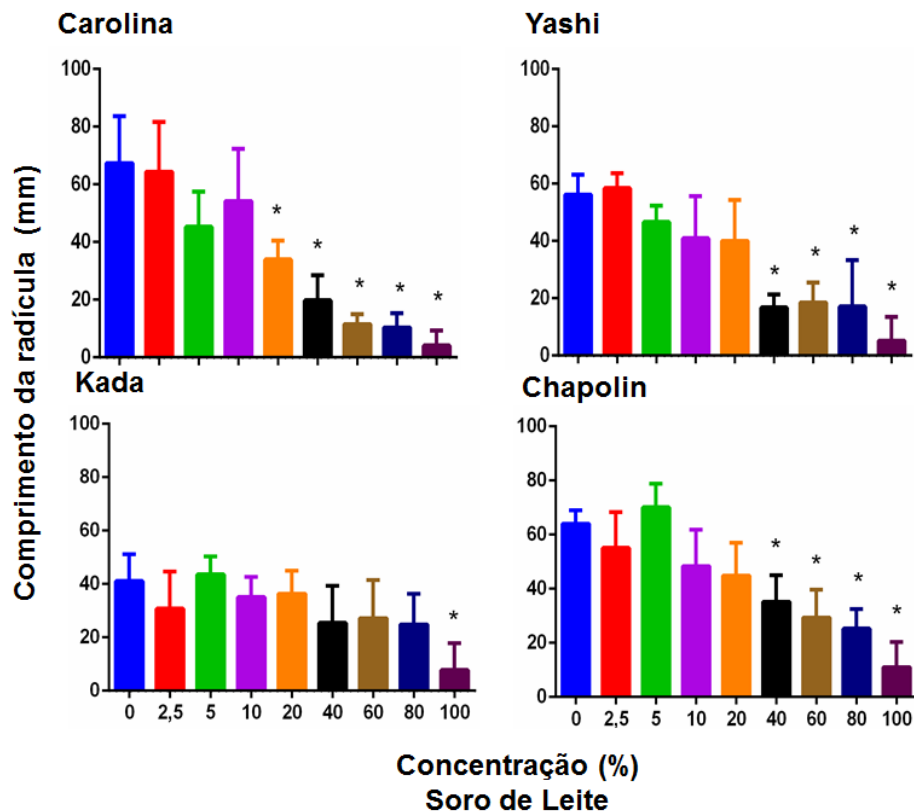


Fonte: Autor, 2019.

Quando se fez uso do soro do leite para analisar o potencial de toxicidade em relação ao comprimento da raiz de plântulas de tomates, obteve-se que, apenas a cultivar Kada mostrou-se com maior resistência a esse efluente na irrigação, onde a única concentração que causou menor desenvolvimento foi a de 100%. As demais cultivares estudadas neste trabalho, sofreram danos em relação ao potencial tóxico desse efluente, desde a

concentração de 20% para a cultivar Carolina e de 40% para as cultivares Yashi e Chapolin (**Figura 14**).

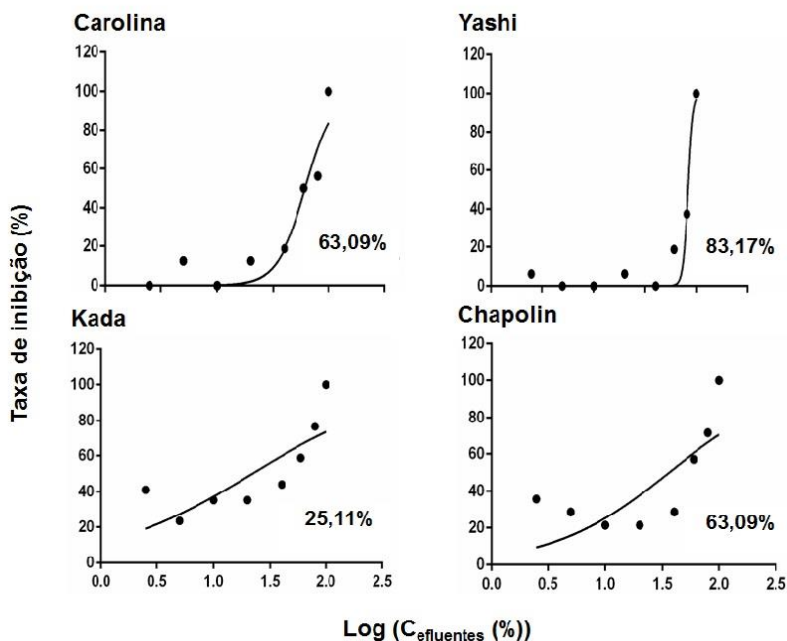
Figura 14. Comprimento da raiz (mm) de plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomates irrigadas com o efluente soro do leite (%).



Fonte: Autor, 2019.

As **figuras 15, 16 e 17** revelam a Concentração de Inibição a 50% (CI_{50}), em relação à germinação, crescimento da raiz e da parte aérea respectivamente. Na **figura 15**, constata-se que a concentração de inibição da germinação foi maior para a cultivar Kada, onde a partir de 25,11% da concentração do soro de leite, começou a inibir 50% da germinação de plântulas de tomates. A concentração de inibição da germinação para as cultivares Carolina e Chapolin não diferiram, mostrando uma CI_{50} de 63,09% e por último a cultivar Yashi obteve a menor concentração inibição de germinação, CI_{50} de 83,17%. Esses dados comprovam o que revela a **figura 12**, porém deixa claro qual a concentração de inibição que cada cultivar tem ao atingir 50% da germinação de plântulas de tomate.

Figura 15. Concentração de inibição em relação a 50% de germinação de plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomates irrigadas com o efluente soro do leite (%).

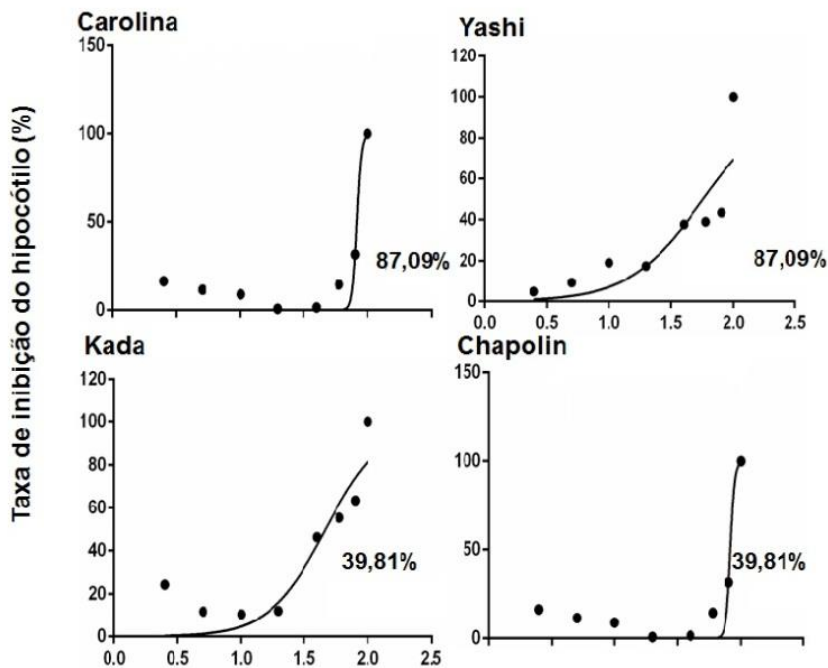


Fonte: Autor, 2019.

A **figura 16** demonstra que a concentração inibitória do crescimento do hipocótilo, não modifica para as cultivares Carolina e Yashi 87,09%, apresentando elas um melhor desempenho no alongamento. Os resultados apresentados pelas cultivares Kada e Chapolin também não variaram, ambas mostraram seu CI₅₀ a partir da concentração de 39,81%, porém esse índice foi o pior resultado, nesta figura, no qual se percebe a ação do soro do leite que retarda o alongamento da parte aérea.

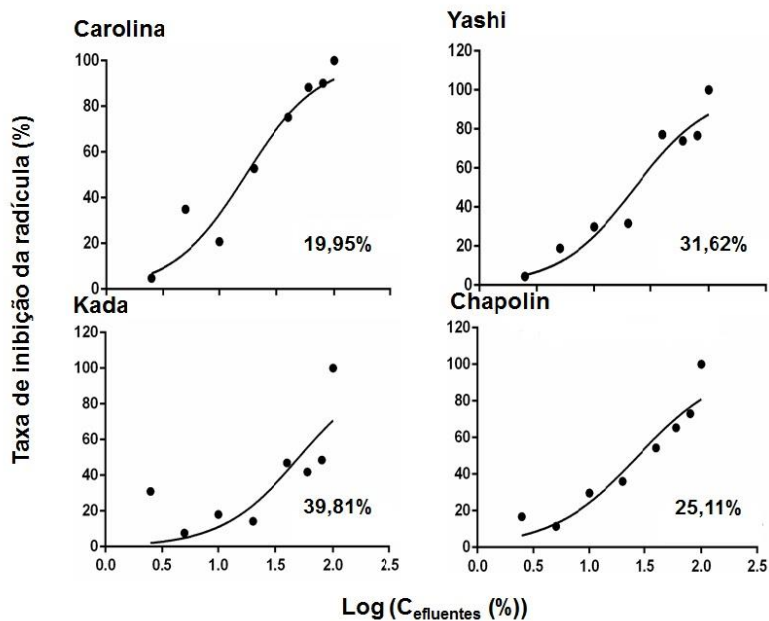
No que se refere a concentração de inibição do crescimento da raiz de plântulas de tomate quando irrigada com o soro do leite, pode-se analisar que, a menor concentração neste sentido foi exibida pela cultivar Kada, com CI₅₀ igual a 39,81%, provavelmente por ela ser considerada uma cultivar “gigante” e assim seu crescimento na raiz tende ser maior que as demais. As cultivares Yashi e Chapolin, apresentaram uma CI₅₀ de 31,62% e 25,1%, respectivamente. Com maior concentração de inibição do crescimento da raiz vem a cultivar Carolina, tendo uma CI₅₀ de 19,95%.

Figura 16. Concentração de inibição em relação a 50% do crescimento do hipocótilo (%) de plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomates irrigadas com o efluente soro do leite (%).



Fonte: Autor, 2019.

Figura 17. Concentração de inibição em relação a 50% do crescimento da radícula (%) de plântulas (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomates irrigadas com o efluente soro do leite (%).



Fonte: Autor, 2019.

Nas agroindústrias como os laticínios, o processamento do leite gera diversos subprodutos, dentre eles têm o soro do leite, que quando não é descartado adequadamente se torna um problema ambiental. Alguns estudos vêm sendo desenvolvido para a utilização efetiva dessa matéria orgânica. Assim pode ser citado a pesquisa desenvolvida por Bettiol, Silva e Reis (2008) que utilizaram o soro do leite para avaliar a eficácia no controle de oídio nas culturas de abobrinha e pepino. Foi obtido com isso bons resultados, onde houve uma redução na gravidade causada por oídio de 71 a 94% para a abobrinha e 85 a 90% para o pepino.

Em pesquisa para averiguar o efeito do soro de leite como fertilizante na germinação e no crescimento de plantas como trigo, soja e brócolis, Grosu et al. (2012) obtiveram que esse produto derivado do leite se comportou como um retardante na germinação das sementes e que assim sendo, aparentemente, ele exerce um efeito inibitório sobre a germinação dessas espécies, passando portanto a colaborar com os resultados mostrado nesta pesquisa. Na análise do peso da raiz os autores revelam que o brócolis e o trigo não apresentaram diferença significativa quando comparado com o controle e que a soja quando regada apenas com o soro apresentou um peso total da raiz inferior ao controle. Já para as avaliações da parte aérea, estes autores mostram que as três espécies obtiveram um peso maior que o controle.

O soro do leite quando avaliado em teste de ecotoxicidade utilizando peixe Zebrafish (*Danio rerio*), como bioindicador, mostrou-se muito tóxico para esse organismo na concentração de 100 %, ou seja, na sua forma bruta, corroborando assim com os resultados obtidos neste trabalho. Essa toxicidade demonstra que esse efluente deve ser tratado adequadamente, caso seja lançado no meio ambiente, para não causa maiores impactos (MACHADO, 2011).

5 CONCLUSÕES

Conseguiu-se padronizar um protocolo utilizando-se 2,00mL de água por dia de rega, 120micromol (m^2/s) de intensidade luminosa e 20,0g de substrato por célula. A validação com efluentes agro(industriais) mostrou-se positiva verificando-se alteração na germinação e desenvolvimento da radícula e parte aérea das plântulas de tomate das quatro cultivares testadas, podendo ser um eficiente teste na avaliação da toxicidade de efluentes. O efluente têxtil após o tratamento físico-químico, embora houve significativa redução da DQO e cor, mostrou-se mais tóxico que o efluente bruto. O soro do leite mostrou-se altamente tóxico a plântulas de tomate, por isso utilizá-lo como biofertilizante deve ser atentamente analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD BERJON, M. **Sustratos para el cultivo sin suelo**. In: NUEZ, F. (coord.). El cultivo del tomate. Barcelona: Ediciones Mundi-Prensa, 2001, p. 133-166.

ALVES, E. S. et al. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de Tradescantia; alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Revista Brasileira de Botânica**, V. 24, n. 4 (suplemento), São Paulo, dez. 2001.

ARENZON, A; NETO, T.J.P; GERBER, W. **Manual sobre toxicidade em efluentes industriais**. Porto Alegre: CEP SENAI de Artes Gráficas Henrique d'Ávila Bertaso, 2011.

BELFORT, C.C, et al. **Fixação e Esterilização de Flores em Tomateiros cereja e caqui em ambiente protegido**. In: Anais da Associação Brasileira de Horticultura, 2004.

BELLINO, A. et al. Antibiotic effects on seed germination and root development of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol. 148, 135-141, 2018.

BETTIOL, E.; SILVA, H.S.A.; REIS, R.C. Effectiveness of whey against zucchini squash and cucumber powdery mildew. **Scientia Horticulturae** 117, 82–84, 2008.

BORGES, C. Avaliação da toxicidade do efluente de lavador de gases de olaria, utilizando os bioindicadores: *Lactuca sativa*, *Allium cepa* L. sp. E *Eisenia foetida*. Universidade do Extremo Sul Catarinense-UNESC, Criciúma, 2011.

CETNARSKI, R. F e CARVALHO, R. I. N. Massa da amostra, substrato e temperatura para teste de germinação de sementes de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**. Vol. 19, n.3, 257-265, 2009.

COSTA, C. R. et al. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n.7, p. 1820-1830, 2008.

FERREIRA, R.L.; FORTI, V.A.; SILVA, V.N.; MELLO, S.C. Temperatura inicial de germinação no desempenho de plântulas e mudas de tomate. **Ciência Rural**, v.43, n.7, 2013

FIALHO, Rodrigo C. **O uso de bioindicadores vegetais no monitoramento e controle da poluição atmosférica – A importância dos Bioindicadores**. Informativo técnico publicado pela Associação dos Engenheiros da CETESB –ASEC e pelo Conselho de Representantes dos Funcionários da CETESB –CRF, para distribuição interna e limitada aos empregados da SMA/CETESB. v. 2. n. 4., 2002.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças** – Viçosa, UFV, 2000.

FLORES, A.V et al. Efeito do substrato, cor e tamanho de sementes na germinação e vigor de *Melanoxylon brauna*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Vol. 34, n.78, 141-147, 2014.

GROSU, L. et al.. Valorization of whey from dairy industry for agricultural use as fertiliser: effects on plant germination and growth. **Environmental Engineering and Management Journal**, Vol.11, No. 12, 2203-2210, 2012.

HASHEM et al. Irrigation with industrial wastewater activates antioxidant system and osmoprotectant accumulation in lettuce, turnip and tomato plants. **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol. 95, 144-152, 2013.

IBGE, 2017. Produção da pecuária municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> . Acesso em: agosto de 2019.

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. **Tomate**. Vitória, ES, 430 p, 2010.

HAIFA. Pioneering the future. Crop Guide: How to Grow and Growing Tomato <https://www.haifa-group.com/articles/crop-guide-growing-tomato>. Acessado em agosto de 2019.

JACOBI, P.R.; GRANDISOLI, E. **Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções**. São Paulo: IEE-USP e Reconnecta, 1ª Edição, 2017, 110 páginas.

JI, X. et al. Inhibitory effect of allicin against *Meloidagyne incognita* and *Botrytis cinerea* in tomato. **Journal Scientia Horticulturae**. Vol 253, 203-208, 2019.

MACÍAS, F. A.; CASTELLANO, D.; MOLINILLO, J. M. G. Search for a standart phytotoxic bioassay for allelochemicals. Selection of standard target species. Journal of Agriculture and Food Chemistry, Davis, v. 48, n. 6, p. 2512-2521, 2000.

MACHADO, V.V.B. **Análise Ecotoxicológica e Química da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Laticínios em Goiás**. 2012, 94 Dissertação (Mestrado em Química) Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO, 2012.

MAKI, E. S. et al. Utilização de bioindicadores em monitoramento de poluição. **Biota Amazônia**. Vol. 3, n. 2, p.169-178, 2013.

MELO, P.C.T. Produção de sementes de tomate. ABH-Associação Brasileira de Horticultura,2007. Disponível:< www.abhorticultura.com.br > downloads > Paulo César-2_Prod_sem_tomate> Acesso em 01 de agosto de 2019.

MINHO, A. et al. **Guia prático para determinação de curva dose-resposta e concentração letal em bioensaios com extratos vegetais**. Comunicado Técnico 93, Embrapa Pecuária Sul, Bagé-RS, 2016, 9p.

MONTEIRO, M.T.M. Desenvolvimento de muda de pimentão cultivada em substrato com pó de coco e inoculada com fungos micorrizios arbusculares. 2007, 68 folhas. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE,2007.

OLIVEIRA, G.A.R. et al. A test battery for assessing the ecotoxic effects of textile dyes. **Journal Chemico-biological interaction**, Vol. 291, 171-179, 2018.

PAN, M; CHU. L. M. Phytotoxicity of veterinary antibiotics to seed germination and root elongation of crops. **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol. 126, 228-237, 2016.

PERIN, Guido. **Ecotoxicologia integrada quantitativa**. Joinville. Editora Univille, 2005, 350p.

PEDROSO, Andrea N.V. **Poluentes Atmosféricos & Plantas Bioindicadoras**. Instituto de Botânica –IBt. Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente. Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. S. Paulo, 2007.

PIRES,R.C.M et al. Desenvolvimento e produtividade do tomateiro sob diferentes frequências de irrigação em estufa. **Horticultura Brasileira**. Vol. 27, n. 2, 228-234, 2009.

POMPÊO et al. **Ecologia de reservatórios e interfaces**. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015, 460 p.

RAMOS, J.M.P. **Estudo e aplicação de processos oxidativos avançados e ecotoxicológicos no tratamento de efluente contendo verde malaquita**. 2018. Dissertação (mestrado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. Maceió-AL, 2018.

RUBINGER, C.F. **Seleção de métodos biológicos para avaliação toxicológica de efluentes industriais**. 2009. 89 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2009.

RUBATZKY, V. E.; YAMAGUCHI, M. **World vegetables: principles, production and nutritive values**. 2. ed. New York: Chapman e Hall, 1997. 843p.

SANTOS, P. L. F et al. Germinação e desenvolvimento de mudas do tomateiro cereja em diferentes substratos. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*. Vol.11, n.5, 41-45, 2017.

SIMÕES, M. S et al. Padronização de bioensaios para detecção de compostos alelopáticos e toxicantes ambientais utilizando alface. **Revista Biotemas**. Vol 26, n. 3, 29-36, 2013.

SILVA, J.H.K et al. Germinação e crescimento inicial de tomate italiano (*Lycopersicon esculentum* Mill.): efeitos do fotoperíodo. **Natureza on line**. Vol. 10, n. 4, 183-185, 2012.

SONG,U. et al. Functional analyses of nanoparticle toxicity: a comparative study of the effects of TiO₂ and Ag on tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol.93, 60-67, 2013.

SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório-Revisão crítica. **Planta Daninha**. Vol 28, n. 3, p. 689-697, 2010.

SUZUKI, R.M; KERBAUY G.B. effects of ligh and ethylene on endogenous hormones and development of *Catasetum fimbriatum* (Orchidaceae). **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Vol. 18, n. 3, 359-365, 2006.

WALKER, C. H. et al. **Principles of ecotoxicology**. 3. ed. New York: CRC Press, 2006.

WANG, M. et al. Alleviation of cadmium-induced root growth inhibition in crop seedlings by nanoparticles. **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**. Vol. 79, 48-54, 2012.

WANG, C. et al. Oxidative stress and potential biomarkers in tomato seedlings subjected to soil lead contamination. **Journal Ecotoxicology and Environmental Safety**, Vol. 71, 685-691, 2008.

YI, Z. et al. Beneficial effects of silicon on photosynthesis of tomato seedlings under water stress. **Journal of Integrative Agriculture**, Vol. 17, n. 10, 2151-2159, 2018.

ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2008.486p.

ANEXOS

Tabela. Média do comprimento da radícula e do hipocótilo de quatro cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) de tomate em relação ao número de plântulas e variação da intensidade da luz.

Plântulas	Emissão de Luz	Comprimento da Radícula (mm)			
		CAROLINA	YASHI	KADA	CHAPOLIN
1	30	30,24 ± 5,37	31,35 ± 6,48	30,93 ± 9,05	28,74 ± 5,45
	60	41,64 ± 6,64	41,56 ± 3,73	47,75 ± 6,64	34,55 ± 4,94
	120	57,56 ± 11,97	49,83 ± 7,21	34,98 ± 9,80	59,50 ± 4,88
2	30	25,82 ± 3,86	24,20 ± 6,41	17,03 ± 5,11	22,54 ± 7,03
	60	39,39 ± 6,95	39,93 ± 3,05	40,76 ± 7,05	32,49 ± 4,57
	120	50,70 ± 9,78	41,22 ± 6,63	28,55 ± 7,18	51,56 ± 6,55
3	30	19,13 ± 3,29	18,65 ± 6,70	12,06 ± 4,12	16,86 ± 6,23
	60	32,91 ± 5,85	33,71 ± 4,49	35,27 ± 6,50	24,85 ± 5,72
	120	44,56 ± 7,62	35,58 ± 8,00	22,86 ± 5,83	41,90 ± 5,09
Comprimento do Hipocótilo (mm)					
Plântulas	Emissão de Luz	CAROLINA	YASHI	KADA	CHAPOLIN
1	30	41,26 ± 2,98	46,05 ± 3,24	55,68 ± 6,98	55,59 ± 6,09
	60	36,66 ± 3,16	45,01 ± 2,89	60,9 ± 5,26	48,01 ± 4,41
	120	51,65 ± 4,45	62,53 ± 5,62	86,21 ± 6,06	85,14 ± 6,89
2	30	38,88 ± 2,34	38,84 ± 6,02	33,14 ± 10,36	46,56 ± 10,24
	60	34,81 ± 3,06	42,90 ± 3,05	56,78 ± 5,34	42,75 ± 4,74
	120	49,25 ± 3,4	58,73 ± 5,89	79,35 ± 5,85	76,40 ± 5,05
3	30	29,19 ± 4,61	31,75 ± 9,45	23,27 ± 8,71	36,48 ± 10,31
	60	30,73 ± 4,86	37,13 ± 4,86	47,79 ± 8,56	32,68 ± 6,93
	120	46,04 ± 3,29	54,17 ± 5,65	69,52 ± 10,35	64,87 ± 11,46

Fonte: Autor, 2019.

Tabela. Média do comprimento da radícula e do hipocótilo de quatro cultivares (Carolina, Yashi, Kada e Chapolin) em relação ao número de plântulas e variação da quantidade de substrato no plantio.

Plântulas	Quantidade de substrato	Comprimento da Radícula (mm)			
		CAROLINA	YASHI	KADA	CHAPOLIN
1	10g	36,09 ± 2,54	44,33 ± 6,83	34,22 ± 5,93	29,45 ± 5,25
	15g	36,79 ± 4,93	30,51 ± 4,01	45,35 ± 7,23	35,75 ± 2,56
	20g	57,56 ± 11,97	49,83 ± 7,21	34,98 ± 9,80	59,50 ± 4,88
2	10g	32,87 ± 1,95	38,03 ± 4,64	29,09 ± 4,86	22,89 ± 4,61
	15g	32,12 ± 3,32	27,87 ± 3,14	36,83 ± 9,21	31,05 ± 3,20
	20g	50,70 ± 9,78	41,22 ± 6,63	28,55 ± 7,18	51,56 ± 6,55
3	10g	28,99 ± 2,46	32,73 ± 4,05	23,30 ± 4,80	18,77 ± 4,04
	15g	27,81 ± 2,51	25,22 ± 3,14	28,36 ± 9,51	25,17 ± 4,50
	20g	44,56 ± 7,62	35,58 ± 8,00	22,86 ± 5,83	41,90 ± 5,09
Comprimento do Hipocótilo (mm)					
Plântulas	Quantidade de substrato	CAROLINA	YASHI	KADA	CHAPOLIN
1	10g	46,5 ± 3,18	65,28 ± 3,33	82,95 ± 5,83	72,43 ± 5,22
	15g	45,80 ± 2,26	59,55 ± 3,01	78,57 ± 3,70	70,95 ± 7,14
	20g	51,65 ± 4,45	62,53 ± 5,62	86,21 ± 6,06	85,14 ± 6,89
2	10g	44,63 ± 2,90	63,19 ± 2,95	74,41 ± 6,71	62,25 ± 9,11
	15g	43,38 ± 1,51	56,5 ± 2,42	71,15 ± 6,73	64,43 ± 5,42
	20g	49,25 ± 3,4	58,73 ± 5,89	79,35 ± 5,85	76,40 ± 5,05
3	10g	42,76 ± 3,45	59,77 ± 4,30	61,51 ± 10,86	53,08 ± 14,10
	15g	40,73 ± 1,83	53,81 ± 2,90	55,64 ± 11,50	52,70 ± 7,31
	20g	46,04 ± 3,29	54,17 ± 5,65	69,52 ± 10,35	64,87 ± 11,46

Fonte: Autor, 2019.