



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL

CAMPUS DE CERRO LARGO

CURSO DE AGRONOMIA

ARTUR HATWIG PIPER

**USO DE RADIAÇÃO UV-C EM PLANTAS, ÁCARO-RAJADO E FILMES
PLÁSTICOS AGRÍCOLAS EMPREGADOS NA CULTURA DO
MORANGUEIRO**

CERRO LARGO

2022

ARTUR HATWIG PIPER

**USO DE RADIAÇÃO UV-C EM PLANTAS, ÁCARO-RAJADO E FILMES
PLÁSTICOS AGRÍCOLAS EMPREGADOS NA CULTURA DO
MORANGUEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Evandro Pedro Schneider

CERRO LARGO

2022

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Piper, Artur Hatwig
USO DE RADIAÇÃO UV-C EM PLANTAS, ÁCARO-RAJADO E
FILMES PLÁSTICOS AGRÍCOLAS EMPREGADOS NA CULTURA DO
MORANGUEIRO / Artur Hatwig Piper. -- 2022.
46 f.:il.

Orientador: Dr. Evandro Pedro Schneider

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo, RS, 2022.

1. Morango. 2. Clorofila. 3. Ácaro-rajado. 4.
Foto-oxidação. 5. Radiação UV-C. I. Schneider, Evandro
Pedro, orient. II. Universidade Federal da Fronteira
Sul. III. Título.

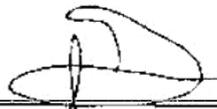
ARTUR HATWIG PIPER

**USO DE RADIAÇÃO UV-C EM PLANTAS, ÁCARO-RAJADO E FILMES
PLÁSTICOS AGRÍCOLAS EMPREGADOS NA CULTURA DO
MORANGUEIRO**

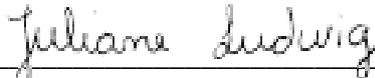
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Agronomia da Universidade Federal da
Fronteira Sul (UFFS), como requisito para
obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 30/03/2022.

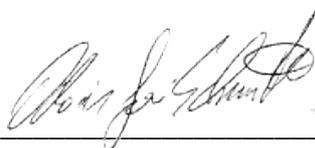
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Evandro Pedro Schneider – UFFS
Orientador



Prof.ª Dr.ª Juliane Ludwig – UFFS
Avaliadora



Dr. Odair José Schmitt
Avaliador

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Paulo Piper e Marina Hatwig, agradeço por todo o amor que deram a mim, pelos ensinamentos e valores a mim ensinados durante minha trajetória até o presente momento. Palavras não podem descrever minha gratidão e amor a vocês.

Ao meu orientador e professor Dr. Evandro Pedro Schneider, pelo apoio e incentivo e pelos ensinamentos não só na realização deste trabalho, mas na graduação como um todo. Meu muito obrigado.

Aos meus amigos Hisley, Welter, Vovô, Júnior, Adrik, João, Victor, Mateus, Fernanda, Ernesto e todos os outros que agora me esqueço de lembrar, por terem me proporcionado tantos bons momentos durante essa jornada e em especial meu amigo William, por ter andado junto comigo neste caminho. Meu muito obrigado.

À Universidade Federal da Fronteira Sul, e todos que fizeram possível sua existência, e a todos que à mantêm funcionando diariamente, pela oportunidade de estudar e crescer intelectual e socialmente. Meu muito obrigado.

A todos que fizeram parte da minha trajetória, agradeço de coração!

RESUMO

O morangueiro é uma cultura muito vulnerável à ataques de pragas e doenças. Uma destas pragas é o ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), capaz de causar perdas de até 80% da produtividade e que demanda de muitas aplicações de defensivos químicos para ser controlada, porém sem muita eficiência. Uma tecnologia que vem sendo desenvolvida para controle desta praga, assim como de outras doenças do morangueiro e diversas culturas, é a radiação UV-C. A radiação UV-C é uma forma de controle físico capaz de causar a morte de invertebrados, fungos e bactérias presentes na superfície das folhas, além de aumentar a concentração de compostos relacionados à defesa contra doenças e herbivoria nas plantas. Apesar disto, seu uso pode causar danos fisiológicos à planta e danos físicos à estruturas de produção se a dose for muito alta, o que torna necessária a pesquisa para se saber quais doses são toleradas pela planta, e se estas são eficientes para controle de ácaro-rajado. Tendo isto em vista, foram feitos 3 experimentos visando estabelecer a segurança e eficiência desta tecnologia. O primeiro experimento buscou avaliar o efeito de diferentes doses de radiação acumulada (0, 1,925 kJ m⁻², 1100 kJ m⁻², 825 kJ m⁻² e 0 kJ m⁻²) sobre os níveis de clorofila (SPAD) nas folhas. O segundo experimento buscou testar a letalidade da radiação UV-C sobre *T. urticae* em diferentes doses (0kJ m⁻², 0.165 kJ m⁻², 0.275 kJ m⁻², 0.55 kJ m⁻², 1.1 kJ m⁻² e 2.2 kJ m⁻²). O terceiro experimento buscou avaliar o potencial efeito degradativo da radiação UV-C em diferentes doses (0kJ m⁻², 198 kJ m⁻², 594 kJ m⁻² e 990 kJ m⁻²) sobre um plástico usado como mulching na cultura do morangueiro. O resultado das avaliações mostrou que não houve alterações no teor de clorofila das folhas de morangueiro, o que estabelece que não houve dano ao sistema fotossintético das plantas. O segundo experimento mostrou que exposições de 10, 20 e 40 segundos tiveram a mesma eficiência na redução da população de ácaros, reduzindo a população destes em aproximadamente 78,06%. O experimento sobre degradabilidade dos plásticos não mostrou sinais de degradação do plástico em função da aplicação de radiação UV-C.

Palavras-chave: Morango; Clorofila; Ácaro-rajado; Foto-oxidação.

ABSTRACT

Strawberry culture is very vulnerable to pest and disease attacks. One of these pests is the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*), which is able to cause losses of up to 80% of production, and that demands many applications of defensive chemicals to be controlled, which aren't very effective. A technology that's being developed to control this pest, and many other diseases of strawberry and other cultures, is UV-C radiation. UV-C radiation is a form of physical control capable of causing death to invertebrates, fungi and bacteria present in the surface of leaves, while also enhancing the concentration of compounds related to defence against diseases and herbivory in plants. Despite this, it's use can cause physiological damage to the plant and physical damage to the production structures if it's dose is too high, which makes research necessary to know which doses are tolerated by the plant, and if these doses are efficient to control the two-spotted spider mite. In view of this, three experiments were done with the objective of establishing the safety and efficiency of this technology. The first experiment sought to evaluate the effect of different doses of accumulated radiation (1,925 kJ m⁻², 1100 kJ m⁻², 825 kJ m⁻² and 0 kJ m⁻²) over the chlorophyll (SPAD) content of leaves. The second experiment sought to test the lethality of UV-C radiation over *T. urticae* in different doses of radiation (0kJ m⁻², 0.165 kJ m⁻², 0.275 kJ m⁻², 0.55 kJ m⁻², 1.1 kJ m⁻² e 2.2 kJ m⁻²). The third experiment sought to evaluate the potential degradative of different doses of UV-C light in different doses of radiation (0kJ m⁻², 198 kJ m⁻², 594 kJ m⁻² and 990 kJ m⁻²) over a plastic used as mulching in strawberry production. The results of the experiments showed no change in the concentration of chlorophyll in the leaves of strawberry, which establishes that there has been no damage to the photosynthetic system of the plants. The second experiment showed that exposures of 10, 20 and 40 seconds to UV-C light reduced the population of mites by 78,06%. The experiment with the degradability of plastics didn't yield evidence that a degradative process happened due to UV-C treatments.

Keywords: UV-C; Strawberry; Two-spotted spider mite; Photooxidation.

LISTA DE SIGLAS

6-4PPS – Fotoprodutos 6-4

AS – Ácido salicílico

CPD - Dímeros de ciclobutano-pirimidina

HALS - Estabilizadores de luz por amina impedida

JA – Ácido jasmônico

KJ M⁻² – Kilojoules por metro quadrado

LDPE - Polietileno de baixa densidade

LLDPE – Polímeros lineares de baixa densidade

MAPA – Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento

NM – Nanômetros

SPAD – Soil-plant Analysis Development

UV – Ultravioleta

UV-A – Ultravioleta A

UV-B – Ultravioleta B

UV-C – Ultravioleta C

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fêmea de ácaro-rajado e seus ovos.....	14
Figura 2 – Ácaros predadores do ácaro-rajado na cultura do morangueiro, <i>P. macropilis</i> (esquerda), <i>N californicus</i> (direita).....	16
Figura 3 – Células da planta <i>Plagiomnium affine</i> com cloroplastos visíveis em ampliação.....	17
Figura 4 - Faixas de radiação UV	23
Figura 5 - Formação de dímeros de tiamina-tiamina e tiamina-citosina, reversíveis pela enzima fotoliase.....	27
Figura 6 - Valores da leitura do índice SPAD em plantas não tratadas (testemunha) e plantas tratadas com 0,275kJ m ⁻² de radiação UV-C , Cerro Largo, 2022.....	33
Figura 7 - Análise de regressão das leituras do índice SPAD em função do tempo de exposição das plantas de morangueiro à radiação UV-C.	34
Figura 8 - Mortalidade dos ácaros em função de diferentes doses de radiação UV-C...	35
Figura 9 - Pressão necessária para perfuração do plástico em função do tempo de exposição à radiação	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 MORANGO	13
2.2 ÁCARO-RAJADO	13
2.2.1 Monitoramento e controle	14
2.3 CLOROFILA.....	16
2.3.1 Clorofila e intensidade luminosa	17
2.3.2 Clorofila e fatores ambientais	18
2.3.3 Mensuração dos níveis de clorofila	19
2.4 PLÁSTICOS.....	20
2.4.1 Plásticos usados na agricultura	21
2.4.1 Materiais anti-uv usados nos plásticos	22
2.5 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA	23
2.5.1 Radiação ultravioleta em plantas de interesse agrícola	24
2.5.2 Radiação UV-C	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 EXPERIMENTO 1	29
3.1.1 Condução do experimento	29
3.1.2 Equipamento de irradiação uv-c e aplicação dos tratamentos	29
3.1.3 Mensuração dos níveis de clorofila	30
3.1.4 Análise estatística	30
3.2 EXPERIMENTO 2	31
3.2.2 Delineamento experimental e aplicações	31
3.2.3 Equipamento e aplicação dos tratamentos	32
3.2.4 Análise estatística	32
3.3 EXPERIMENTO 3	32
3.3.1 Equipamentos e procedimentos	32
3.3.2 Delineamento experimental	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 EXPERIMENTO 1	33
4.2 EXPERIMENTO 2	35
4.3 EXPERIMENTO 3	36
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38

6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O morango é um pseudofruto da espécie híbrida *Fragaria x ananassa*, cultivada por seu sabor, aroma e coloração únicos. A sua produção apresenta importância socioeconômica por ser cultivada majoritariamente em propriedades com base na agricultura familiar, o que mobiliza um grande número de produtores que geram um grande número de postos de trabalho para operários do campo. No país, o cultivo do morango se concentra nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. É sugerido que seu cultivo tenha iniciado no Brasil por volta de 1950, no município de Estiva, Minas gerais (ANTUNES, JÚNIOR, SCHWENGBER, 2016).

Os principais países produtores no mundo são a China, Polônia, Rússia e Estados Unidos. O Brasil, em 2020, figurava como 13º maior produtor, com 4500 hectares de terra usada para o cultivo do morangueiro e com produção de 165.000 toneladas do fruto ao ano. Embora existam diferenças acentuadas de produtividade entre regiões, com seus climas típicos e sistemas de produção diferentes, a produtividade média da cultura no Brasil é de 30 toneladas por hectare. Ainda que esta seja uma produtividade superior à da China (o maior produtor mundial), é inferior àquela obtida nos Estados Unidos e Espanha, que atingem produções superiores a 50 toneladas por hectare (ANTUNES, BONOW, 2020).

Segundo Costa, Ventura e Lopes (2011), vários patógenos afetam a cultura do morangueiro, causando danos em maior ou menor intensidade em função das condições climáticas, do manejo adotado e das cultivares utilizada. No total, Gubler e Converse (1993) identificaram a existência de aproximadamente 51 fungos, 3 bactérias e 8 nematoides causadores de doenças importantes no morangueiro, dentre os quais estão fungos, bactérias e nematódeos. Além disso, existem pragas capazes de causar danos significativos à cultura, como o ácaro-rajado, ácaro do enfezamento, pulgões, tripses, entre outros invertebrados (BERNARDI et al., 2015). Destes, o ácaro rajado (*Tetranychus urticae*), é uma praga de especial relevância, tendo em vista que pode comprometer a produtividade em até 80%, e sua população pode aumentar em torno de 10% ao dia (GUIMARÃES et al., 2010). Além disso, as formas de controle disponíveis atualmente são pouco eficientes.

Este fator faz com que o morangueiro seja uma cultura altamente dependente de agrotóxicos. Com o objetivo da redução do uso de defensivos químicos para a cultura do morangueiro, formas alternativas de controle vem sendo pesquisadas. Uma forma de controle físico de doenças e pragas do morangueiro é o uso de luz UV-C. A radiação UV-C é uma radiação com comprimento de onda de 100 a 280nm, cujo efeito sobre os tecidos dos seres vivos é tóxico. Além do seu uso promissor no controle de mofo-cinzento, antracnose e oídio (JANISIEWICZ, 2016), Short et al. (2018) também mostraram resultados satisfatórios no controle de ácaro-rajado em plantas expostas a 60s de radiação UV-C noturna.

Tais pesquisas fazem a tecnologia da radiação UV-C parecer promissora, porém seu uso ainda carece de testes para que possa haver aplicabilidade à campo desta tecnologia. A dose de radiação letal para o ácaro-rajado ainda não foi estudada, e o efeito da aplicação de radiação sobre parâmetros fisiológicos da planta, especialmente os possíveis efeitos deletérios, ainda não é bem conhecido. Ademais, o seu efeito sobre a integridade das estruturas de produção, como os plásticos usados na cultura do morangueiro, ainda não foi estudado.

Neste contexto, a análise do teor de clorofila é um parâmetro importante a ser estudado, sendo que a clorofila é um pigmento biológico diretamente associado à captação de radiação e à capacidade fotossintética da planta (ROCHA, 2013). Radiação do espectro UV, em especial UV-C, podem reduzir significativamente os teores de clorofila em diversas culturas (MAHRAVIAN, GHORBALINI e KALANTARI, 2008), sendo este um efeito dose-dependente (NASSOUR, 2017). Descobrir se os tratamentos causam danos ao aparato fotossintético da planta é importante para estabelecer sua segurança como método de controle de pragas.

Além da clorofila, o estudo do efeito da radiação UV-C sobre os plásticos é necessário, tendo em vista que a radiação UV-C é capaz de causar degradação sobre estes materiais (TESKA, 2020). A maneira pela qual a radiação UV-C degrada a estrutura do plástico provavelmente é similar à degradação fotooxidativa causada pela exposição à UV-A e UV-B, que resulta na quebra da cadeia de polímeros, produzindo radicais livres e reduzindo o peso molecular dos plásticos, de modo que estes perdam suas propriedades mecânicas (YOUSIF e HADDAD, 2013).

Tendo em vista a necessidade da realização de estudos que comprovem a letalidade da radiação UV-C, assim como sua segurança às plantas e a infraestrutura, foi construído um protótipo de aplicação de radiação UV-C de baixo custo. Se o uso do protótipo for provado seguro, pode viabilizar seu uso como controle alternativo de doenças e pragas na cultura do morangueiro.

Tendo em vista as necessidades de elucidação destes parâmetros, se decidiu realizar um experimento com o objetivo de analisar a dose letal de radiação UV-C sobre o ácaro rajado *in vitro*. Além deste, foi conduzido outro experimento para testar o efeito da radiação UV-C sobre a clorofila e coloração das folhas em condições de cultivo comercial. Ademais, foi feita a avaliação de durabilidade de plásticos submetidos a diferentes doses de radiação UV-C. Deve-se observar que o presente trabalho faz parte de um trabalho maior, iniciado em 2020 com os estudos de Emerson Sebastião Gomes Santiago, que visa estudar os efeitos da radiação UV-C na cultura do morangueiro. Também deve-se observar que o trabalho a campo foi feito concomitantemente a um estudo avaliando esta tecnologia como forma de controle de ácaro-rajado nesta cultura em condições de cultivo comercial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MORANGO

Morangos são pseudofrutos das plantas do gênero *Fragaria*, família Rosaceae. A maioria dos morangos cultivados comercialmente são da espécie híbrida *F. x ananassa*, resultante do cruzamento entre as plantas *F. chiloensis* e *F. virginiana* no século XVIII. Ambas espécies precursoras eram cultivadas comercialmente, porém tinham suas limitações, como a falta de aroma, cor e sabor (*Fragaria chiloensis*) e tamanho pequeno de frutos (*Fragaria virginiana*). O cruzamento resultante entre estas duas espécies resultou em uma planta que produz frutos grandes, aromáticos, saborosos e que se adapta facilmente a uma diversidade de climas e fotoperíodos (DARROW, 1966).

É classificado como um pseudofruto agregado, pois resulta do desenvolvimento do receptáculo floral que acumula açúcares e vitaminas, enquanto seus frutos verdadeiros são denominados aquênios e ficam ao redor da polpa (SAMPAIO MALAGODI-BRAGA, 2018). É uma planta perene com hábito rasteiro e características de planta herbácea. Apesar disto, é cultivada como se fosse uma cultura anual, devido à perda de produtividade e ao acúmulo de doenças após múltiplos ciclos. É constituído por coroa (caule compacto), sistema radicular, folhas, estolões, flores e frutas. As mudas para produção comercial geralmente são obtidas através de propagação vegetativa, enquanto as sementes são reservadas ao melhoramento genético. A partir das gemas axilares das folhas são emitidos os estolões, que possuem nós que se diferenciam e dão origem a novas plantas.

2.2 ÁCARO-RAJADO

O ácaro-rajado é uma espécie de ácaro facilmente reconhecida pela presença de manchas dorsais escuras. Seu ciclo de vida é dividido nas fases de ovo, larva, protoninfa, deutoninfa e adulto. Se instalam mais frequentemente na parte abaxial das folhas, o que faz com que sejam de difícil visualização a olho nu. Tem a característica de tecer teias, nas quais a fêmea deposita seus ovos amarelados, como pode ser visto na figura 1.

Figura 1 - Fêmea de ácaro-rajado e seus ovos



Foto: Flávia Maria Vieira Teixeira Clemente

A espécie apresenta dimorfismo sexual, de modo que as fêmeas sejam maiores e possuam um corpo ovalado, e os machos possuam a extremidade posterior do abdomen mais estreitas. Os indivíduos machos tem comprimento médio de 0,25 mm, enquanto fêmeas medem em média 0,46mm (BERNARDI, 2010). A fase jovem do ácaro é semelhante à fase adulta, diferindo apenas pelo tamanho.

A espécie tem seu desenvolvimento favorecido por altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, sendo temperaturas acima de 30°C consideradas ótimas ao seu desenvolvimento. Além disso, a presença de poeira beneficia a praga, sendo este disseminado pelo vento de uma lavoura a outra quando é feito o escalonamento de plantio (MOURA, 2015).

2.2.1 Monitoramento e controle

O ácaro-rajado ataca a face abaxial das folhas, causando o surgimento de manchas difusas de coloração avermelhada que progridem à necrose e queda prematura das folhas. O fruto fica endurecido, seco e com coloração marrom quando é atacado. Segundo Moura (2015) o monitoramento deve ser feito uma a duas vezes por semana, pela contagem do número de adultos e ninfas por folíolo. Coleta-se um folíolo por planta, avaliando-se 5 plantas por ponto amostral em 20 pontos de amostragem por talhão. Considera-se que o controle químico deve ser realizado quando forem observados, em média, 10 ácaros por folíolo. Este autor ainda ressalta que o

aparecimento da praga na cultura do morangueiro ocorre geralmente em reboleiras, sendo assim recomenda-se que seu controle seja local ao invés de na área inteira.

A principal estratégia para controle do ácaro rajado é por meio da utilização de acaricidas sintéticos. Existem atualmente 31 produtos registrados para o controle de *T. urticae* no MAPA (AGROFIT). Os acaricidas não são 100% eficientes e os descendentes dos sobreviventes herdam a resistência aos produtos (IWASSAKI, 2009).

Tabela 1 – Princípios ativos de produtos registrados no MAPA para controle de ácaro-rajado e seus respectivos grupos químicos.

Princípio ativo	Grupo químico	Período de carência
Abamectina	Avermectina	3 dias
Azadiractina	Tetranortriterpenoide	7 dias
Clorfenapir	Análogo de pirazol	7 dias
Fenpropratrina	Piretroide	3 dias
Propargito	Sulfato de alquila	10 - 15 dias
Fenpiroximato	Pirazol	7 dias
Enxofre	Inorgânico	N.P. * pode causar danos a materiais
Extrato de <i>S. Flavescens</i>	Alcaloides quinolizídicos	7 dias
Milbemictina	milbemicinas	7 dias
Piridabem	Piridazinona	7 dias

Fonte: Agrofit (2022). Tabela elaborada pelo autor.

O uso frequente de abamectina e do pirazol fenpiroximato faz com que já existam diversas populações de ácaro rajado resistentes a estes tratamentos pelo país, como evidenciado pelos estudos de Sato et al. (2009). Além destes problemas, a abamectina é um produto de classificação toxicológica 3 (Produto moderadamente tóxico), com um período de carência de 3 dias, e classificação ambiental 2 (Produto muito perigoso ao meio ambiente). Similarmente, o fenpiroximato apresenta classificação ambiental 2 (Produto muito perigoso ao meio ambiente), apesar de possuir classificação toxicológica 4 (Produto pouco tóxico), e possui período de carência de 7 dias.

Pode ser realizado também o controle biológico por meio de ácaros predadores, mais especificamente *Phytoseiulus macropilis*, ácaro avermelhado de formato ovoide, e *Neoseiulus californicus*, de coloração branco-alaranjada (Figura 2). Estes apresentam eficiência no controle de ácaro-rajado e são produzidos comercialmente (BERNARDI et al., 2010). Segundo Poletti (2007), a aplicação de *P. macropilis* pode ser empregada

isoladamente ou em conjunto com *N. californicus* em áreas de alta densidade populacional de *T. urticae*. Apesar disso, o controle biológico do ácaro rajado com ácaros predadores não é 100% eficiente, e o efeito da aplicação destes não é imediato a campo.

Figura 2 – Ácaros predadores do ácaro-rajado na cultura do morangueiro, *P. macropilis* (esquerda), *N. californicus* (direita).

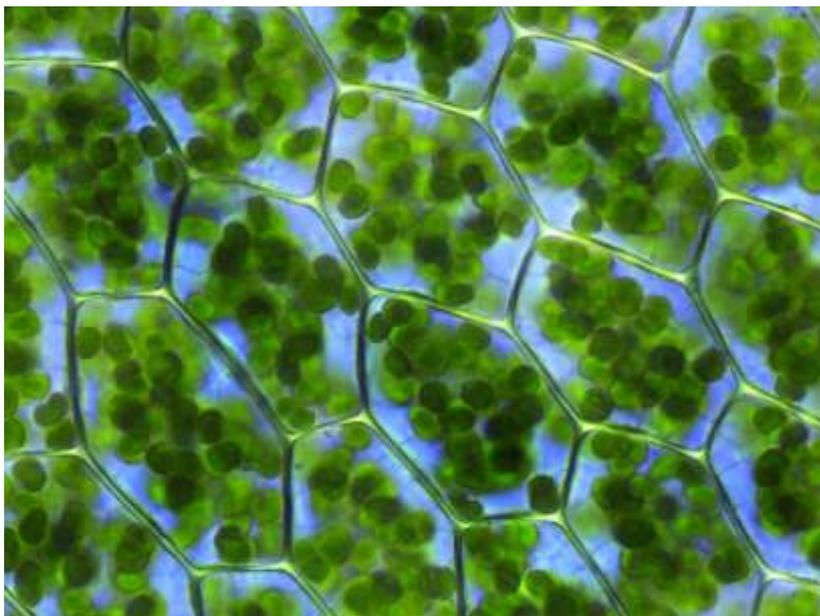


Fonte: shalepeakhorticulture.com

2.3 CLOROFILA

A clorofila é uma denominação dada a diversos pigmentos verdes encontradas nos cloroplastos de algas e plantas, assim como nos mesossomos de cianobactérias. As moléculas de clorofila são arranjadas em fotossistemas ligados à membrana tilacoide dos cloroplastos (Figura 3). É um componente bioquímico composto por carbono e nitrogênio, com um íon de magnésio em uma posição central. Tem função chave no aparato molecular responsável pela fotossíntese, processo no qual a energia luminosa é transformada em energia química, isto é, a conversão de energia luminosa em carboidratos (PAREEK et al., 2018).

Figura 3 – Células da planta *Plagiomnium affine* com cloroplastos visíveis em ampliação.



Fonte: Kristian Peters

Deve-se ressaltar que a clorofila não é uma molécula específica, mas sim um grupo de moléculas com estrutura química diferente e funções específicas. Segundo Martin (2022), o principal pigmento fotossintético é a clorofila A, que absorve luz das áreas do espectro eletromagnético laranja-vermelho e violeta-azul (430 a 660nm). Seu papel central é de um doador primário de elétrons na cadeia transportadora de elétrons. A clorofila b, por outro lado, é mais eficiente na luz azul (comprimentos de onda de 470nm), e tem papel acessório na fotossíntese, coletando energia luminosa e passando-a para a Clorofila A (LAKNA, 2017). Desta forma, a clorofila B tem papel mais acessório no processo fotossintético.

2.3.1 Clorofila e intensidade luminosa

A intensidade de radiação incidente sobre as plantas está ligada às concentrações de clorofila na folha. As plantas adaptam-se às condições de maior luminosidade produzindo mais clorofila para captar essa luminosidade e realizar mais fotossíntese. Apesar disso, essa relação não é linear, pois a partir de um ponto o excesso de radiação acaba por reduzir os teores de clorofila nas folhas (RÊGO, POSSAMAI, 2004).

Este efeito hormético da radiação solar sobre a clorofila varia de acordo com a sensibilidade de cada espécie à radiação. Cultivos com uso de telas de sombreamento são capazes de aumentar os teores de clorofila em diversas plantas (PINHEIRO et al.,

2012; RÊGO, PASSAMAI, 2004). Desta maneira, há espécies que demandem de maior ou menor grau de sombreamento para atingir concentrações altas de clorofila.

A intensidade luminosa não muda apenas as concentrações de clorofila na folha, mas também a proporção entre a clorofila a e b, de modo que intensidades luminosas mais baixas tendem a reduzir a proporção entre a clorofila a e b (LEXENGEL e POGGIANI, 1991 apud OLIVEIRA et al, 2018; BOARDMAN, 1977).

Segundo Boardman (1977), plantas que crescem sob altas intensidades luminosas tem folhas com morfologia diferente daquelas que crescem sob baixa intensidade de radiação. Aquelas que crescem sob altas intensidades luminosas apresentam maiores desenvolvimentos do parênquima paliçádico e esponjoso no mesófilo, o que resulta em folhas mais grossas. O mesmo autor identifica que plantas de sombra geralmente possuem cloroplastos em menor número, porém maiores e com maior concentração de clorofila.

Dessa forma, plantas que crescem sob intensidade luminosa mais alta apresentam folhas mais coriáceas, e com maior concentração de metabólitos secundários relacionados à defesa contra microorganismos e animais herbívoros, assim como maiores teores de hormônios relacionados a esta mesma função, como os jasmonatos e o ácido salicílico (VANHAELEWYN et al., 2020). Os jasmonatos em si aparentam ter ligação com os níveis de clorofila, como mostra os estudos de Sirhindi et al. (2020), no qual a aplicação exógena de jasmonatos levaram à acumulação de clorofila, carotenoides e outros pigmentos em *Brassica oleraceae*.

2.3.2 Clorofila e fatores ambientais

Os teores de clorofila são também determinados a partir de uma série de fatores ambientais. Segundo Li et al. (2018), plantas ajustaram evolutivamente os teores totais de clorofila, assim como a proporção entre clorofila a e b, para se adaptarem a diferentes ambientes e otimizarem a fotossíntese. Dessa forma, fatores climáticos e de solo tem papel importante na determinação dos níveis de clorofila das plantas.

O fator solo é importante pois é necessário que os níveis de nutrientes estejam suficientes para que a planta possa sintetizar a clorofila. Os níveis de clorofila é correlacionada positivamente com a adubação nitrogenada (LEONARDO et al., 2013), potássica (SAB et al., 2018) e de fósforo (DE MORAIS, 2015).

Deficiências de magnésio no solo prejudicam a síntese de clorofila, uma vez que o magnésio é componente estrutural da molécula de clorofila. Dependendo do estado

nutricional da planta, entre 6 e 25% do magnésio presente na planta está ligado à clorofila. A adubação com magnésio já foi relacionada com aumento nos teores de clorofila de algumas cultivares de soja (NASCIMENTO et al., 2009) e no tomateiro (MÓGOR et al., 2013).

Segundo Li et al. (2018), a temperatura também é um fator que influencia a síntese da clorofila nas plantas, sendo que temperaturas muito altas ou muito baixas inibem as enzimas necessárias à síntese e também destruir a própria molécula de clorofila, e a temperatura ótima para que esta síntese ocorra é em torno de 30°C.

2.3.3 Mensuração dos níveis de clorofila

Segundo Ling, Huang e Jarvis (2010), a concentração de clorofila nas folhas é um parâmetro importante que é frequentemente mensurado como um indicador de desenvolvimento dos cloroplastos, atividade fotossintética, conteúdo de nitrogênio nas folhas e saúde geral da planta. Existem diversos métodos para mensuração de clorofila. A forma mais clássica de se determinar a concentração de clorofila é a determinação em laboratório. Neste modo de mensuração, a clorofila é extraída por meio de acetona, e então é utilizado um espectrofotômetro para mensurar absorção de luz no comprimento de onda de 663nm e 645nm. Este método é seguro e preciso, porém, consome tempo e destrói a folha no processo (NETTO, 2004), além de demandar de equipamentos laboratoriais sofisticados para a análise e solventes específicos para digestão química da folha.

A forma mais rápida e menos destrutiva de se estimar a clorofila é por meio de clorofilômetros digitais. Estes aparelhos, conhecidos como SPAD (abreviação de Soil Plant Analysis Development, i.e. Desenvolvimento de análise solo-planta), lê um índice relacionado aos níveis de clorofila à campo, de maneira não-destrutiva, segura e rápida. O medidor SPAD mensura a diferença entre transmissão da luz vermelha (650nm, comprimento absorvido pela clorofila), e infravermelha (940nm, comprimento de onda não absorvido pela clorofila) pela folha, e calcula um valor SPAD relativo relacionado à quantidade de clorofila presente na folha amostrada (UDDLING, GELANG-ALFREDSSON e PIIKKI, 2007).

O sucesso no uso do método SPAD é afetado por diversos fatores, como cultivar, estágio de crescimento, grossura da folha e ponto de mensuração na folha. Desse modo, os clorofilômetros SPAD leem valores com pequenas diferenças dependendo de onde a mensuração é feita na folha. Para evitar discrepâncias de

resultado, são feitas muitas vezes mais de uma mensuração, em diferentes partes da folha, visto que a clorofila não é uniformemente distribuída na folha (YUAN et al., 2016).

2.4 PLÁSTICOS

Plásticos são materiais formados por grandes cadeias moleculares denominadas de polímeros. Encontram usos em vários setores da economia e indústria, como construção, eletrônicos, indústria automobilística, agricultura, entre outros. Existem diversas formas de plástico, com composição química e características físicas variadas. Segundo Harper (2003), plásticos podem ser definidos como polímeros orgânicos, disponíveis na forma de resina ou na forma de derivados de resinas polimerizadas. Ainda segundo o mesmo autor, plásticos podem ser agrupados em duas grandes categorias: os termoplásticos e os termofixos.

Termofixos são plásticos curados e endurecidos em uma forma permanente e irreversível. Exemplos de plásticos comuns que caem nesta categoria são poliésteres, polímeros fenólicos e silicones. Este tipo de plástico é comumente encontrado em potes, mangueiras, baldes, eletrônicos e vários outros objetos. São especialmente úteis pois não se deformam com aumento de temperatura.

Já com os termoplásticos, o processo de cura não acontece, e assim podem ser remodelados com o calor e reendurecidos por esfriamento. Exemplos comuns de termoplásticos são acrílicos, polímeros de vinil e alguns poliésteres. É comumente utilizado em lonas agrícolas, filmes de policloreto de vinila, sacos plásticos, entre outros objetos. Em geral, os termoplásticos são menos frágeis que termofixos, porém sua forma pode se deformar se o plástico for exposto a altas temperaturas.

A produção de plástico, apesar das vantagens, é ambientalmente nociva, uma vez que o plástico não é um material biodegradável. O destino deste material, após o fim de sua vida útil, é o lixo, sendo que apenas 10% de todo plástico produzido é reciclado. Muitas vezes o plástico é jogado ao mar, criando problemas sérios no ambiente marinho. Além disso, a degradação dos plásticos forma produtos chamados microplásticos, capazes de se espalhar por longas distâncias e contaminar oceanos inteiros (THEVENON, CARROL and SOUZA, 2014). A presença de plástico no oceano é especialmente danosa à fauna marinha, que é muitas vezes incapaz de

diferenciar o plástico de seu alimento, e acaba morrendo por asfixia ao tentar consumi-lo.

2.4.1 Plásticos usados na agricultura

O uso de plásticos na agricultura ocorre de diversas maneiras. Estes materiais são empregados ubiquamente em casas de vegetação na forma de lonas, sendo o componente responsável por filtrar os raios solares e reduzir a exposição das culturas à radiação UV. Nestas estruturas, as lonas formam “telhados” que permitem a passagem de luz e, no geral, são eficientes em oferecer um microclima dentro dos limites de exigências fisiológicas das culturas (REIS, 2005). Além disso, plásticos são geralmente o principal componente de fitas gotejadoras, tubulações e reservatórios d’água utilizados em sistemas agrícolas.

Outra forma de uso na agricultura consiste em cobrir os canteiros com filmes plásticos. Esta prática apresenta diversas vantagens, como: controlar a população de plantas daninhas, ao impedirem sua germinação e emergência; prevenir doenças, em especial aquelas que dependem de respingos de água para se espalharem; menor consumo de água em face da redução do processo de evaporação; e colheita de hortaliças mais limpas e sadias (DA SILVA, 2018; YURI et al., 2014).

As características de cor do plástico também influenciam na sua funcionalidade na agricultura. Plásticos de cor preta são mais utilizados, porém existem plásticos de coloração branca, prata, amarela e marrom, e podem ser também brancos ou prata na face superior e pretos na face inferior. Plásticos brancos ou prata refletem grande parte dos raios solares, fazendo com que o plástico absorva menos energia na forma de calor, tornando-os ideais para regiões quentes (YURI et al., 2014). Este efeito de reflexão também melhora o microambiente de luz, potencializando a fotossíntese. Os plásticos pretos tem função contrária, e absorvem uma quantia maior de raios solares, retendo mais calor no processo.

Ainda na cultura do morangueiro são utilizados plásticos contendo substrato, denominados slabs. Estes materiais permitem o cultivo do morangueiro em suspensão de forma conveniente, fazendo com que o fruto não tenha contato com o solo. A tecnologia de cultivo com slabs permite a fertirrigação e tem como principal vantagem a facilidade de aquisição dos componentes, de instalação e manejo (ANTUNES, JUNIOR, 2019). Também no cultivo fora do solo, os plásticos podem ser utilizados como contentores de substrato na forma de calhas de PVC (policloreto de vinila).

As desvantagens do uso do plástico são: baixa e lenta decomposição, formando um material poluente que leva centenas de anos para ser decomposto; dificuldade de corrigir casos de entupimentos ou furos nas fitas gotejadoras; dificuldade de se retirar o plástico completamente do solo; baixa vida útil em comparação à velocidade de decomposição;

Os plásticos utilizados na agricultura são de composição química, características mecânicas e durabilidade variáveis. Estima-se que a sua durabilidade seja de 2 a 4 anos. Geralmente, os plásticos agrícolas são compostos por polímeros lineares de baixa densidade (LLDPE) ou polietileno de baixa densidade (LDPE), ou uma mistura dos dois. Visto que esses plásticos são expostos à luz solar durante sua vida útil, eles são geralmente tratados com proteções contra a degradação por radiação solar. A radiação UV tem potencial de causar fragilização, descoloração e degradação dos plásticos (HARPER, 2003; YOUSSEF e HADDAD, 2013).

2.4.1 Materiais anti-UV usados nos plásticos

A proteção contra radiação UV pode ocorrer, segundo HARPER e PETRIE (2003) com a adição de 3 tipos de materiais: absorvedores de UV, extintores de estados excitados e terminadores de radicais livres. Absorvedores de UV agem inibindo o início do processo de degradação por meio da absorção e conversão da energia UV em energia infravermelha, que é dissipada como calor sem prejudicar a estrutura do plástico. Este método de proteção anti-UV tem como limitação o consumo do material após a conversão de UV em infravermelha, causando redução na eficiência da proteção ao longo do tempo.

Os extintores de estado excitado são compostos de níquel por sua vez, impedem o processo de degradação ao desativarem a energia dos fótons antes que estes possam quebrar ligações moleculares e gerar radicais livres. Alguns compostos de níquel são utilizados na agricultura pela sua resistência à corrosão por pesticidas. A terceira forma - e mais eficiente para uso nos plásticos agrícolas - é por meio dos estabilizadores de luz por amina impedida (HALS – Hindered amine light stabilizers).

Estes compostos são aplicados às resinas incorporadas aos polietilenos do plástico agrícola. Funcionam não pela filtragem da luz UV, mas pela inibição da degradação de polímeros por meio da terminação de radicais livres. Os HALS têm a característica de eliminarem os radicais livres produzidos pela foto-oxidação, por meio

de um complexo ciclo de reações, chamado de Ciclo de Denisov, ao final do qual os HALS retornam ao seu estado inicial.

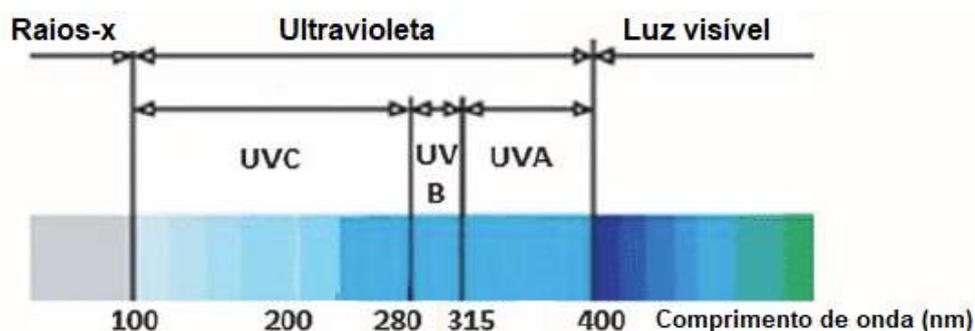
Esta característica regenerativa configura uma vantagem importante a esta tecnologia, pois outras formas de proteção anti-UV são geralmente consumidas como resultado de sua atividade anti-UV (ALIAS, NEMA, 2016). Dessa forma, diversos plásticos do tipo são tratados com HALS, que garante excepcional proteção anti-UV, e são por muitas vezes utilizados em combinação com outros tipos de filtro anti-UV para evitar a fotodegradação e aumentar a vida útil destes materiais. A resistência desses materiais à radiação UV-C ainda precisa ser melhor estudada.

2.5 RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta é a radiação eletromagnética com comprimento de onda de 1 a 380nm. Esta é classificada de acordo com os seus efeitos à saúde humana em UV-A, com comprimento de onda de 400 a 320nm; UV-B, de 320 a 280nm; e UV-C, de 280 a 100nm. Quase que a totalidade da radiação ultravioleta que chega à terra é classificada com UV-A, enquanto que 90% da radiação UVB é absorvida pela camada de ozônio. A radiação UV-C é totalmente absorvida pela camada de ozônio e não atinge a superfície terrestre (MACKENZIE, 2020).

A radiação UV tem efeitos negativos sobre organismos vivos, principalmente nos comprimentos de onda menores, na faixa da radiação UV-C. Como a radiação da faixa UV-A e UV-B são encontradas na luz solar, estas tem efeito germicida limitado, pois fungos e bactérias tiveram milhões de anos para se adaptar a elas (MACKENZIE, 2020).

Figura 4 - Faixas de radiação UV



Fonte: Gupta, Dai e Huang (2013), traduzido e adaptado pelo autor (2022)

2.5.1 Radiação ultravioleta em plantas de interesse agrícola

O efeito germicida da radiação UV a faz ser utilizada eficientemente em alguns setores da agricultura, principalmente para a sanitização de mudas e prolongamento da vida de prateleira de alguns frutos e hortaliças. Além do deste efeito, tem a ação de um estressor abiótico nas plantas e frutos, causando uma resposta adaptativa nos tecidos vegetais e mudando assim algumas características químicas dos frutos. Segundo Ulm e Jenkins (2015), a exposição à luz UV-b causa um aumento de metabólitos absorptivos de UV-b nos vacúolos celulares, assim como um aumento nos níveis de antioxidantes e de proteção do aparato fotossintético e dos níveis de enzimas reparadoras de DNA. Enquanto a radiação UV-a e UV-b afetam principalmente a morfogênese e o fototropismo das plantas, a radiação UV-b e UV-c aumenta a produção de metabólitos secundários como carotenoides, compostos fenólicos, glucosinatos e clorofilas (VANHAELEWYN et al., 2020).

Devido a estes efeitos, as aplicações de radiação, principalmente das faixas UV-b e UV-c vem sendo investigadas para aumentar a concentração de hormônios relacionados à defesa contra ataques de patógenos em diversas plantas e para matar patógenos que se desenvolvem nos tecidos vegetais de plantas de interesse agrícola.

2.5.2 Radiação UV-C

O comprimento de onda é inversamente proporcional à energia que os raios UV carregam. Dessa forma, a radiação UV-c é a com maior efeito biocida, cujo efeito é resultante do dano celular caracterizado pela formação de compostos conhecidos como dímeros de ciclobutano-pirimidina (CPDs), que são associados a um dano estrutural nos nucleotídeos (GOODSELL, 2001). Segundo Ogado et al. (2021) estes compostos tornam o DNA estruturalmente aberrante, fazendo com que os microorganismos emitam uma resposta de reparo do DNA, que é eficiente até um certo nível de dano, após o qual o sistema enzimático é sobrecarregado e a ocorrência de mutações causam a morte celular.

As luzes UV-c comerciais geralmente emitem luz no comprimento de onda de 254nm, geralmente considerada eficiente para eliminação de microorganismos. Tais lâmpadas são produzidas com a mesma tecnologia da lâmpada fluorescente, porém o fósforo depositado na superfície do bulbo absorve a luz e a re-emite em um comprimento de onda visível ao olho humano, então o vidro nas lâmpadas UV é substituído por materiais transparentes a radiação UV, como o quartzo (Mackenzie, 2020).

2.5.2.1 Radiação UV-C na resposta defensiva das plantas

Segundo Vanhaelewyn et al. (2020), metabólitos especializados desempenham um papel importante na interação planta-ambiente, agindo como antioxidantes, moléculas sinalizadoras e compostos protetores contra estresses bióticos e abióticos. Também segundo os mesmos autores, o dano causado por luzes UV leva à acumulação de metabólitos especializados, classificados em compostos fenólicos, terpenos e compostos nitrogenados.

Compostos fenólicos são um grupo de metabólitos secundários onipresentes no reino vegetal, que compreendem um grande e diverso grupo de compostos aromáticos, geralmente produzidos e acumulados nas camadas subepidérmicas de tecidos expostos à estresses abióticos e ataques de patógenos (BHATTACHARYA, SOOD, CITOVSKY, 2010). Dentro da classe dos compostos fenólicos, se destacam os flavonoides, que cumprem a função de proteção contra invasões microbianas na planta (HARBORNE, WILLIAMS, 2000). Estes compostos agem como fitoalexinas, ou seja, compostos químicos com propriedades antimicrobianas, produzidos pela planta após estresses físicos, químicos ou biológicos. Fitoalexinas fenólicas acumuladas em plantas feridas ou submetidas a estresses podem repelir e matar muitos microorganismos, embora alguns tenham se adaptado a elas, como algumas bactérias do gênero *Agrobacterium* e *Rhizobium*, nos quais alguns compostos fenólicos tem atividade quimioatrativa e indutora de nodulação, respectivamente (BHATTACHARYA, SOOD, CITOVSKY, 2010). Dessa forma, os compostos fenólicos seletivamente influenciam o crescimento de microorganismos que colonizam a rizosfera.

Os terpenos são a maior classe de metabólitos especializados, que incluem fitoormônios importantes, como giberilinas, brassinosteroides e ácido abscísico. Também incluem pigmentos como carotenoides, substâncias repelentes e atrativas de insetos e também fitoalexinas. Estudos relatam a atividade antimicrobiana e bacteriostática de terpenos, que levam à morte celular pela desintegração da função ou integridade da membrana celular (GUIMARÃES et al., 2019). Dessa forma, os terpenos contribuem diretamente para a defesa vegetal contra herbívoros e patógenos, e também contribuem com mecanismos de defesa indiretos, ao atraírem predadores de herbívoros em algumas culturas (SINGH, SHARMA, 2014). Os compostos nitrogenados também contribuem de maneira similar à defesa da planta, agindo como fitoalexinas e fitoanticipinas (VANHAELEWYN et al., 2020).

Além do aumento nos níveis de metabólitos secundários relacionados à defesa da planta, a exposição da planta à radiação UV aumenta os níveis de ácido salicílico (AS) e de jasmonatos (JA), que tem ação contra insetos e fungos patogênicos. Aumentos nos níveis de AS após estresse por luzes UV-C e UV-B em pimenta, tabaco, cevada e trigo. Também existem estudos comprovando aumentos nos níveis de JA após tratamentos com luzes UV-B (VANHAELEWYN et al., 2020).

2.5.2.2 Radiação UV-C no controle de ácaro rajado

A radiação UV-C vem sendo estudada como possível substituta de defensivos químicos devido à sua capacidade de causar lesões no DNA de pragas e patógenos. A forma mais abundante e tóxica dessas lesões são os dímeros de ciclobutano-pirimidina (CPDs) (SINHA e HÄDER, 2002). Pirimidinas são compostos orgânicos que servem de base para os ácidos nucleicos citosina, timina e uracila. A exposição dessas moléculas à luz UV leva à formação de dímeros, isto é, complexos moleculares formados pela ligação de duas moléculas idênticas. Segundo Kuzminov (2013), estes compostos constituem a maior parte das lesões causadas por radiação UV-C.

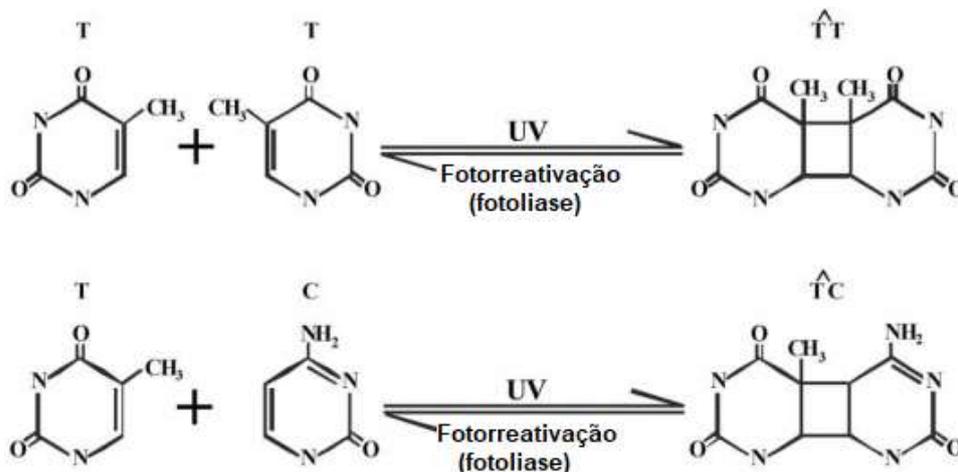
Outra lesão de DNA são os fotoprodutos 6-4 (6-4PPs), que, embora menos comuns que os CPDs, são mais mutagênicos. São caracterizados por uma ligação covalente entre duas bases adjacentes de pirimidina. Ambos os CPDs e 6-4PPs podem ser reparados pelo processo de fotorreativação pelas enzimas fotoliasas (YOKOYAMA, MIZUTANI, 2014). Caso as lesões do DNA não sejam corrigidas, os CPDs levam à morte celular pela inibição do progresso das polimerases de DNA e RNA, que são enzimas que realizam parte da replicação dos ácidos nucleicos (KUZMINOV, 2013).

Este dano é confirmado nos experimentos práticos com radiação UV-C para controle de ácaros. No estudo de Short et al. (2018), a irradiação de UV-C por 60 segundos foi capaz de manter os níveis populacionais do ácaro-rajado abaixo da linha de dano econômico, sem causar toxidez à planta. O período de escuridão após os tratamentos é uma variável que contribui para o dano ao DNA. O efeito sinérgico da luz UV-C com a escuridão ocorre devido à não-ativação das fotoliasas, que necessitam de luz para realizarem o processo de fotorreativação (BEGGS, 2002).

Similarmente, Øyri (2017) conclui que a utilização de radiação UV-C pode ser utilizada como uma forma não-química para reduzir a população de *T. urticae* em cultivos de ambiente controlado. Dessa forma, a radiação UV-C apresenta grande

potencial para emergir como uma nova forma de controle do ácaro rajado, que, além de eficiente, não deixa resíduos químicos após sua aplicação.

Figura 5 - Formação de dímeros de tiamina-tiamina e tiamina-citosina, reversíveis pela enzima fotoliase.



Fonte: SINHA e HÄDER (2002), traduzido pelo autor.

2.5.2.3 Radiação UV-C nos teores de clorofila

Já no estudo de MAHRAVIAN, GHORBALINI e KALANTARI (2008), o tratamento com radiação UV reduziu os teores de clorofila, com a radiação UV-C ($5,7\text{Wm}^{-2}$) tendo redução superior em comparação à UV-A e UV-B. Similarmente, Castronuovo et al. (2017) mostram que a radiação UV-C reduz significativamente os teores de clorofila na planta de dente-de-leão na dose de $3,8\text{ J m}^{-2}$ a 1 metro de distância. Estes estudos confirmam o potencial efeito tóxico da radiação UV-C sobre o aparato fotossintético das plantas.

O efeito tóxico da radiação UV-C sobre as plantas e algas aparenta ser dose-dependente. Nassour, Ayash e Mohhamad (2017) relatam que a radiação UV-C é capaz de reduzir os níveis de clorofila a quase zero em aplicações de 60 minutos na alga *Chlamydomonas reinhardtii*. Porém, em exposições de 30 segundos, os níveis de clorofila não foram alterados significativamente. Castronuovo et al (2017) também relaciona o grau de dano ao tempo de exposição, com a exposição de 10 minutos à radiação UV-C causando pouca redução nos teores de clorofila em comparação com a testemunha, enquanto a exposição por 120 minutos levou a uma redução de 10% na concentração de clorofila nas folhas de dente-de-leão e flor-de-cone em aplicações a 1 metro de distância da lâmpada.

2.3.2.4 Radiação UV-C na integridade dos plásticos

Plásticos são vulneráveis à degradação pelos efeitos da radiação UV, assim como pelo calor e umidade (HARPER e PETRIE, 2003). A exposição de plásticos à radiação UV causa um fenômeno conhecido como degradação fotooxidativa, que resulta na quebra de cadeias poliméricas, causando assim a deterioração das propriedades mecânicas do plástico (YOUSSIF e HADDAD, 2013). A degradação foto-oxidativa, ou foto-oxidação, tem 4 etapas: a iniciação, na qual o fóton é absorvido pelo plástico formando radicais livres; a propagação: na qual há conversão de uma espécie de polímero a outra; ramificação em cadeia: outras espécies ativas são formadas por fotólise; e terminação: as espécies ativas são removidas do resto do material.

Täheema et al. (2021) encontraram indícios de efeito degradativo da radiação UV-C sobre peças de plástico feitas em impressoras 3d. De forma similar, Akbay (2016), mostrou que a radiação UV-C é capaz de degradar polímeros de policarbonatos, causando alterações morfológicas na estrutura dos plásticos, ocorrendo ainda indícios de degradação química.

Como a radiação UV-C não chega à terra naturalmente, os danos causados aos plásticos são normalmente causados pela radiação natural UV-A e UV-B. Teska et al. (2019), ao analisar o potencial efeito danoso dos tratamentos com radiação UV-C sobre plásticos usados em unidades de saúde, encontrou danos em vários tipos de plásticos, em maior e menor grau. Apesar de se saber que a radiação UV-C é capaz de causar dano a plásticos, o efeito desta radiação sobre os plásticos tratados com proteção anti-UV ainda é pouco estudada, e devem ser feitos mais estudos para comprovar a sua eficiência.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 EXPERIMENTO 1

O primeiro experimento, com a finalidade de estudar o efeito de diferentes doses de radiação acumulada sobre os níveis de clorofila das folhas do morangueiro.

3.1.1 Condução do experimento

O experimento foi conduzido na propriedade de produção comercial SCH Morangos, situado na linha São João Norte, no município de Cerro Largo, Rio Grande do Sul. A cultivar Albion foi utilizada para realização dos experimentos. As plantas estavam no estágio de frutificação, e há cerca de 1 mês do último tratamento químico. Não se constatou presença generalizada de doenças, porém foi detectada a presença de ácaros por toda a área do experimento. As plantas eram regadas diariamente por sistema de gotejamento, através de fitas gotejadoras, sistema este que também é responsável por realizar a fertirrigação.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com 4 tratamentos: T0 – Testemunha, sem aplicação de radiação UV-c; T1 – radiação acumulada de $1,925 \text{ kJ m}^{-2}$ (35 segundos) dividida em 7 aplicações de $0,275 \text{ kJ m}^{-2}$; T2 – radiação acumulada de $1,1000 \text{ kJ m}^{-2}$ (20 segundos) divididas em 4 aplicações de $0,275 \text{ kJ m}^{-2}$; e T3 – . Os tratamentos foram aplicados passando o protótipo de aplicação sobre a unidade experimental por cerca de 30 segundos por unidade experimental, estimando-se que cada planta recebeu radiação por cerca de 5 segundos. As aplicações foram realizadas sempre à noite, durante um período de 1 semana.

Foi considerado, para avaliação dos parâmetros relativos à aplicação de luz UV-C, as doses na forma de kJ m^{-2} de energia acumulada ao longo da soma das aplicações, e optou-se por realizar a regressão com o objetivo de avaliar o efeito cumulativo das doses aplicadas.

Para cada tratamento foram realizadas 7 repetições, totalizando 28 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi composta por 3,5 metros lineares, com plantas dispostas sequencialmente. As unidades experimentais foram escolhidas aleatoriamente. O material vegetal usado para análise foi de plantas localizadas mais ao centro da unidade experimental, para evitar efeito de bordadura.

3.1.2 Equipamento de irradiação UV-C e aplicação dos tratamentos

Para a finalidade de realizar as aplicações de radiação UV-c nas partes adaxial e abaxial das folhas, foi montado um protótipo com uma lâmpada UV de 55 watts (Osram

HNS L, radiação 254nm, com 3.8 cm de largura e 53.3 de comprimento) com paredes de papelão forradas com papel alumínio, visando refletir a luz à parte abaxial das folhas e proteger o aplicador dos efeitos deletérios da radiação UV-C. Foi acoplado um cabo na parte superior do protótipo para melhor manuseio.

3.1.3 Mensuração dos níveis de clorofila

A fim de avaliar a clorofila, foi utilizado o equipamento ClorofiLOG CFL1030 FALKER, um clorofilômetro portátil. O aparelho realiza a leitura do índice SPAD, variando de 0 a 100, indicando assim o percentual de clorofila na folha. As mensurações de clorofila foram realizadas 24 horas após a primeira aplicação e 36 horas após a última aplicação. As folhas nas quais a mensuração foi feita foram escolhidas e marcadas no início do experimento com uma corda. Escolheram-se trifólios saudáveis, dos terços médio e superior da planta, não muito jovens para facilitar o uso do clorofilômetro, nem muito velhos de modo que o possível incremento nos teores de clorofila fosse prejudicado.

A fim de evitar os característicos erros da leitura SPAD, cada folíolo era mensurado duas vezes, em dois pontos diferentes do folíolo. No total, foram medidos 6 folíolos de cada planta, em um total de 12 mensurações por planta.

3.1.4 Análise estatística

A análise estatística foi feita com base na diferença entre as medições do índice SPAD no início dos tratamentos. Também foi feita a análise de regressão com os dados coletados 36 horas após a aplicação dos últimos tratamentos. Os dados foram processados com auxílio do software de estatística AgroEstat e Microsoft Excel.

3.2 EXPERIMENTO 2

O segundo experimento teve como objetivo avaliar a letalidade da radiação UV-C sobre o ácaro-rajado. Para isto, foi realizado um experimento *in vitro* visando avaliar a mortalidade de diferentes doses de radiação UV-C sobre a mortalidade de *T. urticae* *in vitro*.

3.2.1 Coleta de ácaros

Os ácaros utilizados no experimento *in vitro* foram coletados propriedade de produção comercial SCH morangos. As plantas selecionadas apresentavam sintomas mais evidentes de ataques de ácaros como: teias na parte abaxial das folhas, aspecto crestado e pontas retorcidas. Os trifólios coletados foram levados ao Laboratório de Fisiologia Vegetal da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo (RS), onde procedeu-se com a realização do experimento.

3.2.2 Delineamento experimental e aplicações

Por meio de lupa de aumento 30x, áreas de folhas com grandes infestações de ácaro-rajado foram selecionadas e destacadas em pedaços com ácaros. Estes foram então acondicionadas sobre discos de papel de filtro saturados em água, dentro de placas de Petri de vidro (9 cm) conforme metodologia proposta por Pontes *et al.* (2007). Em seguida, ocorreu a aplicação da luz UV-C, de acordo com o delineamento experimental.

O delineamento experimental escolhido foi o DIC, com 6 tratamentos: Tratamento 1 – Testemunha, $E = 0 \text{ kJ m}^{-2}$; Tratamento 2 – $E = 0,165 \text{ kJ m}^{-2}$ (3 segundos); Tratamento 3 – $E = 0,275 \text{ kJ m}^{-2}$ (5 segundos); Tratamento 4 – $E = 0,55 \text{ kJ m}^{-2}$ (10 segundos); Tratamento 5 – $E = 1,1 \text{ kJ m}^{-2}$ (20 segundos); Tratamento 6 – $E = 2,2 \text{ kJ m}^{-2}$ (40 segundos). Os tratamentos foram aplicados posicionando a lâmpada 15cm acima das placas de petri abertas e ligando a luz pelo período desejado.

Após as aplicações de radiação UV-C, as placas foram fechadas e mantidas em ambientes escuro a fim de garantir no mínimo 4 horas de escuridão após a aplicação, conforme proposto por Janisiewicz *et al.* (2016) e Short *et al.* (2018). Posterior a este período, analisou-se a mortalidade de ácaros em lupa de bancada com aumento de 30x. Foram considerados mortos os organismos incapazes de caminhar uma distância superior ao comprimento de seu corpo após um leve toque com pincel de cerdas finas (PONTES, *et al.*, 2007).

3.2.3 Equipamento e aplicação dos tratamentos

O equipamento utilizado para aplicação de radiação foi o mesmo utilizado no experimento 1. A distância de aplicação foi de 15cm. A aplicação dos tratamentos foi feita dentro do laboratório de Agroecologia da UFFS.

3.2.4 Análise estatística

Após o experimento, procedeu-se com a análise estatística. Esta foi feita através dos softwares AgroEstat e Microsoft Excel.

3.3 EXPERIMENTO 3

O experimento 3 teve como finalidade avaliar a degradação de um plástico agrícola em função da aplicação de radiação UV-C por diferentes períodos de tempo.

3.3.1 Equipamentos e procedimentos

A avaliação da degradação do plástico pela radiação UV-C foi feita com uso de um penetrômetro PTR-100, da marca iTest. Este equipamento foi utilizado para avaliar a resistência de um filme de plástico agrícola à penetração. Para isto, foram cortadas tiras do plástico e cada tira foi posicionada no bocal de um recipiente de vidro, e fechado com uma tampa cortada. Desta maneira, o plástico ficava firme no bocal e podia-se aplicar pressão até romper o material.

O plástico utilizado para os experimentos é um plástico agrícola de dupla face de 20 micras da marca Solplast, modelo ACOSOL Pt-Ng. O plástico é composto por uma mistura de polietilenos de baixa densidade, polímeros lineares de baixa densidade e resinas tratadas com proteção anti-UV. O fabricante não informa qual o tipo de proteção anti-UV empregado na fabricação do material.

3.3.2 Delineamento experimental

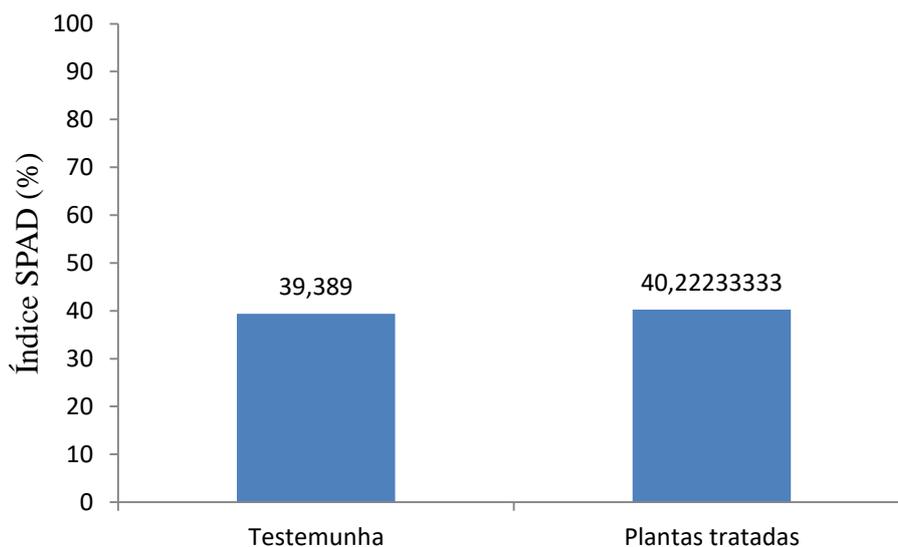
O experimento foi dividido em 4 tratamentos, sendo todos eles realizados com 15cm de distância entre lâmpada e o plástico: T1 – testemunha, sem aplicação de radiação UV-C; T2 – E = 198 kJ m⁻² (1 hora); T3 – E = 594 kJ m⁻²(3 horas) e T4 – E = 990 kJ m⁻² (5 horas). Para cada tratamento, foram realizadas 6 repetições. A pressão registrada era a pressão suficiente para fazer o plástico romper.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1

As médias dos índices SPAD, mensurado 24 horas após a aplicação dos primeiros tratamentos, das plantas tratadas e não tratadas com uma dose única de radiação UV-C podem ser vistas na figura 6.

Figura 6 - Valores da leitura do índice SPAD em plantas não tratadas (testemunha) e plantas tratadas com $0,275\text{kJ m}^{-2}$ de radiação UV-C, Cerro Largo, 2022.

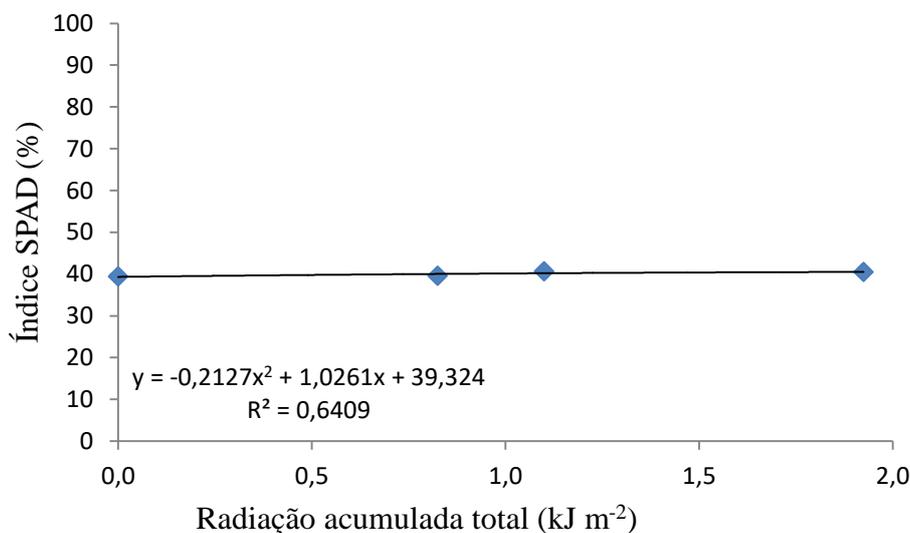


Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Pode-se observar que uma aplicação única de radiação UV-C resultou em valores similares no índice SPAD (Figura 6), o que indica que os tratamentos não induziram alterações fisiológicas detectáveis sobre os níveis de clorofila das folhas de morangueiro 24 horas após a aplicação. Isto vai de encontro com os resultados de Nassour, Ayash e Mohhamad (2017), que encontraram variações significativas de clorofila em tratamentos com mais de um minuto de exposição à radiação, porém pouca ou nula variação em períodos menores.

A realização da análise de regressão (Figura 7) foi feita com os valores SPAD lidos após a aplicação do último tratamento. O objetivo foi avaliar se a aplicação de doses de radiação UV-C ao longo da semana tiveram efeito cumulativo sobre o teor de clorofila nas folhas de morangueiro.

Figura 7 - Análise de regressão das leituras do índice SPAD em função do tempo de exposição das plantas de morangueiro à radiação UV-C, sendo $0 \text{ kJ m}^{-2} = 0\text{s}$, $0,8250 \text{ kJ m}^{-2} = 15\text{s}$, $1,1000 \text{ kJ m}^{-2} = 20\text{s}$ e $1,925 \text{ kJ m}^{-2} = 35\text{s}$, Cerro Largo, 2022.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A análise de regressão não mostrou tendência de crescimento ou decréscimo, o que indica que não houve diferença nos teores de clorofila nas folhas que pudesse ser explicado pelos tratamentos. O valor R foi baixo, o que indica que o tratamento de radiação UV-C é pouco explicativo sobre a variância dos dados.

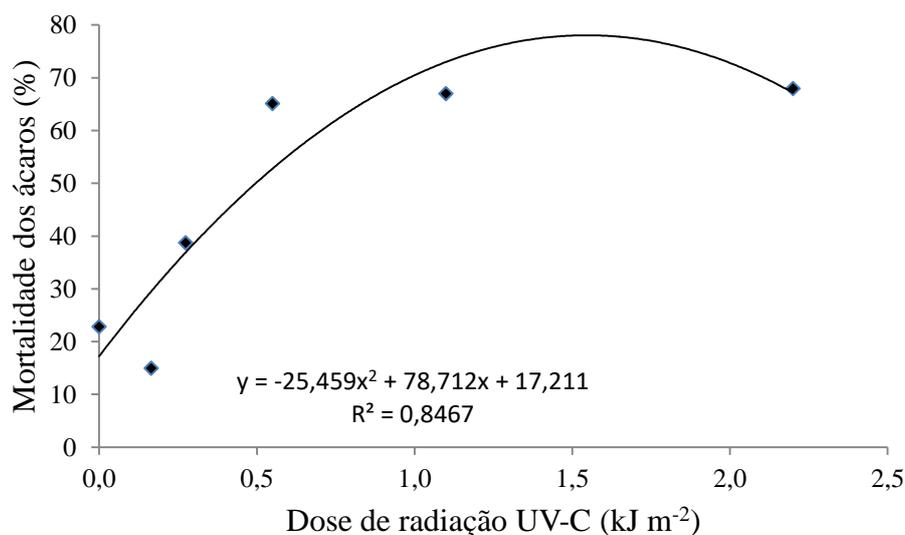
Estes resultados corroboram a tese de que doses baixas de radiação UV-C não causam danos ao aparato fotossintético da planta (NASSOUR, AYASH e MOHHAMAD, 2017; CASTRONUOVO et al, 2017). Desta forma, pode-se perceber que a radiação UV-C tem um efeito hormético nas plantas, isto é, em doses baixas não tem efeito ou causa um estímulo à produção de compostos de defesa (VANHAELEWYN et al. 2020) como terpenos, jasmonatos, ácido salicílico e compostos fenólicos, mas a partir de um ponto causa a degradação do sistema fotossintético, a destruição do material genético e, eventualmente, a morte da planta.

Estas lacunas no conhecimento abrem oportunidades para estudos futuros. Não se sabe exatamente a partir de qual dose de radiação UV-C os problemas fisiológicos como perda de clorofila começam a aparecer, assim como não se sabe a partir de qual dose há um acúmulo de clorofila, porém pode-se dizer que a aplicação de $1,925 \text{ kJ m}^{-2}$ de radiação UV-C dividida até 7 doses de $0,275 \text{ kJ m}^{-2}$ (5 segundos), não levaram a um acúmulo ou perda de clorofila em testes de campo, indicando que os tratamentos são seguros.

4.2 EXPERIMENTO 2

Os testes *in vitro* mostraram que a mortalidade do ácaro rajado aumentou em função do tempo de exposição à radiação UV-C. A dose de radiação que mais apresentou eficiência segundo a regressão polinomial de ordem 2 foi de 1,54 kJ m⁻², o que é equivalente a 28,11 segundos de radiação.

Figura 8 - Mortalidade dos ácaros em função de diferentes doses de radiação UV-C, sendo 0 kJ m⁻² = 0 segundos, 0.165 kJ m⁻² = 3 segundos, 0.275 kJ m⁻² = 5 segundos, 0.55 kJ m⁻² = 10 segundos, 1.1 kJ m⁻² = 20 segundos e 2,2 kJ m⁻² = 40 segundos de exposição à radiação. Cerro Largo, 2022.



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Esta dose resulta na mortalidade de 78,06% dos ácaros em teste *in vitro*. Estes resultados corroboram o que a literatura já diz a respeito da radiação UV-C: que há eficiência no uso da radiação UV-C para o controle de *T. urticae*. No entanto, não se pode afirmar que se teriam os mesmos resultados em aplicações à campo, uma vez que a maioria dos ácaros alojam-se na face abaxial das folhas, de modo que a radiação não incide diretamente sobre eles quando vinda de uma aplicação de cima a baixo.

Dessa forma, torna-se necessário a realização de novos experimentos complementares, que acompanhem o desenvolvimento das populações de *T. urticae in vitro*, recebendo pequenas doses de radiação UV-C ao longo dos dias, uma vez que, de acordo com a literatura, a radiação UV-C, tem efeito sobre a eclodibilidade dos ovos de ácaro-rajado. Deste modo, existe a possibilidade que ao longo dos dias de exposição, mesmo em doses reduzidas possa haver um efeito de diminuição gradativa das populações (SUZUKI *et al.*, 2009; GALA *et al.*, 2021). Sendo assim, é necessária a

melhor compreensão do efeito da radiação UV-C sobre o ácaro-rajado em diferentes estágios de desenvolvimento, que por sua vez precisam ser padronizados.

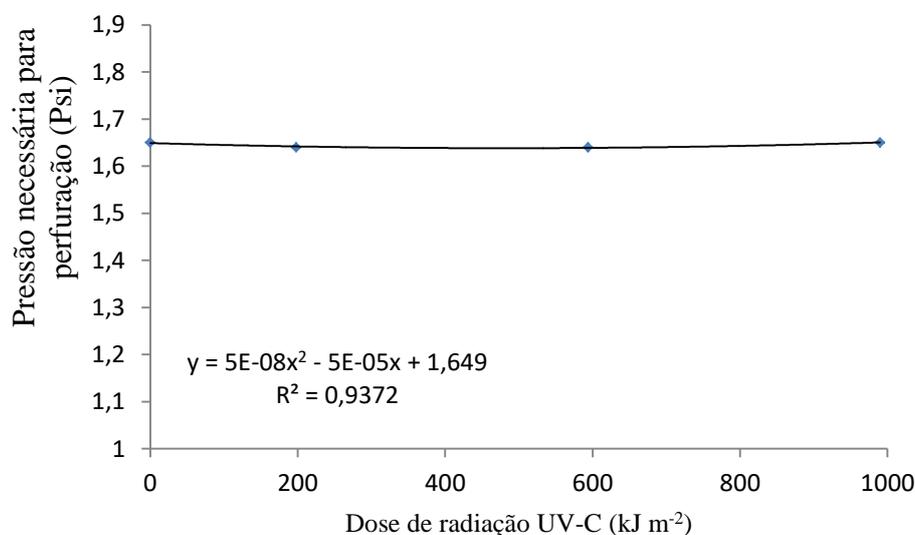
Outros testes complementares precisam ser realizados no futuro. Pode-se realizar experimentos com utilização de equipamentos com mais lâmpadas acopladas. Assumindo-se que a radiação proporcional aplicada (kJ m^2) é definida pela quantidade de lâmpadas utilizadas, deve haver um efeito mais acentuado, podendo controlar as populações com tempos menores de exposição. Os fatores tempo e irradiância são fundamentais ao se pensar na aplicabilidade a campo da tecnologia de radiação UV-C.

Sendo assim, cabe a novos experimentos tanto a campo quanto *in vitro* observar os efeitos causados pela radiação ao ácaro rajado, utilizando tempos de aplicação distintos, a fim de quantificar qual é a dose que permitirá manter a população abaixo do nível de dano econômico. Quanto aos testes *in vitro*, podem ser realizados mais estudos para avaliar com precisão quais são os efeitos da radiação sobre as populações, se a eficiência de aplicação está principalmente concentrada aos indivíduos adultos ou sobre os ovos.

4.3 EXPERIMENTO 3

Os experimentos visando descobrir o efeito da radiação UV-C sobre os plásticos mostraram uma reta sem tendência crescente ou decrescente, mostrando que os tratamentos com radiação UV-C não tiveram efeito sobre a resistência do plástico, avaliado com um penetrômetro de mão.

Figura 9 - Pressão necessária para perfuração do plástico em função do tempo de exposição à radiação, sendo $0 \text{ kJ m}^{-2} = 0$ segundos; $198 \text{ kJ m}^{-2} = 1$ hora, $594 \text{ kJ m}^{-2} = 3$ horas e $990 \text{ kJ m}^{-2} = 5$ horas, Cerro Largo, 2022.



Fonte: autor (2022)

Estes resultados mostram que não há indícios de degradação polimérica por foto-oxidação em função da aplicação de radiação UV, verificada através da resistência à penetração, indicando que é improvável que o uso desta radiação venha a danificar os plásticos, causando rompimento dos mesmos em aplicação à campo, com 93% de certeza pelo coeficiente de determinação R. Apesar disto, testes adicionais precisam ser realizados para avaliar e detectar potenciais alterações em plásticos submetidos à radiação UV-C. O teste de mensuração de rugosidade de superfície poderia ser feito com auxílio de um microscópio ou um perfilômetro, e auxiliaria em detectar irregularidades na superfície dos plásticos.

Com o tratamento de 28,11 segundos, estabelecido no experimento 2 como sendo o tratamento de máxima eficiência técnica para redução da população de *T. urticae*, o projeto mostrou ser segura a realização de até 640 aplicações de radiação UV-C sem detectar alterações na resistência do plástico. Dessa forma, pode-se dizer que a tecnologia UV-C tem pouco efeito sobre a integralidade dos plásticos tratados com proteções anti-UV.

Outra análise, como a Espectroscopia no infravermelho, poderia ser utilizada para analisar a presença de grupos funcionais de um material, podendo, neste caso, ser usada para identificar compostos resultantes de dano químico aos materiais (TESKA, 2019). Uma forma talvez mais simples de detectar a degradação por foto-oxidação seria a colorimetria, uma vez que plásticos degradados tendem a ter uma coloração mais amarelada (HARPER e PETRIE, 2003).

Estudos futuros devem ser feitos para elucidar o efeito da radiação UV-C sobre outras tecnologias, especialmente com a tecnologia dos estabilizadores de luz por amina impedida (HALS), tendo em vista que esta é a forma mais moderna, eficiente e durável de proteção anti-UV conhecida atualmente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para análises futuras, recomenda-se que doses maiores de radiação sejam estudadas, a fim de compreender o efeito hormético da radiação UV-C sobre as plantas do morangueiro. Outro estudo importante seria a avaliação da concentração dos metabólitos secundários como terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados em função de diferentes doses de radiação UV-C.

Deve-se ressaltar a importância de experimentos que levem os dados presentes neste trabalho à campo, para testar qual efeito tem a radiação UV-C sobre controle de ácaros em situação de cultivo comercial. Também seria interessante a realização de novos experimentos, visando acompanhar o desenvolvimento das populações de *T. urticae in vitro*, recebendo pequenas doses de radiação UV-C ao longo dos dias para que possa se verificar uma redução gradativa da população do ácaro rajado, assim como para verificar seus efeitos sobre a eclodibilidade dos seus ovos.

Outro trabalho que poderia ser feito é uma análise do efeito trans-laminar da radiação UV-C, uma vez que pragas como *T. urticae* se alojam na face abaxial das folhas, e dessa forma se protegem da incidência direta da radiação. Além deste estudo, seria de grande importância realizar testes *in vitro* sobre a reflexividade da radiação UV-C, de modo que os ácaros não fossem expostos diretamente à radiação, mas sim à radiação indireta refletida pelo papel alumínio. O protótipo utilizado neste estudo poderia ser usado para este fim.

Sobre os plásticos, estudos futuros devem ser feitos para testar a segurança da aplicação de radiação UV-C sobre os materiais, buscando utilizar formas mais ortodoxas de teste, como a colorimetria ou teste de rugosidade. No mais, estudos que provem a segurança e eficiência da tecnologia de luz UV-C são importantes para solidificar seu uso como um método de controle de doenças e pragas menos prejudicial ao meio ambiente.

6 CONCLUSÃO

Não foram observados danos à planta que pudessem ser atribuídos à aplicação de radiação UV-C. Os valores da medição SPAD apresentaram pouca diferença, indicativo de que os tratamentos com radiação UV-C são seguros nas doses estudadas, não causando danos ao aparato fotossintético da planta, tampouco levando a uma acumulação de clorofila nas folhas.

Os testes *in vitro* confirmaram a letalidade da radiação UV-C à *T. urticae*, com a linha de tendência mostrando que a dose de radiação de $1,54 \text{ kJ m}^{-2}$, equivalente ao tempo de exposição de 28,11 segundos, resultou na mortalidade de 78,06% dos ácaros.

Os estudos sobre a degradabilidade dos plásticos não mostram tendência de efeito sobre a resistência ao rompimento do plástico quando aplicada a dose de até 990 kJ m^{-2} , equivalente ao tempo de exposição de 5 horas. Dessa forma, o projeto concluiu que a aplicação de radiação UV-C (254nm) é segura para até 640 aplicações na dose de 990 kJ m^{-2} , (28,11 segundos), para a redução de até 78,06% da população de *T. urticae* sem danos sobre a folha ou sobre os plásticos analisados.

REFERÊNCIAS

- ALIAS, B. C; NEMA, A. K. Analysis and Characterization of U.V Stabilized Metallocene Catalysed LLDPE Films with Conventional Zeiglar-Natta LLDPE. **International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education**, [S. l.], v.2, n.3, p2932-2936, 2016
- AKBAY, I. K; Monomer migration and degradation of polycarbonate via UV-C irradiation within aquatic and atmospheric environments. **Journal of Macromolecular Science, Part A**. [S. l.], v.53, n.6. p. 340-345. 2016.
- AMARANTE, C. V. T. STEFFENS, C. A. SANGOI, L. ZANARDI, O. Z. MIQUELOTO, A. SCHWEITZER, C. Quantificação de clorofilas em folhas de milho através de métodos ópticos não destrutivos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.l], v.9, n.1, p. 39-50, 2010.
- AMSALEM, L. FREEMAN, S. RAV-DAVID, D. NITZANI, Y. SZTEJNBERG, A. PERTOT, I. ELAD, Y. Effect of climatic factors on powdery mildew caused by *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae* on strawberry. **European Journal of Plant Pathology**, Israel, v.114, p. 283–292, 2006.
- ANTUNES L. E. C.; BONOW, S; REISSER JUNIOR, C. Morango crescimento constante em área e produção. **Anuário Campo & Negócios**, v.37, p.88-92.
- ANTUNES, L. E. C; JUNIOR, C. R; SCHWENGBER, J. E. **Morangueiro**. Embrapa Clima Temperado. p: 17-33. Brasília, DF. 2016
- ANTUNES, L. E. C; JUNIOR, C. R;. **Recomendação da Utilização do Sistema de Produção Fora do Solo para Morangueiro**. Circular técnica 203. Embrapa. Pelotas, RS. 2019. Disponível em:
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/206539/1/CIRCULAR-203.pdf>
- BEGGS. C. B. A quantitative method for evaluating the photoreactivation of ultraviolet damaged microorganisms. **Photochemical and Photobiological Sciences**, n.6, p. 431-437, 2002.
- BERNARDI, D. Teias de prejuízo. **Revista Cultivar Hortaliças e Frutas**. p. 8-11. Agosto/Setembro 2010.
- BERNARDI, D; BOTTON, M. CUNHA, U da S. NAVA, D. E. GARCIA, M. S. **Bioecologia, monitoramento e controle do ácaro-rajado com o emprego da azadiractina e ácaros predadores na cultura do morangueiro**. Circular técnica 83. Embrapa, Bento Gonçalves, RS. 2010.
- BERNARDI, D; BOTTON, M; NAVA, D. E; ZAWADNEAK, M. A. C. **Guia para a identificação e monitoramento de pragas e seus inimigos naturais em morangueiro**. Embrapa, DF. 2015.
- BHATTACHARYA, A. SOOD, P. CITOVSKY, V. The roles of plant phenolics in defence and communication during *Agrobacterium* and *Rhizobium* infection. **Molecular Plant Pathology**, v.11, n. 5, p 705-719, 2010.

BRAHM, R. U. UENO, B. DE OLIVEIRA, R. P. Reação de cultivares de morangueiro ao oídio sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, n.2. Pelotas, RS. 2005. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbf/a/byxHwXc3Xxm8Qw5DcfXX87n/?lang=pt>

CASTRONUOVO, D. SOFO, A. LOVELLI, S. CANDIDO, V. SEOPA, A. Effects of UV-C radiation on common dandelion and purple coneflower: First results.

International Journal of Plant Biology, v. 8, n. 7255, p. 61-64. 2017.

COCCO, C. **Qualidade fisiológica das mudas na produção de frutas do morangueiro**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS. 2010.

COSTA, H; VENTURA, JÁ; LOPES, UP. 2011. Manejo integrado de doenças do morangueiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 51.

Horticultura Brasileira 29. Viçosa. **Anais**. Disponível em:

http://www.abhorticultura.com.br/eventos/trabalhos/ev_5/H%C3%A9lcio_Costa_Manejo_integrado_doen%C3%A7as.pdf

DA SILVA, V. J.; **A cor da cobertura plástica do solo favorece o crescimento vegetativo, a produção e a qualidade de minitomates?**. 2018. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal De Uberlândia, Uberlândia 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/24840>

DARROW, G. **The strawberry; history, breeding, and physiology**. 1ª ed. San Francisco. 1996.

MORAIS, D. B. de. MATIAS, S. S. R; NASCIMENTO, A. H; Área foliar e teor de clorofila em função de doses de fósforo em mudas de maracujá no município de Corrente-PI. In: XXXV Congresso Brasileiro de ciência do solo. 2015. Natal, RN.

Anais [...]. Universidade Estadual do Piauí. Disponível em:

<https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/406.pdf>

NASCIMENTO, R; DEUNER, S; FERREIRA, L. S.; BADINELLI, P. G.; KERBER, R. S. Crescimento e teores de clorofila e carotenóides em três cultivares de soja em função da adubação com magnésio. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 364-369. 2009.

GALA, J. Acaricidal efficacy of ultraviolet-C irradiation of *Tetranychus urticae* adults and eggs using a pulsed krypton fluoride excimer laser. **Parasites & vectors**, v. 14, n. 578, p. 1-8, 2021.

GOODSELL, D S. The Molecular Perspective: Ultraviolet Light and Pyrimidine. **The Oncologist**. v. 6, n. 3, p. 298-299. 2001.

GUBLER, W. D.; CONVERSE, R. H. Diseases of strawberry. **American Phytopathological Society**, St. Paul, MN. 1993. Disponível em:

<https://www.apsnet.org/edcenter/resources/commonnames/Pages/Strawberry.aspx>

GUIMARÃES, A. C. MEIRELES, L. M. LEMOS, M. F. GUIMARÃES, M. C. C. ENDRINGER, D. C. FRONZA, M. SCHERER, R. Antibacterial Activity of Terpenes and Terpenoids Present in Essential Oils. **Revista Molecules**, v. 24, n. 13:2471, 2019.

GUPTA, A.; DAI, T.; HUANG, Y. Ultraviolet Radiation in Wound Care: Sterilization and Stimulation. **Advances in Wound Care**, v. 2, n. 8, 2013.

HARBORNE, J. B, WILLIAMS, C. A. Advances in flavonoid research since 1992. **Phytochemistry**, v. 55, n. 6, p. 481-504. 2000.

HARPER, C. A; PETRIE, E. M. **Plastics, materials and processes: a concise encyclopedia**. John Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey. 2003.

HEMELRIJCK, W. V. LAER, S.V. HOEKSTRA, S. AIKING, A. CREEMERS, P. **UV-c radiation as an alternative tool to control powdery mildew on apple and strawberry**. Cleanlight, Nieuwe kanaal 7, 6700 AG Wageningen, Holanda. 2010.

HUSAINI, A. Strawberries: a general account. *Ln*: HUSAINI, A. M.; NERI, D. **Strawberry: growth, development and diseases**. Índia. 2016.

IWASSAKI L. A.; SATO, M. E.; POLETTI, M; CALEGARIO, F. F. Estratégias de controle do ácaro rajado (*Tetranychus urticae* Koch): comparação entre sistemas de produção convencional e produção integrada de morango (PIMO). In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS, **Anais [...]**, 2009.

JANISIEWICZ, W. J.; TAKEDA, F.; JURICK, W.; NICHOLS, B.; WOLFORD, S. A novel approach to control gray mold, anthracnose, and powdery mildew on strawberry using low-dose UV-C irradiation. **Phytopatology**, v. 105, n. 64. 2015.

JIN. X; FIT, B. D. V; HALL, A; HUANG, Y. The role of chasmothecia in the initiation of epidemics of powdery mildew (*Podosphaera aphanis*) and the role of silicon in controlling the epidemics on Strawberry. **Aspects of Applied Biology**, v. 119 2013.

KUZMINOV, A .Pyrimidine Dimer. *ln*: MALOY, S. R.; HUGHES, K. **Brenner's Encyclopedia of Genetics**. 2. ed. Academic Press, San Diego, California, 2013.

LAKNA, A. **Difference Between Chlorophyll A and B | Definition, Characteristics, Role, Comparison**. 2017. Disponível em shorturl.at/jGKN5

LEONARDO, F. A. P; PEREIRA, W. E; SILVA, S. M. COSTA, J. P. Teor de clorofila e índice SPAD no abacaxizeiro cv. vitória em função da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/ZTbnvHqtYztRJBf4Xgpv7Rp/?lang=pt>

LING, Q; HUANG, W; JARVIS, P. Use of a SPAD-502 meter to measure leaf chlorophyll concentration in *Arabidopsis thaliana*. **Photosynthesis Research**. v. 107, n. 2, p. 209-214. 2011.

LI, Y; HE, N; HOU, J; XU, L; LIU, C; ZHANG, J; WANG, Q; ZHANG, X; WU, X; Factors Influencing Leaf Chlorophyll Content in Natural Forests at the Biome Scale. **Frontiers in Ecology and Evolution**. 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2018.00064/full>

MACKENZIE, D. Ultraviolet Light Fights New Virus. **Engineering (Beijing)**, v. 6, n. 8, p. 851-853. 2020.

- MAHRAVIAN, K. GHORBALINI, M. KHALANTARI, KH, M. The Effects of Ultraviolet Radiation on the Contents of Chlorophyll, Flavonoid, Anthocyanin and Proline in *Capsicum annum* L. **Turkish Journal of Botany**, v.32, p. 25-33. 2008.
- MALAGODI-BRAGA, K. S. **A polinização como fator de produção na cultura do morango**. Embrapa. Jaguariúna, SP. 2018.
- MOURA, A. P. de; **Manejo de ácaro rajado e de Tripes em Morangueiro no Distrito Federal**. Comunicado Técnico 108. Embrapa. 2015.
- MÓGOR; A. F; BARBIZAN, T; PAULETTI, V; OLIVEIRA, J; BETTONI, M. M. Teores de clorofila em cultivares de tomateiro submetidas a aplicações foliares de magnésio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 4, p. 363–369, 2013. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/20592>.
- NASSOUR, R; AYASH, A; MOHAMMAD, I; The effect of ultraviolet radiation on chlorophyll in *Clamidomonas Reinhardtii*. **SSRG International Journal of Agriculture & Environmental Science**, Síria, v. 4, n. 6. 2017.
- NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. D.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, v. 104, p. 199-209. 2005.
- OGODO et al. Principles of applied microbiology and biotechnology: Technique for the screening of antimicrobial herbs. *In*: EBGUNA, C.; MISHRA, A.; GOYAL, M. **Preparation of Phytopharmaceuticals for the Management of Disorders**, p. 185 – 214. 2021.
- ØYRI, C. E; **Ultraviolet radiation as a tool to control Tetranychus urticae in greenhouse production**. 2017. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal). Institute of Integrated Pest Management, Noruega, 2017.
- OLIVEIRA, L. D; CRUZ, P. J. R. de; PAULINO, A. F; FERREIRA, F. de J. SILVA, A. M. S. Teores de clorofila em gramíneas subtropicais submetidas a sombreamentos. *In*: 28° CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 2018, Goiânia. **Anais[...]**. Goiânia, PUC, 2018.
- PAREEK, S.; SAGAR, N. A.; SHARMA, S.; KUMAR, V. Chlorophylls: Chemistry and Biological Functions. **Fruit and Vegetable Phytochemicals: Chemistry and Human Health**, v. 1, ed. 2, 2018.
- PONGPRASERT, N. SRILAONG, V. Effect of UV-C treatment on chlorophyll degradation, antioxidant enzyme activities and senescence in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. alboglabra). **International Food Science Journal**, v. 20, n. 2, 2013.
- PINHEIRO, R. R; SCHMIDT, D; BUSANELLO, C; PROCHNOW, D; BOSCAINI, R; HOLZ, E. Determinação do teor de clorofila em folhas de alface em diferentes telas de sombreamento. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, 2012.
- PONTES, W. TELES, J. Atividade acaricida dos óleos essenciais de folhas e frutos de *Xylopia sericea* sobre o ácaro rajado (*Tetranychus urticae* Koch). **Química Nova**, v. 30, n. 4, p. 838-841, 2007.

- REIS, N. V. B. **Construção de estufas para produção de hortaliças nas Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste**. Circular técnica 38, Embrapa. Brasília, DF. 2005.
- RÊGO, G. M; POSSAMAI, E. **Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas do Jequitibá-rosa**. Comunicado Técnico 128. Embrapa Florestas. Colombo, PR. 2004. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/38230/1/com_tec128.pdf
- ROCHA, D. M; **Índice de clorofila no desenvolvimento de soja e milho e sua correlação com atributos químicos e físicos do solo e produtividade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.
- SATO, M.E; da SILVA, M. Z. da SILVA, R. B. de SOUZA FILHO, M. F. RAGA, A. Monitoramento da resistência de tetranychus urticae a abamectin e fenpyroximate em diversas culturas no estado de São Paulo. **Instituto Biológico do Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 76, n. 2, 2009.
- SAB, M.P.V.; ARANTES, V.R.; ROSA, V.R.; SANTOS, A.L.F.; CHRISTENSEN, N.; MENDES, C.R.L.G.; SILVA, V.M.; SILVA, D.M.R.; SANTOS, J.C.C.; MELO, M.R.M.; LIMA, V.G.T.; SILVA, T.L.; SERVEZAN, V.c; NUNES, I.B.P.; SILVA, M.A. Teores de clorofilas na cultura da soja submetida ao parcelamento da adubação potássica. **Mais Soja**, 2018. Disponível em: <https://maissoja.com.br/teores-de-clorofilas-na-cultura-da-soja-submetida-ao-parcelamento-da-adubacao-potassica/>
- SHORT, B; JANISIEWICZ, W; TAKEDA, F; LESKEY, T. Uv-c irradiation as a management tool for tetranychus urticae on strawberries. **Pest management science**, v. 74, n. 11, p. 2419-2423, 2018
- SINGH, B. SHARMA, R. A. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications. **3 Biotech**, v. 5, n. 2, p. 129-151, 2014.
- SINHA, R. P. HÄDER, D-P. UV-induced DNA damage and repair: a review. **Photochemical and Photobiological Sciences**, n. 4, p. 225-236, 2002.
- SIRHINDI, G; MUSHTAQ, R; GILL, S. S; SHARMA, P; ABDULLAH, E. F; AHMAD, P. Jasmonic acid and methyl jasmonate modulate growth, photosynthetic activity and expression of photosystem II subunit genes in Brassica oleracea L. **Scientific Reports**, v. 10, n. 9322, 2020.
- SUZUKI, T. UV tolerance in the two-spotted spider mite, Tetranychus urticae. **Journal of Insect Physiology**, v. 55, n. 7, p. 649-654. 2009.
- TESKA, P; DAYTON, R; LI, X; LAMB, J; STRADER, P. Damage to Common Healthcare Polymer Surfaces from UV-C Exposure. **Nano LIFE**, v. 10, n. 3, 2020.
- THEVENON, F; CARROL, C.; SOUSA, J. Plastic Debris in the Ocean. **International Union for the Conservation of Nature**. 2014. Disponível em: <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2014-067.pdf>
- TOFOLI, J. Morango, controle adequado. São Paulo, SP. **Revista Cutivar**. 2005.
- SIMON. M; MENEGUZZO A; CALGARO A. **Sistema de produção de morango**

para mesa na região da serra gaúcha e encosta superior do nordeste. Embrapa Uva e Vinho. 2005. ISSN 1678-8761.

UDDLING, J; GELANG-ALFREDSSON, J; PIIKKI, K. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Photosynthesis Research**, n. 91, p. 37-46, 2007.

ULM, R; JENKINS, G. I; Q&A: How do plants sense and respond to UV-B radiation? **BMC Biol** 13, 45 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12915-015-0156-y>

XU, Y. Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent *Mycosphaerella fragariae* infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, n. 3, p. 815-831, 2018.

XU, Y; CHARLES, M. T; LUO, Z; MIMEE, B; VÉRONNEAU, P-Y; ROLLAND, D; ROUSSEL, D. Preharvest UV-C irradiation increased polyphenols accumulation and flavonoid pathway genes expression in strawberry fruit. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 65, n. 44, 2017.

YOKOYAMA, M. MIZUTANI, R. Structural Biology of DNA (6-4) Photoproducts Formed by Ultraviolet Radiation and Interactions with Their Binding Proteins. **International journal of molecular sciences**, v. 15, n. 11, 2014.

YURI, J. E.; COSTA, N. D.; PINTO, J. M. **Uso de cobertura plástica no cultivo do meloeiro.** Instruções Técnicas da Embrapa Semiárido. 2014. ISSN 1809-0001

YOUSSIF, E; HADDAD, R. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene: review. **SpringerPlus**, n. 398, 2013.

YUAN, Z; CAO, Q; ZHANG, K; ATA-UL-KARIM, S. T; TIAN, Y. ZHU, Y. CAO, W. LIU, X. Optimal Leaf Positions for SPAD Meter Measurement in Rice. **Frontiers in Plant Science**. 2016. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00719>