



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

**FILME DE PARTÍCULA À BASE DE CÁLCIO NOS
ASPECTOS ECOFISIOLÓGICOS E MORFOAGRONÔMICOS
DA BATATA-DOCE**

ALEXANDRE PASSOS OLIVEIRA

2021



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E BIODIVERSIDADE**

ALEXANDRE PASSOS OLIVEIRA

**FILME DE PARTÍCULA À BASE DE CÁLCIO NOS ASPECTOS
ECOFISIOLÓGICOS E MORFOAGRONÔMICOS DA BATATA-DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

Orientador
Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL
2021

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

Oliveira, Alexandre Passos.
O48f Filme de partícula a base de cálcio nos aspectos ecofisiológicos e morfoagronômicos da batata doce/ Alexandre Passos Oliveira ; orientador Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Júnior. – São Cristóvão, SE, 2021.
55 f. : il.

Tese (doutorado em Agricultura e Biodiversidade) –
Universidade Federal de Sergipe, 2021.

1. Batata doce. 2. Fisiologia vegetal. 3. Agricultura familiar. 4. Hortaliça. I. Oliveira Júnior, Luiz Fernando Ganassali, orient. II. Título

CDU 635.22

ALEXANDRE PASSOS OLIVEIRA

**FILME DE PARTÍCULA À BASE DE CÁLCIO NOS ASPECTOS
ECOFISIOLÓGICOS E MORFOAGRONÔMICOS DA BATATA-DOCE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Sergipe, como parte das exigências do Curso de Doutorado em Agricultura e Biodiversidade, área de concentração em Agricultura e Biodiversidade, para obtenção do título de “Doutor em Ciências”.

APROVADA em 31 de maio de 2021.

Prof. Dr. Marcelo Augusto Gutierrez
Carnelossi
UFS

Prof. Dra. Lia Tania Rosa Dinis
UTAD

Prof. Dr. Jailson Lara Fagundes
UFS

Dr. Abraão Almeida Santos
UFV

Prof. Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior
UFS
(Orientador)

SÃO CRISTÓVÃO
SERGIPE – BRASIL

*A Deus e a todos os que me ajudaram ao
longo desta caminhada*
Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela dádiva da vida e por me dar forças nos momentos de fragilidade e dificuldade, tornando possível seguir sempre em frente, encarando as dificuldades impostas pela vida.

A meu pai José Carlos (Pio) e a minha mãe Sônia por todos os anos de amor, carinho, compreensão e apoio incondicional em todas as decisões que tomei em minha vida. Por muitas das vezes que abriram mão de algo para si próprios para tornar possível algo para mim. Amo vocês, meus pais. Ao meu irmão Eric pelos momentos de descontração, lazer, games e alegria.

Agradeço a minha esposa Mayara por toda demonstração de amor, paciência, companheirismo, confiança, compreensão e carinho. Muito obrigado por estar ao meu lado nos momentos de dificuldade e estresse. Obrigado também por diversas vezes me acompanhar nos experimentos. Seu apoio foi fundamental para a realização e finalização dessa etapa, você é muito importante para mim. Aos pais e irmão de Mayara, Sr. Airton, Dona Aparecida e Mateus, agradeço por toda a atenção e todo o carinho.

A tia Solange e padrinho Marcio, que são meus segundos pais, por todo o amor transmitido, pelos ensinamentos dados e por todos os momentos de alegria proporcionados. A tia Soneide pelo carinho e pela atenção. Aos meus primos maternos Anne Larissa, Ysleide, Dara, Maycon e Genacto pelos momentos de diversão e lazer, muito obrigado.

Aos meus avós paternos, João Oliveira e Dalvina, pela paz interior que demonstram e pelo amor ao próximo. Vocês são modelos de vida para qualquer pessoa. E aos meus avós maternos, João Corrô (*in memoriam*) e Dete, pelos conselhos passados, pela preocupação e pelo amor.

Ao meu afilhado José Pedro por toda a demonstração de carinho, amor e canseira que proporciona ao dindo aqui. Agradeço imensamente também aos meus compadres e primos Debora e Jackson pela oportunidade e escolha de ser padrinho de José Pedro e de vivenciar o crescimento dele. Além de tudo, por todos os finais de semana de diversão e comilança no Cocoricó Ranch. E, ao falar do Cocoricó, agradeço imensamente a Tio Galo Veio e Tia Sylvania pela receptividade e pelo carinho que têm para comigo e Mayara.

Agradeço também aos demais membros do grupo Coito Ativado, através de seus membros Toninho, Mayra, Matheus e Ariane, pelos encontros de muita diversão, alegria e comida. Às demais pessoas da família Oliveira, agradeço por toda força, por acreditarem em mim e pela demonstração de afeto e carinho.

Ao meu orientador, professor Dr. Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior, que se tornou, além de orientador, um amigo e compadre. Obrigado pela amizade, pela confiança, pelos ensinamentos, pelos conselhos, pela paciência e pela atenção nesses anos de convívio. E, além de tudo, por ter suportado, incentivado e “brigado” por mim quando eu passei por um dos momentos mais difíceis de minha vida. Além dele, agradeço a todos os membros da banca examinadora por doarem um pouco de seu precioso tempo em dar sugestões e melhorar o trabalho, além das valiosas dicas e orientações.

Agradeço imensamente a um irmão que Deus e a UFS me deram. Abraão, você é um ser de luz e parte essencial na finalização desse doutorado. Não tenho palavras para agradecer-lho suficientemente. Aos amigos do MIP raiz, Ane, Ana Paula, Alisson, Bia, Bruna, Carlisson, Emile e Morgana, por todos os anos de amizade.

Agradeço também a todos do ECOPOC (Laboratório de Ecofisiologia e Pós-Colheita) que ajudaram a realizar os experimentos. Em especial a Pryanka Thuyra, que foi e é uma grande amiga e companheira de laboratório com diversos bate-papos presencial e virtualmente, como também na escrita de artigos. Agradeço também a Nadja, Eloy, Jacqueline, Mateus e Laila pelo suporte no experimento e pela convivência no laboratório.

Ao Permita-SE clube de corrida pela oportunidade de dirigir e praticar um dos esportes que amo e que me dá a oportunidade de desestressar dos problemas cotidianos. Aos meus

amigos de infância, de colégio e das peladas de futebol – não citarei nomes para não ser injusto de esquecer alguém –, agradeço pela amizade e pelos momentos de lazer.

Agradeço à Associação Olímpica de Itabaiana por sua existência e por me proporcionar diversos momentos de emoção, sendo uma mistura de tristeza (principalmente nas derrotas) e alegria (nas vitórias), muito amor e vibração, tornando meus finais de semana mais alegres ao apenas acompanhar onde quer que esteja. Agradeço também a todos os meus amigos que pertencem à torcida intitulada Chapeleiros Tricolores pela amizade e pelos momentos de vibração e loucuras atrás de nossa amada Associação Olímpica de Itabaiana.

À Universidade Federal de Sergipe e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade pela oportunidade de fazer esse doutorado e pela estrutura física cedida.

Às agências financiadoras, em especial a Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe (FAPITEC), por concederem a bolsa de estudos e ao CNPq e à FINEP pelos recursos financeiros cedidos.

Agradeço a Alexandra Elbakyan por universalizar e divulgar as pesquisas científicas sem cobrar nada em troca. Ficam aqui minha admiração, meu respeito e minha gratidão.

Agradeço a todos os professores que passaram por minha vida e deixaram ensinamentos e conhecimentos. Concluo dizendo que o sistema educacional está ultrapassado, o qual me obriga a perder noites e produzir incessantemente, como uma máquina, sem levar em consideração as limitações humanas e a minha subjetividade. Por fim, acrescento que o fazer universitário é bastante falho e precisa ser urgentemente repensado.

BIOGRAFIA

ALEXANDRE PASSOS OLIVEIRA, filho de José Carlos Oliveira e Sônia Maria Passos Oliveira, nasceu em Itabaiana, no estado de Sergipe, no dia 29 de novembro de 1992.

Cursou o Ensino Fundamental no Colégio Dimensão e o Ensino Médio no Colégio Alternativo, concluindo-o em 2009, ambos situados em Itabaiana-SE.

Em março de 2010, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Sergipe. Em julho de 2014, concluiu a graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe.

Em agosto de 2014, iniciou o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Biodiversidade, concluindo-o em agosto de 2016. Em março de 2017, ingressou no doutorado do mesmo Programa e agora o finaliza.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	iii
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO GERAL	7
2. REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Batata-doce	9
2.1.1. Aspectos gerais	9
2.1.2. Aspectos produtivos	10
2.1.3. Ecofisiologia e estresse abiótico na Batata-doce	10
2.2 Filmes de partículas.....	12
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	14
4. ARTIGO 1.....	27
FILME DE PARTÍCULA DE CÁLCIO PROMOVE FOTOPROTEÇÃO NA CULTURA DA BATATA-DOCE E AUMENTA SUA PRODUTIVIDADE.....	27
RESUMO.....	27
ABSTRACT.....	28
4.1. Introdução.....	28
4.2. Material e Métodos.....	29
4.2.1. Área de estudo.....	29
4.2.2. Design experimental.....	30
4.2.3. Concentração e aplicação de filmes de partículas.....	30
4.2.4. Medida da capacidade reflexiva do filme.....	30
4.2.5. Índices de clorofila e temperatura da folha.....	31
4.2.6. Fluorescência transitória da clorofila a.....	31
4.2.7. Produtividade	31
4.2.8. Análise estatística.....	31
4.3. Resultados	32
4.3.1. Luminosidade, temperatura da folha e índices de clorofila	32
4.3.2 A eficiência da fluorescência transitória da clorofila a	32
4.3.3. Produtividade	33
4.4. Discussão	37
4.5. Conclusões.....	39
4.6. Referências Bibliográficas	39
5. ARTIGO 2.....	45
FILME DE PARTÍCULA DE CÁLCIO NA CULTURA DA BATATA-DOCE: EFEITOS NA ECOFISIOLOGIA, QUALIDADE E PARÂMETROS MORFOAGRONÔMICOS DAS PLANTAS.....	45

RESUMO	45
ABSTRACT	46
5.1. Introdução.....	46
5.2. Material e Métodos	47
5.2.1. Área de estudo e desenho experimental	47
5.2.2. Parâmetros de trocas gasosas.....	48
5.2.3. Parâmetros morfoagronômicos	48
5.2.4. Parâmetros de qualidade	48
5.2.5. Análise estatística.....	49
5.3. Resultados	49
5.4. Discussão	53
5.5. Conclusões.....	54
5.6. Referências Bibliográficas	55

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura		Página
1	Temperatura média do ar (°C), radiação solar acumulada ($W\ m^{-2}$) e precipitação acumulada diária (mm) de abril a setembro de 2018 no Campus Rural, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.....	27
2	Fluorescência transitória da clorofila a (teste OJIP) de folhas de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) (folhas jovens, totalmente expandidas, localizadas no terço médio da planta) adaptadas ao escuro por 30 min, após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h (a) e às 12h (b).....	31
3	Parâmetros, derivados do teste OJIP, de folhas de batata-doce após aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h e às 12h do dia da colheita. * Indica diferenças entre os tratamentos para o mesmo parâmetro (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). Os valores são mostrados em uma escala de 0 a 100. Abreviações e significados dos parâmetros são descritos na seção abreviações.....	32
4	Análise de agrupamento com base nos parâmetros de fluorescência da clorofila a de folhas de batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5%, 10% e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h e às 12h.	33
5	Rendimento de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (5%, 10% e 15% de CaO). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). Os intervalos nas barras correspondem ao erro padrão.....	33

ARTIGO 2

Figura		Página
1	Temperatura média do ar (°C), radiação solar acumulada ($W.m^{-2}$) e precipitação acumulada diária (mm), durante o período experimental (abril a setembro de 2018).....	44
2	Produtividade (barras), eficiência do uso da água (WUE) e eficiência intrínseca do uso da água (IWUE) da batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).	47
3	Pontuação de lesões de insetos em raízes tuberosas de batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).	48
4	Parâmetros morfoagronômicos de raiz tuberosa de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Em (A) número de raízes tuberosas comerciais, (B) Peso médio por raiz tuberosa, (C) Comprimento da raiz tuberosa, (D) Diâmetro da raiz tuberosa, (E) Volume da raiz tuberosa. Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).....	49

LISTA DE TABELAS

REFERENCIAL TEÓRICO

Tabela	Página
1 Produção total e produtividade de batata-doce dos dez estados maiores produtores do Brasil, em 2019.	9
2 Produção de batata-doce, em toneladas, dos dez municípios maiores produtores do Brasil, em 2019.	10
3 Fases de desenvolvimento da batata-doce	10

ARTIGO 1

Tabela	Página
1 Luminosidade (L^*), temperatura da folha (Temperatura foliar) e índices de clorofila Falker a (Chl a) e b (Chl b) de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO).	30

ARTIGO 2

Tabela	Página
1 Parâmetros fisiológicos de plantas de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO) em quatro concentrações durante o período de pré-colheita. (A) Assimilação de CO_2 da taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), (Ci) teor de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), (Tleaf) temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$), (gs) condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e (CE) eficiência de carboxilação ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).	47
2 Parâmetros físico-químicos de raízes tuberosas de batata-doce (<i>Ipomoea batatas</i> L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio em três concentrações durante o período de pré-colheita. Em F - Firmeza (Newton), SS - Sólidos Solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), TTA - acidez titulável em g por 100 g de ácido cítrico, M - % de minerais; Ca - g de cálcio por kg de raiz tuberosa; Amido em % por 500 g de raiz tuberosa. Nenhuma significância foi observada entre os tratamentos. § luminosidade (L^*), intensidade do vermelho (a^*), coordenada azul / amarela (b^*), ângulo hue (h°) e croma (C^*).	50

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Taxa fotossintética
 a* – intensidade do vermelho
 ABS – fluxo de absorção
 $ABS/CS_0 = F_0$ – fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada do PSII (CS) a partir da fluorescência inicial
 $ABS/CS_m = F_m$ – fluxo de fótons absorvidos (ABS) por seção transversal excitada do PSII (CS) pela fluorescência máxima
 b* – coordenada azul/amarela
 C* – croma
 CaO – Óxido de cálcio
 CE – Eficiência de carboxilação instantânea
 Chl – Clorofila
 Chl a – clorofila a
 Chl b – clorofila b
 Chl total – clorofila total
 Ci – carbono interno
 CS – Seção transversal excitada do PSII
 DAP – Dias após o plantio
 DI_0 – dissipação não fotoquímica na antena do PSII
 DI_0/CS_m – Fluxo de energia dissipado por seção transversal do PSII na fluorescência máxima
 ET_0 – transporte de elétron
 ET_0/ABS – rendimento quântico do transporte de elétrons de Q_A para PQ
 ET_0/CS_0 – fluxo de elétrons da Q_A^- para PQ por seção transversal do PSII na fluorescência inicial
 ET_0/CS_m – fluxo de elétrons da Q_A^- para PQ por seção transversal do PSII na fluorescência máxima
 ET_0/RC – fluxo ou transporte de elétrons (ET) transferidos da Q_A^- para PQ por atividade dos centros de reação do PSII
 F_0 – fluorescência inicial
 F_m – fluorescência máxima
 gs – condutância estomática
 h° – ângulo hue
 IWUE – eficiência intrínseca de uso de água
 L^* – luminosidade
 N – Newton
 PAR – radiação fotossinteticamente ativa
 PI_{ABS} – índice de performance
 PPFD – densidade de fluxo de fótons fotossintéticos
 PSI – fotossistema I
 PSII – fotossistema II
 RCs – centro de reação do PSII
 RE_0/CS_m – fluxo de elétrons excitados de Q_A^- até os aceptores finais do PSI por seção transversal de PSII na fluorescência máxima
 RE_0/TR_0 – eficiência ou probabilidade de que um elétron preso no PSII possa ser transferido para reduzir os receptores de elétrons finais do PSI
 Sm – área normalizada (Área da curva OJIP)
 $Sm/T(F_m)$ – estado redox médio de Q_A no intervalo de tempo de 0 a t (F_m)
 T_{leaf} – temperatura foliar
 TR_0 – fluxo aprisionado

TR_0/CS_0 – fluxo máximo de elétrons energizados presos por seção transversal do PSII na fluorescência inicial

TR_0/CS_m – fluxo máximo de elétrons energizados presos por seção transversal do PSII na fluorescência máxima

VI – fluorescência variável relativa no ponto I é captada após 30ms da emissão de luz actínica (VI)

VJ – fluorescência variável relativa ao ponto J (2ms)

VPD – déficit de pressão de vapor

WUE – eficiência de uso de água

$\varphi_{D0} = DI_0/ABS$ – rendimento quântico de energia dissipada na antena PSII relacionada a processos não fotoquímicos (calor)

$\varphi_{E0} = ET_0/ABS$ – rendimento quântico do fluxo de transporte de elétrons da Q_A para PQ

$\varphi_{R0} = RE_0/ABS$ – rendimento quântico do transporte de elétrons de receptores finais Q_A^- para PSI

RESUMO

OLIVEIRA, Alexandre Passos. **Filme de partícula à base de cálcio nos aspectos ecofisiológicos e morfoagronômicos da batata-doce**. São Cristóvão: UFS, 2021. 55p. (Tese – Doutorado em Agricultura e Biodiversidade).*

A agricultura familiar é a principal responsável pela produção de hortaliças, principalmente para mercados internos. Para promover a melhoria das condições de produção, são necessárias alternativas que, com poucos recursos financeiros, possibilitem alcançar a segurança alimentar e a geração de trabalho e renda. A horticultura é uma das áreas mais exploradas pela agricultura familiar por possibilitar resultados expressivos e gerar renda em áreas pequenas. Dentre as principais hortaliças cultivadas está a batata-doce. Esta raiz tuberosa é uma hortaliça tropical e subtropical, de ciclo curto de produção (3 a 5 meses), de fácil cultivo, com custo de produção relativamente baixo e com elevada capacidade de produção de biomassa. Entretanto, a escassez de água, apesar de essa hortaliça ser tolerante, pode ser fator primordial na sua produção e produtividade. Por ser um bem precioso à água, vem se tornando alvo dos mais diversos estudos no que tange à escassez e principalmente por estar associada a temperaturas extremas e altas irradiâncias que afetam de maneira significativa e crescente a produtividade e a qualidade dos produtos. Nesse contexto, a aplicação foliar do filme de partícula, um mineral quimicamente inerte que reflete as radiações ultravioleta e infravermelha, bem como, em parte, a radiação fotossinteticamente ativa, permite diminuir a fotoinibição em folhas e com isso tornar-se mais eficiente no uso da água. Sendo assim, esta tese teve o objetivo de avaliar a aplicação de diferentes concentrações do filme de partícula (CaO) nos parâmetros ecofisiológicos e morfoagronômicos em batata-doce em campo. O experimento foi realizado no Campus Rural da UFS, e para isso foram aplicadas concentrações do filme de partícula (5%, 10% e 15% CaO) e água como controle. Foram avaliados os parâmetros ecofisiológicos, tais como teor de clorofila, trocas gasosas e fluorescência da clorofila a; parâmetros morfoagronômicos, tais como aspectos das raízes tuberosas, parte aérea da planta e produtividade; e pós-colheita, tais como cor, firmeza, sólidos solúveis, pH e acidez titulável. Os resultados indicaram que a utilização do filme de partícula aumentou a eficiência do sistema fotossintético das plantas de batata-doce e, conseqüentemente, a eficiência do uso da água, aumentando a produtividade em até 62%. Sendo assim, essa tecnologia se torna uma alternativa viável para o manejo da batata-doce por amenizar o estresse que a planta pode sofrer em campo e aumentar sua produtividade, gerando mais renda aos produtores.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*, hortaliça, óxido de cálcio, fisiologia vegetal, sustentabilidade.

* Comitê Orientador: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior – UFS (Orientador), Jailson Lara Fagundes – UFS (Coorientador).

ABSTRACT

OLIVEIRA, Alexandre Passos. **Calcium-based particle film on the ecophysiological and morphoagronomic aspects of sweet potato**. São Cristóvão: UFS, 2021. 55p. (Thesis - Doctor of Science in Agriculture and Biodiversity).*

Family Farming is mainly responsible for the production of vegetables, especially for domestic markets. In order to promote the improvement of production conditions, some alternatives are viable, such as few financial resources, to make it possible to achieve food security and the job availability, as well as income. Horticulture is one of most explored fields by Family Farming due to the enabling of expressive results and the creation of jobs in small areas. Among the main cultivated vegetables is sweet potato. This tuberous root is a tropical and subtropical vegetable, with a short production cycle (3 to 5 months), easy to grow, with relatively low production cost and high biomass production capacity. However, the short of water can be a key factor in its production and productivity, despite this vegetable being very tolerant to low access to water. Because of its value, water has become the target of several studies regarding its shortage and because of its association with extreme temperatures and high irradiance, which significantly and increasingly affects the productivity and quality of products. In this context, the foliar application of particle film, a chemically inert mineral that reflects ultraviolet and infrared radiation, as well as, in part, photosynthetically active radiation, allows the reduction in the photoinhibition in leaves and, thus, becoming more efficient in the use of water. Therefore, this dissertation aimed to evaluate the application of different concentrations of particle film (CaO) in the ecophysiological and morpho-agronomic parameters in sweet potatoes in the plantation. The experiment was carried out at the Rural Campus of the Federal University of Sergipe and concentrations of particulate film (5%, 10 and 15% CaO) and water were applied as control. The ecophysiological parameters were evaluated, such as chlorophyll content, gas exchange and chlorophyll fluorescence a; morpho-agronomic parameters, such as aspects of tuberous roots, aerial part of the plant and productivity; and post-harvest, such as color, firmness, soluble solids, pH, titratable acidity. The results indicated that the use of particle film increased the efficiency of the photosynthetic system of sweet potato plants and consequently the efficiency of water usage, increasing its productivity by up to 62%. Consequently, this technology becomes a viable alternative for the management of sweet potatoes by reducing the stress that the plant can suffer in the plantation and increase its productivity generating more income to producers.

Keywords: *Ipomoea batatas*, vegetables, calcium oxide, plant physiology, sustainability.

* Supervising Committee: Luiz Fernando Ganassali de Oliveira Junior – UFS (Orientador), Jailson Lara Fagundes – UFS (Coorientador).

1. INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce, *Ipomoea batatas* (L.) Lam., é uma das plantas que produzem raízes tuberosas com valor alimentício mais cultivadas no mundo. São produzidas, anualmente, cerca de 92 milhões de toneladas de batata-doce (FAO, 2021). No Brasil, essa hortaliça é a quarta mais consumida e é cultivada em quase todo o território, com uma produção de 805 mil toneladas em 2019 (IBGE, 2021).

O estado de Sergipe é um dos principais estados produtores de batata-doce do Nordeste brasileiro e do Brasil. Dentre os maiores produtores, os municípios de Itabaiana e Moita Bonita destacam-se como segundo e terceiro colocados, respectivamente, a nível nacional como os maiores produtores de batata-doce, sendo que a cidade de Moita Bonita recebeu o título de capital da batata-doce (IBGE, 2021; INFONET, 2018).

A batata-doce é uma cultura de grande importância, e seu cultivo se destina às mais diferentes formas de utilização em diversas partes do mundo (PERESSIN; FELTRAN, 2014). O principal foco no cultivo dessa hortaliça está em suas raízes (FELINTO *et al.*, 2009), que possuem inúmeras aplicações – desde a culinária doméstica até a produção de álcool (etanol) (ROESLER *et al.*, 2008; SENANAYAKE *et al.*, 2013; SOARES *et al.*, 2014). É uma planta perene, mas que é cultivada como anual, rústica, tolerante a deficiências nutricionais, a certos níveis de restrição hídrica, e que se adapta facilmente a diversos ambientes (PEDROSA *et al.*, 2015). Essas características permitem a utilização dessa olerícola em grande escala no Nordeste brasileiro, sendo uma cultura-chave na agricultura familiar dessa região, uma vez que é de fácil crescimento e menor custo de produção (FIGUEIREDO *et al.*, 2012).

A água é um dos fatores limitantes para a produção alimentícia e, consequentemente, para os produtores, principalmente na região Nordeste (REBOUÇAS, 1997). A restrição hídrica é um estresse ambiental que tem influência expressiva na agricultura. A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial, e por esse motivo muitos esforços têm sido realizados para melhorar a produtividade dos cultivos sob condições de restrição hídrica (CATTIVELLI *et al.*, 2008).

Nas regiões em que são observados períodos de déficit hídrico acentuado, é necessário estudar a relação da cultura com a água, visando ter como resposta o quanto a cultura tolera períodos de restrição hídrica para que estratégias de manejo possam ser adotadas (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005), pois o déficit hídrico pode ocasionar problemas ao desenvolvimento e à produtividade de várias culturas agrícolas (MACHADO *et al.*, 2009; PIMENTEL, 2004).

Dentre as tecnologias atuais para a agricultura, os filmes de partículas têm se mostrado uma alternativa eficiente por promoverem proteção às plantas cultivadas. Filmes de partículas são soluções aquosas de suspensão de materiais minerais, como argilas, que pulverizados sobre as plantas em concentrações adequadas, de acordo com a cultura, produzem uma camada de proteção ao excesso de radiação solar (Glenn *et al.*, 2002), controlando as perdas de água pelas folhas (BOARI *et al.*, 2015), evitando danos como queimaduras solares (CANTORE *et al.*, 2016), além de promoverem mecanismos de camuflagem ao ataque de pragas (PORCEL; COTES; CAMPOS, 2011). Em adição, esses filmes podem ser inseridos entre os métodos de proteção na agricultura orgânica e agroecológica.

Muitos minerais podem ser utilizados no desenvolvimento do filme de partícula, bastando que tais formulações aquosas de partículas minerais sejam quimicamente inertes (SHARMA; REDDY; DATTA, 2015), apresentem baixo custo, perfil de segurança, baixa abrasão, pequeno tamanho de partícula, capacidade de dispersão em água e disponibilidade comercial para utilização agrícola (GLENN *et al.*, 2003). No mercado internacional, predominam o comércio e o uso do caulim (*Sourround wp*), porém esse produto não é liberado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (MAPA).

Por essa razão, pode-se optar pelo uso de tecnologias a partir de materiais amplamente aceitos pelas normas nacionais, como o carbonato de cálcio (CaCO_3) e o óxido de cálcio (CaO).

Esses materiais podem ser utilizados amplamente na agricultura, incluindo-se a orgânica, por serem de baixo custo, de manuseio e utilização fáceis e seguros, e não tóxicos. Sendo assim, o objetivo desta tese foi avaliar o uso da tecnologia do filme de partícula na ecofisiologia, morfoagronomia e produtividade da cultura da batata-doce. A hipótese deste trabalho é a de que o uso de filme de partículas de CaO protege o cultivo de batata-doce das condições adversas (por exemplo, alta temperatura do ar e irradiância) por promover fotoproteção no aparelho fotossintético, melhorando a fisiologia, o desenvolvimento e o rendimento da planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Batata-doce

2.1.1. Aspectos gerais

A batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) pertence à família Convolvulaceae e é uma das plantas de raízes tuberosas mais cultivadas (CARTABIANO-LEITE; PORCU; CASAS, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2015). Essa espécie tem na América Central seu centro de origem e diversidade (HUANG; SUN, 2000; LOEBENSTEIN, 2009) e hoje é cultivada em mais de 100 países, dos quais 95% são países em desenvolvimento.

A batata-doce tem uma longa história como alimento para populações em situações de insegurança alimentar. Os japoneses a usaram quando os tufões demoliram seus campos de arroz (*Oryza sativa* L.). Esse cultivo evitou que milhões de pessoas morressem de fome na China no início da década de 1960 e veio como grande socorro em Uganda na década de 1990, quando um vírus devastou as plantações de mandioca (CIP, 2021).

Planta perene, porém cultivada como anual, de raízes tuberosas e caule rastejante, a batata-doce é a única Convolvulacea que possui importância econômica como fonte alimentícia (SENANAYAKE *et al.*, 2013), sendo a sexta cultura alimentar mais importante do mundo em termos de produção – depois do arroz (*Oryza sativa* L.), do trigo (*Triticum aestivum* L.), da batata (*Solanum tuberosum* L.), do milho (*Zea mays* L.) e da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) (CIP, 2021).

Com aproximadamente 92 milhões de toneladas colhidas anualmente (FAO, 2021), a batata-doce é uma das culturas mais importantes em muitos países tropicais e subtropicais na Ásia, África e América Latina (GUO *et al.*, 2014). Segundo dados da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), 66% da produção é obtida na Ásia, 28,3% na África e 4,6% nas Américas (FAO, 2021).

No Brasil, a batata-doce é a quarta hortaliça mais consumida e é cultivada em quase todo o território (PERESSIN; FELTRAN, 2014). Em 2019, a área colhida foi de 57,3 mil hectares, que resultaram numa produção de aproximadamente 805,4 mil toneladas e valor de produção estimado em R\$886,6 milhões, isso faz do país o maior produtor da América Latina (IBGE, 2021). O cultivo da batata-doce é realizado em todas as regiões brasileiras, em especial nas regiões Nordeste e Sul, que produziram, respectivamente, 317,3 e 252,9 mil toneladas da hortaliça em 2019 (IBGE, 2021), com destaque para os seguintes estados: Rio Grande do Sul, São Paulo, Ceará, Paraná, Minas Gerais e Sergipe.

Tabela 1: Produção total e produtividade de batata-doce dos dez estados maiores produtores do Brasil, em 2019.

Estado	Produção (ton)	Produtividade (ton/ha)
Rio Grande do Sul	175.041	14,6
São Paulo	140.727	16,3
Ceará	90.990	18,9
Paraná	60.148	23,3
Minas Gerais	58.621	17,5
Sergipe	51.551	13,6
Rio Grande do Norte	49.591	10,2
Pernambuco	40.499	11,1
Paraíba	38.782	7,6
Alagoas	38.013	8,8

Fonte: IBGE, 2021.

Dentre os maiores municípios produtores, Itabaiana e Moita Bonita são, respectivamente, o segundo e terceiro colocados nacionalmente, produzindo juntos 43 mil

toneladas de batata-doce, tornando o Agreste de Sergipe uma importante região de produção (IBGE, 2021).

Tabela 2: Produção de batata-doce, em toneladas, dos dez municípios maiores produtores do Brasil, em 2019.

Município	Produção (ton)
São Benedito (CE)	39.300
Itabaiana (SE)	23.750
Moita Bonita (SE)	19.200
Mariana Pimentel (RS)	18.750
Braúna (SP)	16.200
Touros (RN)	15.200
Correntes (PE)	15.000
Guaraciaba do Norte (CE)	13.475
São José dos Pinhais (PR)	12.700
Presidente Bernardes (SP)	10.562

Fonte: IBGE (2021).

A produção de batata-doce é destinada às mais diversas formas de utilização em diferentes partes do mundo (PERESSIN; FELTRAN, 2014; VELHO, 2016). Apesar do potencial nutritivo de suas ramas na alimentação animal, o principal foco no cultivo dessa hortaliça está em suas raízes (FELINTO *et al.*, 2009), que possuem inúmeras aplicações: i) na culinária doméstica (ROESLER *et al.*, 2008; SENANAYAKE *et al.*, 2013); ii) em processos industriais, na obtenção de doces, farinhas, flocos e fécula, corantes alimentares, molho, doces enlatados, macarrão, sopa, produtos de confeitaria e pães (GUO *et al.*, 2014; ROESLER *et al.*, 2008); iii) na composição de rações de bovinos, suínos e outros animais domésticos (SOARES *et al.*, 2014); iv) e tem grande potencial para utilização na produção de etanol (PERESSIN; FELTRAN, 2014; SOARES *et al.*, 2014), entre outras aplicações.

2.1.2. Aspectos produtivos

A batata-doce tem elevado potencial produtivo. É uma espécie alógama, autoincompatível e propagada, principalmente, por via assexuada (VEASEY *et al.*, 2008). Pode ser cultivada em diversos tipos de solo, mas se desenvolve melhor em solos profundos, moderadamente férteis e arenosos, com boa drenagem e aeração. A cultura pode ser implantada em qualquer época do ano, desde que haja disponibilidade de água. Com ciclo de 3 a 5 meses, essa cultura desenvolve-se bem em temperaturas que variam entre 15 e 35°C (STATHERS *et al.*, 2013; VEASEY *et al.*, 2008).

Por ser uma planta rústica, tolerante à seca e à baixa fertilidade do solo, a batata-doce adapta-se facilmente a diversos ambientes (MOTSA; MODI; MABHAUDHI, 2015; PEDROSA *et al.*, 2015). Tais características permitem a utilização dessa olerícola em grande escala no Nordeste brasileiro, onde é cultura-chave, uma vez que tem fácil crescimento, exige menos insumos e, conseqüentemente, menor custo de produção (FIGUEIREDO *et al.*, 2012; VELHO, 2016).

2.1.3. Ecofisiologia e estresse abiótico na Batata-doce

A fenologia é uma importante ferramenta que permite conhecer e identificar as necessidades da planta em cada fase e auxilia na tomada de decisão das práticas agrícolas. A batata-doce apresenta 2 fases de desenvolvimento. Uma vegetativa, que corresponde à translocação das substâncias fotossintetizantes da parte aérea para as raízes, e a fase reprodutiva, etapa esta de florescimento e produção de semente (importante para melhoramento vegetal). A duração do ciclo de produção depende da cultivar e das condições ambientais (GALERIANI *et al.*, 2020; VAN DE FLIERT; BRAUN, 1999).

Tabela 3: Fases de desenvolvimento da batata-doce

Semana	Estádio de desenvolvimento	Característica
1	I – Estádio de estabelecimento	Plantio
2		Rápido crescimento das raízes
3		Crescimento lento das ramas
4		
5	II – Estádio intermediário (formação das raízes tuberosas)	Início do desenvolvimento das raízes tuberosas
6		Intenso crescimento das ramas
7		Aumento expressivo da área foliar
8		
9	III- Estádio final (aumento do tamanho das raízes tuberosas)	Redução contínua da taxa de crescimento das ramas
10		Rápido aumento das raízes tuberosas
11		
12		Translocação de fotoassimilados das folhas para raízes tuberosas
13		
14		Redução da área foliar. Amarelecimento e queda de folhas velhas
15		
16		
17		Colheita
--	IV - Regeneração	Raízes maduras podem emitir brotação

Fonte: Adaptado de Van de Fliert e Braun (1999).

Mesmo sendo uma planta bastante rústica e que se adapta bem a diversos ambientes, a produtividade pode ser reduzida por diversos fatores abióticos, especialmente se eles ocorrerem do início da formação das raízes tuberosas até seu crescimento (enchimento) total. Assim, a temperatura, a luminosidade e a disponibilidade hídrica são os fatores que mais interferem na produtividade e na qualidade da batata-doce (KHAN; GEMENET; VILLORDON, 2016).

A temperatura é um dos fatores que mais afetam o crescimento, o desenvolvimento e, consequentemente, a produtividade da cultura da batata-doce. Tanto altas quanto baixas temperaturas causam danos na planta e comprometem sua produção. A temperatura ideal para o crescimento e desenvolvimento da batata-doce é de 30°C/20°C (diurna/noturna). Os problemas relacionados com altas e baixas temperaturas causam mudanças fisiológicas na fotossíntese e na síntese hormonal (RAVI; INDIRA, 1999; GAJANAYAKE; REDDY; SHANKLE, 2015). Em relação à luminosidade, lavouras de batata-doce com pretensões de obter alta produtividade carecem de altos níveis de radiação para suportar o crescimento e a formação das raízes tuberosas. Entretanto, o excesso de radiação/luminosidade pode causar diversos problemas no aparato fotossintético da planta (OLIVEIRA *et al.*, 2020; VENDRAME; AMARO; MELO, 2021).

Mesmo tendo aptidão agrícola, outro fator limitante para a cultura da batata-doce ou de qualquer outra cultura agrícola é a disponibilidade hídrica. O desequilíbrio entre a precipitação e a necessidade da água pela cultura tem significativo impacto sobre a produtividade e a qualidade na agricultura. Esse problema tornou-se uma preocupação real, ainda mais crítico pelo crescente aumento das condições áridas devido às mudanças climáticas (BATES *et al.*, 2008).

A escassez de água para as plantas de interesse agrônômico promove uma acentuada redução na produtividade e é uma das maiores limitações para a expansão do cultivo em áreas agricultáveis no planeta (CHAVES *et al.*, 2007; CHAVES; OLIVEIRA, 2004). Esses autores relatam que, com os atuais cenários registrados por meio das mudanças globais no planeta (IPCC, 2020), deverá se elevar a quantidade de áreas áridas, e, dessa maneira, a técnica de irrigação, bem como o uso de espécies adaptadas a essas condições de limitação hídrica, serão

de grande valia. A aplicação de água de maneira adequada nas culturas pode melhorar a eficiência no uso desse recurso, e, com isso, pode-se ter um grande impacto na qualidade do produto agrícola produzido (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

A fase de início da formação das raízes tuberosas é o período mais sensível ao déficit hídrico, pois é nessa fase que é definido o número de raízes tuberosas e, consequentemente, se define a produtividade. A redução da produtividade também está relacionada com as mudanças fisiológicas e bioquímicas nas folhas, uma vez que sob déficit hídrico há redução do potencial hídrico foliar (GAJANAYAKE; REDDY, 2016), o que reduz a condutância estomática, a interceptação da radiação, a fixação de CO₂, a produção e a redistribuição de carboidratos, interferindo no número e no peso das raízes tuberosas. Além disso, o estresse hídrico pode aumentar o tempo necessário para a formação de 50% das raízes tuberosas (VENDRAME; AMARO; MELO, 2021).

O excesso de água também é um fator que provoca perdas na produtividade da batata-doce, principalmente na fase final de desenvolvimento, pois ocorre redução da disponibilidade de oxigênio na região da rizosfera, o que reduz a formação das raízes tuberosas, afetando o número, o tamanho e o diâmetro, além de estimular excessivamente o crescimento vegetativo em função da diminuição do dreno principal (VENDRAME; AMARO; MELO, 2021).

Assim, a gestão da água está se tornando o principal desafio do século XXI, e toda estratégia que puder ser utilizada para mitigar o problema da escassez de água e aumentar a produtividade dos cultivos assume papel importante.

2.2 Filmes de partículas

Para reduzir o estresse térmico e luminoso, uma técnica promissora é o uso de filmes de partícula na agricultura, que pode revelar-se uma oportunidade para explorar a economia da água devido ao seu efeito antitranspirante e reflectivo (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Muitos minerais podem ser utilizados no desenvolvimento do filme de partícula, bastando que tais formulações aquosas de partículas minerais sejam quimicamente inertes (SHARMA; REDDY; DATTA, 2015), apresentem baixo custo, perfil de segurança, baixa abrasão, pequeno tamanho de partícula, capacidade de dispersão em água e disponibilidade comercial para utilização agrícola (GLENN *et al.*, 2003). No mercado internacional, hoje pode-se encontrar o kaolin (Surround®WP Engelhard, Iselin, NJ, USA). Contudo, outros filmes à base de cálcio, como o carbonato de cálcio e o óxido de cálcio (embora na literatura haja relatos escassos como material reflectivo em plantas), também possuem características para confecção do filme de partículas, pois apresentam cor branca brilhante com mais de 90% de reflectância, baixo custo e tamanho médio de partícula < 2µm de diâmetro (GLENN *et al.*, 2003), entre outras.

No caso do kaolin, que foi originalmente desenvolvido para o controle de pragas de várias culturas (PACE *et al.*, 2007), quando aplicado nas folhas, forma uma película que reflete parte da radiação e reduz a transpiração da cultura por meio da redução do déficit de pressão de vapor do ar e condutância estomática, diminuindo o dano às folhas e aos frutos por altas temperaturas e lesões solares (GLENN, 2012). A redução das lesões solares tem sido comprovada em alguns frutos, como romã, maçã, citros, nozes e tomate (CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009; CHAMCHAIYAPORN *et al.*, 2013; GLENN, 2012; LALANCETTE *et al.*, 2005; SHELLIE; KING, 2013; WEERAKKODY *et al.*, 2010).

Os filmes à base de cálcio também têm apresentado resultados promissores, como alta reflectância da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), tanto quanto os filmes de partículas de kaolin (GLENN *et al.*, 2003). Esses efeitos podem ser verificados em videira (SILVA *et al.*, 2019a), tomate (SILVA *et al.*, 2019b), café (SILVA *et al.*, 2019c), batata-doce (OLIVEIRA *et al.*, 2020) e feijão (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019).

Além dos fatores acima mencionados, os filmes de partícula podem afetar a condutância estomática e as trocas gasosas como consequência da reflexão parcial do PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa) e fechamento parcial dos estômatos. Alguns autores têm observado

incremento na taxa fotossintética líquida (A) determinada pelo filme de partícula (CHAMCHAIYAPORN *et al.*, 2013; JIFON; SYVERTSEN, 2003), enquanto outros têm observado redução, mas ambos atribuem a redução na interceptação do PAR pelas folhas e pela obstrução parcial dos estômatos (CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009; ROSATI *et al.*, 2006; SHELLIE; KING, 2013).

A depender da arquitetura da planta, a reflectância provocada pelo filme de partícula pode reduzir a assimilação líquida das folhas mais externas, contudo podendo ser compensado pelas folhas mais internas que interceptariam a radiação refletida pelo filme (CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009; WÜNSCHE *et al.*, 2004).

A redução da condutância estomática, transpiração e fluorescência tem sido observada em várias culturas em função da aplicação do filme, como maçã, feijão e tomate (CANTORE; PACE; ALBRIZIO, 2009; DE OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019; GLENN, 2016a).

O teste JIP é uma ferramenta para analisar o aumento polifásico da fluorescência transiente da Chl a e corresponde ao estado redox do PSII e PSI e às eficiências de transferência de elétrons através da cadeia intersistema até o fim dos aceptores de elétrons no lado receptor do PSI. O aumento da fluorescência polifásica é definido pelo teste O, J, I e P e é observado após a iluminação de folhas adaptadas ao escuro; dando informação sobre a relação entre função e estrutura do centro de reação do PSII (RC) e complexos principais (DINIS *et al.*, 2016b; STRASSER *et al.*, 2010). A intensidade da fluorescência de Chl a mostra mudanças características no tempo, chamadas fluorescência transiente, o transitório OJIPSM, onde O (a origem) é para o primeiro nível mínimo de fluorescência medido; J para inflexões intermediárias; P para o pico; S para o nível de estado semiestável; M para o máximo; e T para o nível de estado estacionário (STIRBET *et al.*, 2014).

Os efeitos dos filmes de partículas verificados pelo teste JIP podem reduzir a atividade nos centros de reação (RCs), aumentar ou reduzir a absorção de energia (ABS), melhorar o transporte de excitação (ET0) e aprisionamento (TR0), reduzir a dissipação de energia não fotoquímica em antena do PSII (DI0), como também diminuir o DI0 com base na seção transversal da antena do PSII (CS). Esses mecanismos podem estar relacionados à redução da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), que atinge os cloroplastos nas folhas através do efeito reflexivo do filme (DINIS *et al.*, 2016b, 2018a; SILVA *et al.*, 2019a).

Assim como a redução da condutância estomática, transpiração e fluorescência, o efeito antitranspirante do filme de partícula é comprovado em muitas espécies (BOARI *et al.*, 2015), podendo resultar em um benefício considerável na economia de água ou na eficiência do uso da água e, principalmente em ambientes áridos e semiáridos, resultando em um aumento no rendimento agrícola para culturas sensíveis à restrição hídrica e ao excesso de radiação solar. Em mudas de morangos, a necessidade hídrica foi reduzida em 30%, além de promover o estabelecimento das mudas de raízes nuas durante as fases de implantação (SANTOS; SALAME-DONOSO; WHIDDEN, 2012).

Dentre as plantas que sofrem com a restrição hídrica, encontra-se a batata-doce, sendo que a produtividade pode ser afetada por diversos fatores, como a temperatura, a luz, as práticas culturais, a nutrição mineral e a disponibilidade hídrica do solo e do ar. Nessas plantas, a restrição hídrica severa provoca aumento na temperatura foliar, redução do potencial hídrico, da condutância estomática e da fotossíntese. Com a aplicação de filme de partícula, a temperatura da folha é resfriada, e os demais fatores são melhorados em função da propriedade de reflectância (GLENN, 2010). Sendo assim, os filmes de partícula à base de cálcio podem exercer influência considerável sobre as plantas de batata-doce, atuando diretamente no consumo da água e no desempenho dessas plantas quanto à produtividade.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 17, p. 2056-2062, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.06.003>.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome: [s. n.], 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0141-1187\(05\)80058-6](https://doi.org/10.1016/S0141-1187(05)80058-6).

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANDRADE JÚNIOR, V. C.; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A. V. D.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, R. C.; NEIVA, I. P.; AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. de R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584-589, 2012.

ANTAL, T. K.; MASLAKOV, A.; YAKOVLEVA, O. V.; KRENDELEVA, T. E.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B. Simulation of chlorophyll fluorescence rise and decay kinetics, and P700-related absorbance changes by using a rule-based kinetic Monte-Carlo method. **Photosynthesis Research**, v. 138, n. 2, p. 191-206, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0564-2>.

BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. A new chlorophyll meter to estimate chlorophyll contents in leaves of Tifton 85 bermudagrass. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.

BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z. W.; WU, S.; PALUTIKOF, J. **Climate change and water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Geneva: IPCC Secretariat, 2008. v. 210. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/90EO00112>.

BAVARESCO, L. G.; OSCO, L. P.; ARAUJO, A. S. F.; MENDES, L. W.; BONIFACIO, A.; ARAÚJO, F. F. *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 2, p. 99-108, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00173-y>.

BERNARDO, S.; DINIS, L. T.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; VALLEDOR, L.; CONDE, A.; GERÓS, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, n. April, p. 39-47, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.002>.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.

- BOARI, F.; DONADIO, A.; PACE, B.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. **Agricultural Water Management**, v. 167, p. 29-37, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.021>.
- BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154-162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>.
- BRILLANTE, L.; BELFIORE, N.; GAIOTTI, F.; LOVAT, L.; SANSONE, L.; PONI, S.; TOMASI, D. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1-19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>.
- BRITO, C.; DINIS, L. T.; FERREIRA, H.; ROCHA, L.; PAVIA, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. M. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 133, n. May, p. 29-39, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.028>.
- BRITO, C.; DINIS, L. T.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, n. November 2018, p. 310-316, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>.
- CANTORE, V.; LECHKAR, O.; KARABULUT, E.; SELLAMI, M. H.; ALBRIZIO, R.; BOARI, F.; STELLACCI, A. M.; TODOROVIC, M. Combined effect of deficit irrigation and strobilurin application on yield, fruit quality and water use efficiency of “cherry” tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Agricultural Water Management**, v. 167, p. 53-61, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.024>.
- CANTORE, V.; PACE, B.; ALBRIZIO, R. Kaolin-based particle film technology affects tomato physiology, yield and quality. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 279-288, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.008>.
- CARTABIANO-LEITE, C. E.; PORCU, O. M.; CASAS, A. F. de. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam) nutritional potential and social relevance: a review. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v. 10, n. 6, p. 23-40, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.9790/9622-1006082340>.
- CATTIVELLI, L.; RIZZA, F.; BADECK, F. W.; MAZZUCOTELLI, E.; MASTRANGELO, A. M.; FRANCA, E.; MARÈ, C.; TONDELLI, A.; STANCA, A. M. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. **Field Crops Research**, v. 105, n. 1-2, p. 1-14, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.07.004>.
- CHAMCHAIYAPORN, T.; JUTAMANEE, K.; KASEMSAP, P.; VAITHANOMSAT, P.; HENPITAK, C. Effects of kaolin clay coating on mango leaf gas exchange, fruit yield and quality. **Kasetsart Journal - Natural Science**, v. 47, n. 4, p. 479-491, 2013.
- CHANDRASEKARA, A.; KUMAR, T. J. Roots and Tuber Crops as Functional Foods: A Review on Phytochemical Constituents and Their Potential Health Benefits. **International**

Journal of Food Science, v. 2016, p. 1-15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/3631647>.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: Prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jxb/erh269>.

CHAVES, M. M.; SANTOS, T. P.; SOUZA, C. R.; ORTUÑO, M. F.; RODRIGUES, M. L.; LOPES, C. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Deficit irrigation in grapevine improves water-use efficiency while controlling vigour and production quality. **Annals of Applied Biology**, v. 150, n. 2, p. 237-252, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2006.00123.x>.

CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein-casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 93-102, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.021>.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 126-140, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.09.011>.

CONDE, A.; PIMENTEL, D.; NEVES, A.; DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; CORREIA, C. M.; GERÓS, H.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin Foliar Application Has a Stimulatory Effect on Phenylpropanoid and Flavonoid Pathways in Grape Berries. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. August, p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01150>.

ĆOSIĆ, M.; STRIČEVIĆ, R.; DJUROVIĆ, N.; LIPOVAC, A.; BOGDAN, I.; PAVLOVIĆ, M. Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 238, n. January, p. 23-31, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>.

DAHAL, K.; LI, X. Q.; TAI, H.; CREELMAN, A.; BIZIMUNGU, B. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – A current overview. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. May, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563>.

DINIS, L. T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓS, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 191, p. 45-53, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>.

DINIS, L. T.; BERNARDO, S.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; PINTÓ-MARIJUAN, M.; COTADO, A.; CORREIA, C.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin modulates ABA and IAA dynamics and physiology of grapevine under Mediterranean summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 220, n. November 2017, p. 181-192, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.11.007>.

DINIS, L. T.; FERREIRA, H.; PINTO, G.; BERNARDO, S.; CORREIA, C. M.;

- MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. **Photosynthetica**, v. 54, n. 1, p. 47-55, 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.
- DINIS, L. T.; MALHEIRO, A. C.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 641-651, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>.
- EL SHEIKHA, A. F.; RAY, R. C. Potential impacts of bioprocessing of sweet potato: Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.960909>.
- ERGUN, M. Postharvest quality of “Galaxy” apple fruit in response to Kaolin-based particle film application. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, n. 3, p. 599-607, 2012.
- ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. de O.; ANDRIOLO, J. L. Tuberação e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/brag.2013.050>.
- ESSEMINE, J.; QU, M.; MI, H.; ZHU, X.-G. Response of Chloroplast NAD(P)H Dehydrogenase-Mediated Cyclic Electron Flow to a Shortage or Lack in Ferredoxin-Quinone Oxidoreductase-Dependent Pathway in Rice Following Short-Term Heat Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00383>.
- ESSEMINE, J.; XIAO, Y.; QU, M.; MI, H.; ZHU, X. G. Cyclic electron flow may provide some protection against PSII photoinhibition in rice (*Oryza sativa* L.) leaves under heat stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 211, p. 138-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.01.007>.
- FAN, D.; KANDASAMY, S.; HODGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Pre-harvest treatment of spinach with *Ascophyllum nodosum* extract improves post-harvest storage and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 170, p. 70-74, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.038>.
- FAO. **Faostat-crops**. [s. l.], 2017.
- FELINTO, J.; MEDEIROS, L.; BRITO, P. de; OLIVEIRA, M. M. de. Sweet potato yield in function of cultivars and planting system. **Resultados e Discussão**, p. 27-30, 2009.
- FIGUEIREDO, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. de; PEREIRA, R. C.; RIBEIRO, K. G.; VIANA, D. J. S.; NEIVA, I. P. Avaliação de silagens de ramas de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 708-712, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400024>.
- FLEXAS, J. et al. Mesophyll conductance to CO₂ and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C₃ plants. **Plant Cell and Environment**, v. 39, n. 5, p. 965-982, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12622>.

FUKUYAMA, K. Structure and function of plant-type ferredoxins. **Photosynthesis Research**, v. 81, n. 3, p. 289-301, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000036882.19322.0a>.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R. Sweetpotato responses to mid-and late-season soil moisture deficits. **Crop Science**, v. 56, n. 4, p. 1865-1877, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.03.0154>.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R.; SHANKLE, M. W. Quantifying growth and developmental responses of sweetpotato to mid-and late-season temperature. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1854-1862, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0545>.

GALERIANI, T. M.; OLIVEIRA, S. L. de; PIROLI, V. L. B.; RICETO, M. P.; COSMO, B. M. N. Sweet Potatos: A review with emphasis on nitrogen dynamics. **Revista Tocantinense de Geografia**, v. 09, n. 19, p. 206-230, 2020.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, n. April, p. 35-40, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, n. May, p. 35-40, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.

GLENN, D. M. Canopy gas exchange and water use efficiency of “Empire” apple in response to particle film, irrigation, and microclimatic factors. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 135, n. 1, p. 25-32, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/jashs.135.1.25>.

GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, v. 47, n. 6, p. 710-711, 2012.

GLENN, D. M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 205, p. 127-132, 2016a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.022>.

GLENN, D. M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 205, p. 127-132, 2016b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.022>.

GLENN, D. M.; EREZ, A.; PUTERKA, G. J.; GUNDRUM, P. Particle films affect carbon assimilation and yield in “Empire” apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p. 356-362, 2003.

GLENN, D. M.; PRADO, E.; EREZ, A.; MCFERSON, J.; PUTERKA, G. J. A reflective, processed-Kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 2, p. 188-

193, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/jashs.127.2.188>.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle Films: A New Technology for Agriculture. **Horticultural Reviews**, v. 31, p. 1-44, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J.; DRAKE, S. R.; UNRUH, T. R.; KNIGHT, A. L.; BAHERLE, P.; PRADO, E.; BAUGHER, T. A. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 2, p. 175-181, 2001.

GLÓRIA, N. A.; CATANI, R. A.; MATUO, T. Determinação de cálcio e magnésio em plantas, pelo método do EDTA. **Anais da Escola Superior “Luiza de Queiroz”**, p. 154-171, 1965.

GUO, J.; LIU, L.; LIAN, X.; LI, L.; WU, H. The properties of different cultivars of Jinhai sweet potato starches in China. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 67, p. 1-6, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.03.002>.

HUANG, J. C.; SUN, M. Genetic diversity and relationships of sweetpotato and its wild relatives in Ipomoea series Batatas (Convolvulaceae) as revealed by inter-simple sequence repeat (ISSR) and restriction analysis of chloroplast DNA. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 100, n. 7, p. 1050-1060, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s001220051386>.

IBGE. **Produto das lavouras temporárias e permanentes**. [s. l.], 2017.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIĆ, L.; FALLIK, E. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 13, p. 2660-2667, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, n. 2-3 SPEC. ISS., p. 185-202, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2005.01.023>.

JIFON, J. L.; SYVERTSEN, J. P. Kaolin Particle Film Applications Can Increase Photosynthesis and Water Use Efficiency of ‘Ruby Red’ Grapefruit Leaves. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 1, p. 107-112, 2003.

KALAJI, H. M. et al. **Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel**. [s. l.: s. n.]. v. 132. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-016-0318-y>.

KHAN, M. A.; GEMENET, D. C.; VILLORDON, A. Root system architecture and abiotic stress tolerance: Current knowledge in root and tuber crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. November 2016, p. 1-13, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01584>.

KOK, D.; BAL, E. Leaf Removal Treatments Combined with Kaolin Particle Film Technique from Different Directions of Grapevine’s Canopy Affect the Composition of Phytochemicals of cv. Muscat Hamburg (V. Vinifera L.). **Erwerbs-Obstbau**, v. 60, n. 1, p. 39-45, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10341-017-0337-7>.

- LAL, N.; SAHU, N. Management Strategies of Sun Burn in Fruit Crops - A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 1126-1138, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.131>.
- LALANCETTE, N.; BELDING, R. D.; SHEARER, P. W.; FRECON, J. L.; TIETJEN, W. H. Evaluation of hydrophobic and hydrophilic kaolin particle films for peach crop, arthropod and disease management. **Pest Management Science**, v. 61, n. 1, p. 25-39, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.943>.
- LEAKEY, A. D. B.; FERGUSON, J. N.; PIGNON, C. P.; WU, A.; JIN, Z.; HAMMER, G. L.; LOBELL, D. B. Water Use Efficiency as a Constraint and Target for Improving the Resilience and Productivity of C 3 and C 4 Crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, n. 1, p. 781-808, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040305>.
- LOEBENSTEIN, G. Origin, Distribution and Economic Importance. **The Sweet potato**, n. Dordrecht: Springer Netherlands, p. 9-12, 2009.
- MACHADO, R. S.; RIBEIRO, R. V.; MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MACHADO, E. C.; LANDELL, M. G. de A. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2009001200003>.
- MIRANDA, M. P.; ZANARDI, O. Z.; TOMASETO, A. F.; VOLPE, H. X. L.; GARCIA, R. B.; PRADO, E. Processed kaolin affects the probing and settling behavior of Diaphorina citri (Hemiptera: Lividae). **Pest Management Science**, v. 74, n. 8, p. 1964-1972, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4901>.
- MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.11.002>.
- MOHANRAJ, R.; SIVASANKAR, S. Sweet Potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam) - A Valuable Medicinal Food: A Review. **Journal of Medicinal Food**, v. 17, n. 7, p. 733-741, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.2818>.
- MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M.; CALBO, A. G.; SARGENT, S. A. Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1824-1832, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013>.
- MOTSA, N. M.; MODI, A. T.; MABHAUDHI, T. Sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) as a drought tolerant and food security crop. **South African Journal of Science**, v. 111, n. 11/12, p. 1-8, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.17159/sajs.2015/20140252>.
- NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M. de M. de A. Effects of root confinement on byometrics measurements and CO₂ assimilation in *Coffea canephora* Pierre plants. **Revista Brasileira de Agrociencia**, v. 12, n. 3, p. 295-303, 2006.
- NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature**, v. 4, n. 4, p. 371-405, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1377812>.

OLIVEIRA, A. M.; BLANK, A. F.; ALVES, R. P.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MALUF, W. R.; FERNANDES, R. P. Performance of sweet potato clones for bioethanol production in different cultivation periods. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 57-62, 2017a. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170109>.

OLIVEIRA, A. M. S.; BLANK, A. F.; ALVES, R. P.; PINTO, V. S.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MALUF, W. R. Características produtivas de clones de batata-doce cultivados em três períodos de cultivo em São Cristóvão-SE. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 377-382, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000300017>.

OLIVEIRA, A. P.; DINIS, L. T. R.; BARBOSA, N. T. B.; DE MATTOS, E. C.; FONTES, P. T. N.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L.; DA SILVA, E. C.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>.

OLIVEIRA, A. P.; GONDIM, P. C.; SILVA, O. P. R.; OLIVEIRA, A. N. P.; GONDIM, S. C.; SILVA, J. A. Produção e teor de amido da batata-doce em cultivo sob adubação com matéria orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 830-834, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800005>.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO JUNIOR, A. V. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017b. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5464>.

OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; SANTOS, P. L. de S.; LIMA, R. S. N. de; SILVEIRA, M. P. C.; FAGUNDES, J. L.; CARNELOSSI, M. A. G.; REIS, F. de O. Physiological parameters of cowpea treated with CaO-based particle film and subjected to water restriction. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00033>.

PACE, B.; BOARI, F.; CANTORE, V.; LEO, L.; VANADIA, S.; DE PALMA, E.; PHILLIPS, N. Effect of particle film technology on temperature, yield and quality of processing tomato. **Acta Horticulturae**, v. 758, n. 1952, p. 287-294, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.758.35>.

PEDROSA, C. E.; ANDRADE JR., V. C.; PEREIRA, R. C.; DORNAS, M. F. S.; AZEVEDO, A. M.; FERREIRA, M. A. M. Yield and quality of wilted sweet potato vines and its silages. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 283-289, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000300002>.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Updated**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ppp.421>.

PENG, L.; TRUMBLE, J. T.; MUNYANEZA, J. E.; LIU, T. X. Repellency of a kaolin particle film to potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae), on tomato under laboratory and field conditions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 7, p. 815-824, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.2118>.

PERESSIN, V. A.; FELTRAN, J. C. Batata-Doce. In: AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. de (Orgs.). **Boletim IAC n° 200**. 7. ed. [S. l.]: Instituto Agrônomo de Campinas, 2014. p. 59-61.

PFANZ, H.; VODNIK, D.; WITTMANN, C.; ASCHAN, G.; BATIC, F.; TURK, B.; MACEK, I. Photosynthetic performance (CO₂-compensation point, carboxylation efficiency, and net photosynthesis) of timothy grass (*Phleum pratense* L.) is affected by elevated carbon dioxide in post-volcanic mofette areas. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 1, p. 41-48, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.008>.

PIMENTEL, C. **A Relação da Planta com a Água**. EDUR-Edi ed. Seropédica - RJ: [s. n.], 2004. *E-book*. Disponível em: <http://files.prof-vanderufersa.webnode.com.br/200000128-9d5559e5ec/Livro A RELAÇÃO Água - Solo.pdf>.

PORCEL, M.; COTES, B.; CAMPOS, M. Biological and behavioral effects of kaolin particle film on larvae and adults of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). **Biological Control**, v. 59, n. 2, p. 98-105, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.07.011>.

POSSO, D. A.; BORELLA, J.; REISSIG, G. N.; GUIDORIZI, K. A.; BACARIN, M. A. Short-term root flooding and recovery conditions—affected photosynthetic process of common bean plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00186-7>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2018.

REBOUÇAS, A. da C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos Avançados**, v. 11, n. 29, p. 127-154, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-40141997000100007>.

RESENDE, G. M. de. Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas de colheita, em Porteirinha - MG. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 68-71, 2000.

ROESLER, P. V. S. de O.; GOMES, S. D.; MORO, E.; KUMMER, A. C. B.; CEREDA, M. P. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no oeste do Paraná. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1159>.

ROSATI, A.; METCALF, S. G.; BUCHNER, R. P.; FULTON, A. E.; LAMPINEN, B. D. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. **Annals of Botany**, v. 98, n. 1, p. 267-275, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl100>.

RUBAN, A. V. Non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching: Mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. **Plant Physiology**, v. 170, n. 4, p. 1903-1916, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>.

SANO, T.; HORIE, H.; MATSUNAGA, A.; HIRONO, Y. Effect of shading intensity on morphological and color traits, and chemical components of new tea (*Camellia sinensis* L.) shoots under direct covering cultivation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 5666-5676, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; T. J. F. E. S. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. [S. l.: s. n.].

SANTOS, B. M.; SALAME-DONOSO, T. P.; WHIDDEN, A. J. Reducing sprinkler irrigation volumes for strawberry transplant establishment in Florida. **HortTechnology**, v. 22, n. 2, p. 224-227, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/horttech.22.2.224>.

SCHLICHTING, A. F.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, M. de C.; PIETRO-SOUZA, W.; SILVA, T. J. A. da; FARIAS, L. do N. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1148-1151, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1148-1151>.

SENANAYAKE, S. A.; RANAWEERA, K. K. D. S.; GUNARATNE, A.; BAMUNUARACHCHI, A. Comparative analysis of nutritional quality of five different cultivars of sweet potatoes (*Ipomea batatas* (L) Lam) in Sri Lanka. **Food Science & Nutrition**, v. 1, n. 4, p. 284-291, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fsn3.38>.

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116-117, p. 54-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.

SHELLIE, K. C.; KING, B. A. Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 11, p. 1-24, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12115>.

SILVA, P. S. O. da; OLIVEIRA, L. F. D. G.; MATTOS, E. C. de; MACIEL, L. B. D. S.; SANTOS, M. P. F. dos; SENA, E. D. O. A.; BARBOSA, N. T. B.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 252, n. January, p. 77-84, 2019 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>.

SILVA, P. S. O. da; SENA, E. D. O. A.; GONZAGA, M. I. S.; DE OLIVEIRA, L. F. G.; MACIEL, L. B. dos S.; DOS SANTOS, M. P. F.; DE MATTOS, E. C.; DIAS, K. L. L.; CARNEIRO, R. B.; CARNELOSSI, M. A. G. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, n. May, p. 19-29, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>.

SILVA, M. D. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000500004>.

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. de O. A.; MACIEL, L. B. dos S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C. de; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, n. October 2018, p. 171-177, 2019c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. de O. A.; MACIEL, L. B. dos S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C.; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, n. October 2018, p. 171-177, 2019d. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.

SOARES, I. M.; BASTOS, E. G. P.; DA SILVA PEIXOTO SOBRINHO, T. J.; DA COSTA ALVIM, T.; DA SILVEIRA, M. A.; DE SOUZA AGUIAR, R. W.; ASCÂNCIO, S. D. Conteúdo fenólico e atividade antioxidante de diferentes cultivares de *Ipomoea batatas* (L.) lam. obtidas por melhoramento genético para produção industrial de etanol. **Revista de Ciencias Farmacêuticas Básica e Aplicada**, v. 35, n. 3, p. 479-488, 2014.

STAGNARI, F.; DI MATTIA, C.; GALIENI, A.; SANTARELLI, V.; D'EGIDIO, S.; PAGNANI, G.; PISANTE, M. Light quantity and quality supplies sharply affect growth, morphological, physiological and quality traits of basil. **Industrial Crops and Products**, v. 122, n. May, p. 277-289, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.073>.

STATHERS, T. et al. **Everything you ever wanted to know about Sweetpotato. Reaching agents of change ToT training manual**. Nairobi, Kenya: [s. n.], 2013. Disponível em: https://doi.org/10.4324/9780203414149_chapter_2.

STIRBET, A.; LAZÁR, D.; KROMDIJK, J.; GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? **Photosynthetica**, v. 56, n. 1, p. 86-104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3>.

STIRBET, A.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: Relation to photosynthesis. **Biochemistry** (Moscow), v. 79, n. 4, p. 291-323, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/s0006297914040014>.

STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of the Fluorescence Transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. **Photosynthesis Research**, n. 1, p. 445-483, 2004.

STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1797, n. 6-7, p. 1313-1326, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.03.008>.

SUZUKI, N.; RIVERO, R. M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, n. 1, p. 32-43, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.12797>.

TACOLI, F.; PAVAN, F.; CARGNUS, E.; TILATTI, E.; POZZEBON, A.; ZANDIGIACOMO, P. Efficacy and mode of action of Kaolin in the control of *Empoasca vitis* and *Zygina rhamni* (Hemiptera: Cicadellidae) in vineyards. **Journal of economic entomology**, v. 110, n. 3, p. 1164-1178, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jee/tox105>.

TÓTH, S. Z.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. A non-invasive assay of the

plastoquinone pool redox state based on the OJIP-transient. **Photosynthesis Research**, v. 93, n. 1-3, p. 193-203, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9179-8>.

TSORMPATSIDIS, E.; HENBEST, R. G. C.; BATTEY, N. H.; HADLEY, P. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: Potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 3, p. 357-366, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00393.x>.

VAN-DE-FLIERT, E.; BRAUN, A. **Farmer field school for integrated crop management of sweet potato**. Internatio ed. Lima: Field guides and technical manual, 1999.

VEASEY, E. A.; BORGES, A.; ROSA, M. S.; QUEIROZ-SILVA, J. R.; BRESSAN, E. de A.; PERONI, N. Genetic diversity in Brazilian sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam., Solanales, Convolvulaceae) landraces assessed with microsatellite markers. **Genetics and Molecular Biology**, v. 31, n. 3, p. 725-733, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-47572008000400020>.

VELHO, L. C. F. de L. **Avaliação da retenção de nutrientes, aspectos sensoriais e microbiológicos de batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) submetida a diferentes métodos de cocção**. 2016. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

WANG, Y.; FREI, M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, p. 271-286, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.017>.

WEBSTER, R. J.; DRIEVER, S. M.; KROMDIJK, J.; MCGRATH, J.; LEAKEY, A. D. B.; SIEBKE, K.; DEMETRIADES-SHAH, T.; BONNAGE, S.; PELOE, T.; LAWSON, T.; LONG, S. P. High C3 photosynthetic capacity and high intrinsic water use efficiency underlies the high productivity of the bioenergy grass *Arundo donax*. **Scientific Reports**, v. 6, n. February, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep20694>.

WEERAKKODY, P.; JOBLING, J.; INFANTE, M. M. V.; ROGERS, G. The effect of maturity, sunburn and the application of sunscreens on the internal and external qualities of pomegranate fruit grown in Australia. **Scientia Horticulturae**, v. 124, n. 1, p. 57-61, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.003>.

XU, Z.; JIANG, Y.; ZHOU, G. Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidant systems to elevated CO₂ with environmental stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. September, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00701>.

YANG, Z. et al. Absciscic acid receptors and coreceptors modulate plant water use efficiency and water productivity. **Plant Physiology**, v. 180, n. June, p. pp.01238.2018, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.18.01238>.

YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1797, n. 8, p. 1428-1438, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.02.002>.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. [S. l.: s. n.], 2008.

ZHANG, H.; ZHONG, H.; WANG, J.; SUI, X.; XU, N. Adaptive changes in chlorophyll content and photosynthetic features to low light in *Physocarpus amurensis* Maxim and *Physocarpus opulifolius* “Diabolo”. **PeerJ**, v. 2016, n. 6, p. 1-23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.2125>.

ZUSHI, K.; KAJIWARA, S.; MATSUZOE, N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 39-46, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.022>.

4. ARTIGO 1

FILME DE PARTÍCULA DE CÁLCIO PROMOVE FOTOPROTEÇÃO NA CULTURA DA BATATA-DOCE E AUMENTA SUA PRODUTIVIDADE

Periódico publicado: Theoretical and Experimental Plant Physiology

JCR: 1,245; **Qualis:** A4

RESUMO

Condições ambientais, como alta temperatura do ar, podem limitar o cultivo de batata-doce em áreas tropicais. A aplicação do filme de partículas de cálcio tem sido utilizada para minimizar os efeitos adversos das condições climáticas nas plantas, com potencial para aumentar a produtividade da cultura. Este estudo teve como objetivo avaliar filmes de partículas de óxido de cálcio (CaO, tamanho de partícula $\leq 2\mu\text{m}$, reflectância $>90\%$) na fotoproteção e produtividade das safras de batata-doce na região Nordeste do Brasil. Três concentrações de CaO (5, 10 e 15%) e água (controle) foram aplicados. As concentrações de filmes de CaO foram monitoradas diariamente por meio de um colorímetro e reaplicadas sempre que a luminosidade era reduzida para manter seu estado de reflectância. No período de pré-colheita, o teor de clorofila (a e b), a temperatura foliar e a fluorescência da clorofila a foram medidos. As concentrações de 10% e 15% promoveram um efeito semelhante a um sombreamento artificial na cultura da batata-doce, aumentando o teor de clorofilas a, b e total, reduzindo a razão de clorofila a / b e a temperatura foliar. Ambas as concentrações também promoveram um controle eficiente da absorção de energia e do fluxo de transporte de elétrons para os fotossistemas e as cadeias de transporte de elétrons. Como resultado da aplicação do filme de CaO, a produtividade da batata-doce aumentou 2%, 62% e 43% para 5%, 10% e 15% de CaO. Portanto, filmes de partículas de CaO a 10% ou 15% promovem alguma fotoproteção na cultura da batata-doce, levando ao aumento da produtividade. Assim, essa ferramenta pode melhorar o cultivo da batata-doce em regiões com condições climáticas adversas.

Palavras-chave: *Ipomoea batatas*, óxido de cálcio, fluorescência da clorofila a, teste JIP.

ABSTRACT

Calcium particle films promotes photoprotection in the crop development of sweet potato and increase its productivity

Environmental conditions such as high air temperature can limit the crop development of sweet potato in tropical areas. The application of calcium particles film has been used to minimize the adverse effects of climatic conditions on plants with potential to increase crop productivity. This study aimed to evaluate films of calcium oxide particles (CaO, particle size $\leq 2\mu\text{m}$, reflectance $>90\%$) on photoprotection and crop development of sweet potato in the Northeast area of Brazil. Three concentrations of CaO (5%, 10% and 15%) and water (control) were applied. The concentrations of CaO films were monitored day by day by using a colorimeter and reapplied whenever light was reduced to maintain its reflectance state. In the pre-harvest period, chlorophyll content (a and b), leaf temperature and chlorophyll fluorescence a were measured. The concentrations of 10% and 15% promoted an effect which was similar to an artificial shading in the sweet potato crop development which increased the content of a, b, and total chlorophylls, reducing the chlorophyll a / b ratio and the leaf temperature. Both concentrations also promoted efficient control of energy absorption and electron transport flux for photosystems and electron transport chains. As a result of application of the CaO film, sweet potato productivity increased by 2%, 62% and 43% for 5%, 10% and 15% CaO. Therefore, films of CaO particles at 10% or 15% seem to promote some photoprotection in the sweet potato crop development, leading to an increase in productivity. This tool can improve sweet potato harvest in regions with adverse climatic conditions.

Keywords: *Ipomoea batatas*, calcium oxide, chlorophyll a fluorescence, JIP test.

4.1. Introdução

Ipomoea batatas L., comumente conhecida como batata-doce, é uma cultura de raízes tuberosas de alto valor nutricional, rica em proteínas, magnésio, cálcio, potássio, fósforo, vitaminas A e C (CHANDRASEKARA; KUMAR, 2016; EL SHEIKHA; RAY, 2017; MOHANRAJ; SIVASANKAR, 2014). Essa cultura é cultivada em todo o mundo em regiões temperadas, tropicais e subtropicais. No Brasil, *I. batatas* é cultivada principalmente na região Nordeste, numa área notavelmente conhecida por suas altas temperaturas e seus baixos padrões de chuvas. Apesar dessas condições, a batata-doce de ciclo curto (90-150 dias) é produzida a baixo custo, sendo uma fonte essencial alimentar e de renda a produtores da agricultura familiar (FIGUEIREDO *et al.*, 2012).

No entanto, o cultivo em condições de déficit hídrico pode comprometer o aparato fisiológico, implicando uma redução no rendimento potencial da batata-doce (GAJANAYAKE; REDDY; SHANKLE, 2015). Por exemplo, alta temperatura do ar e radiação (principalmente ultravioleta – UV) reduzem as taxas de fotossíntese, limitando a atividade estomática e causando distúrbios nos processos bioquímicos e fotoquímicos (NIEVOLA *et al.*, 2017). Nesse sentido, tecnologias alternativas de manejo cultural são essenciais para minimizar as condições climáticas e aumentar a produtividade das lavouras (WANG; FREI, 2011).

Como estratégia de curto prazo, os filmes de partículas são uma ferramenta potencial para mitigar o impacto negativo das condições climáticas, como temperatura excessiva do ar e alta irradiância diária, no desenvolvimento da planta (GLENN, 2012). Os filmes são compostos por formulações aquosas com partículas minerais inertes que funcionam como proteção nas folhas (SHARMA; REDDY; DATTA, 2015). Essa tecnologia aumenta a reflexão do excesso de radiação [ultravioleta e infravermelho – IR] e reduz a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), o que atenua os potenciais danos à folha, promovendo sua fotoproteção (DE OLIVEIRA

JÚNIOR *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019a). Além do alto potencial, estudos são necessários para validar os efeitos dos filmes de partículas em condições de campo.

Dentre os diferentes métodos utilizados para avaliar os efeitos das condições abióticas no desenvolvimento das plantas, o teste JIP mostra como essas variações afetam o aparato fotossintético. Devido à sua simplicidade e o tipo não destrutivo, esse método é usado vagamente para determinar os danos causados por estresses climáticos nas plantas (STRASSER; SRIVASTAVA; TSIMILLI-MICHAEL, 2004). O teste JIP é rotulado como transiente OJIPSM, onde O (origem) é para o primeiro nível mínimo de fluorescência medido; J e I para inflexões intermediárias; P para pico; S para o nível de estado semiestável; M para máximo; e T para o nível de estado estacionário terminal (STIRBET *et al.*, 2014). Assim, o teste JIP analisa o aumento da fluorescência polifásica transitória da clorofila a (Chl a) e o estado redox dos fotossistemas I (PSI) e II (PSII), bem como a eficiência da transferência de elétrons da cadeia intersistema para os aceptores finais no PSI (KALAJI *et al.*, 2017). O aumento da fluorescência pelos testes O, J, I e P é observado após as folhas receberem iluminação, e então informações são geradas sobre a relação entre a estrutura e função do centro de reação (RC) de PSII e os complexos principais (DINIS *et al.*, 2016a; STRASSER *et al.*, 2010). Assim, a intensidade da fluorescência Chl a representa a característica de mudanças no tempo, conhecida como fluorescência transitória.

Os efeitos dos filmes de partículas avaliados pelo teste JIP indicam que tais filmes reduzem a atividade dos centros de reação (RCs), aumentando ou diminuindo a absorção de energia (ABS), o transporte de energia de excitação (ET0) e sua captura (TR0) (DINIS *et al.*, 2016a, 2018b; SILVA *et al.*, 2019b). Filmes de partículas também melhoram a dissipação de energia não fotoquímica da antena do PSII (DI0), com base na seção transversal (CS) de DI0. Tais efeitos estão apenas reduzindo a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) nos cloroplastos, indicando um efeito reflexivo dos filmes de partículas nas folhas (DINIS *et al.*, 2016a, 2018b; SILVA *et al.*, 2019b). Em condições de campo, esses efeitos foram relatados na videira (SILVA *et al.*, 2019a), feijão-caupi (DE OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019) e tomate (SILVA *et al.*, 2019b). No entanto, poucos estudos sobre os efeitos dos filmes de partículas de óxido de cálcio (CaO) na fisiologia da batata-doce estão disponíveis.

Este estudo testou se a aplicação do filme de partículas de CaO poderia promover fotoproteção na cultura da batata-doce, resultando em alta produtividade. Nossa hipótese é de que o uso de filme de partículas de CaO protege o cultivo de batata-doce sob condições adversas (por exemplo, alta temperatura do ar e irradiância) devido a uma promoção de uma fotoproteção no aparelho fotossintético, melhorando o desenvolvimento e o rendimento da planta.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Área de estudo

Conduzimos o experimento no Campus Rural da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil (10° 55' 27" S, 37° 12' 01" O, 46 m a.s.l.). De acordo com a classificação Koppen-Geiger, o clima é As (tropical úmido) com temperatura média anual de 25,5°C e precipitação de 1300 mm, principalmente de abril a setembro (ALVARES *et al.*, 2013; OLIVEIRA *et al.*, 2017b). A temperatura média do ar, a precipitação e a radiação solar foram monitoradas durante o experimento (abril a setembro de 2018) pela estação meteorológica localizada no campo (Fig. 1). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (OLIVEIRA *et al.*, 2017b).

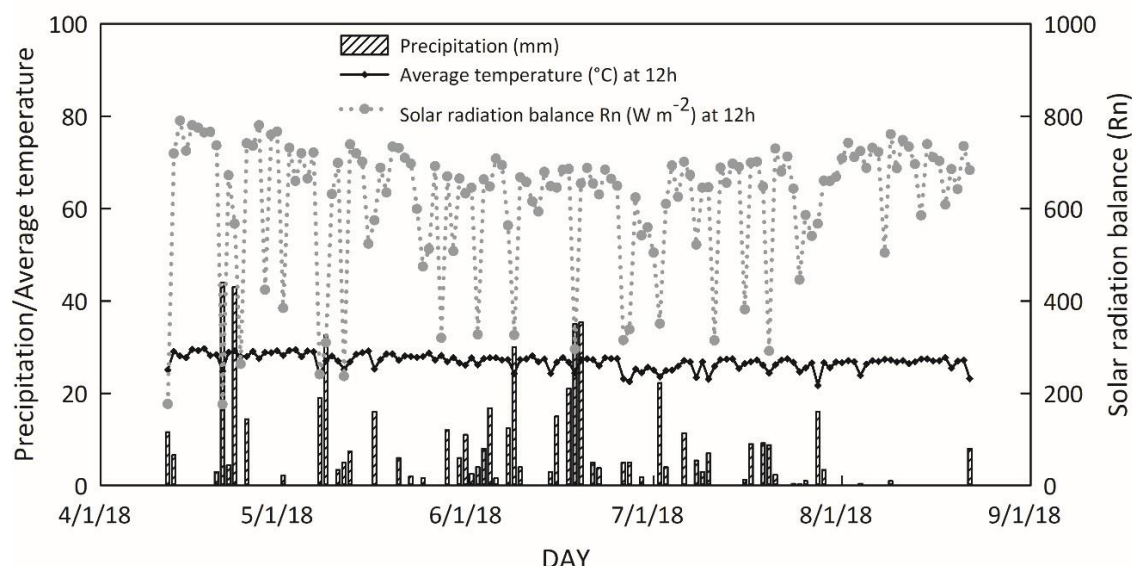


Figura 1: Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$), radiação solar acumulada (W m^{-2}) e precipitação acumulada diária (mm) de abril a setembro de 2018 no Campus Rural, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

4.2.2. Design experimental

A cultura da batata-doce (cultivar ‘Ourinho’) foi estabelecida em quatro linhas (18 m x 0,6 m; comprimento x largura de cada linha) espaçadas em 1 m de distância e 0,3 m entre as plantas. Os fertilizantes foram aplicados durante o plantio (20 kg ha^{-1} de N; 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 ; 90 kg ha^{-1} de K_2O) e 30 dias após o plantio (DAP) (30 kg ha^{-1} de N, 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} K_2O). As ervas daninhas foram removidas semanalmente com uma enxada. A irrigação por gotejamento foi usada com base nos valores de evapotranspiração usando o método de Penman- Monteith (ALLEN *et al.*, 1998). O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições. Em cada bloco, uma repetição consistiu de uma planta, na qual a quarta folha da região mediana foi utilizada para as avaliações. Quatro tratamentos foram aplicados: controle (água), 5% p/v, 10% p/v, 15% p/v de CaO. Iniciamos as aplicações 30 DAP e reaplicamos a cada 15 dias (ou após chuvas) até a colheita (oito pulverizações no total).

4.2.3. Concentração e aplicação de filmes de partículas

Uma balança semianalítica (UX-620H Shimadzu) foi usada para pesar o CaO, e água destilada foi adicionada para obter as concentrações desejadas. Os filmes foram aplicados sempre que a luminosidade (L^*) fosse reduzida para manter seu estado de refletância, conforme descrito por Silva *et al.* (2019a), utilizando pulverizador elétrico costal (Kawashima PEM-P20) com vazão de $2,9 \text{ L min}^{-1}$ e pressão de 450 kPa. Os filmes de partículas de CaO apresentaram cor branca brilhante com refletância igual ou superior a 90%, tamanho de partícula $\leq 2 \mu\text{m}$ e distribuição uniforme devido à pressão e vazão constantes utilizadas, promovendo a cobertura total das folhas durante a aplicação.

4.2.4. Medida da capacidade reflexiva do filme

A luminosidade mediu os valores da capacidade de refletância do filme (L^*) imediatamente após a aplicação e secagem do filme. Um colorímetro digital (Modelo CR 400 Konica Minolta, Japão) foi usado para medir os valores L^* em cinco folhas do dossel da planta (SILVA *et al.*, 2019a). Esse colorímetro mostra os valores L^* em uma escala de 0 (absorção total de luz) a 100 (reflexão total de luz), indicando as propriedades reflexivas do resíduo do

filme. Os valores L^* dos filmes de partículas para cada concentração foram comparados com o controle (água) para identificar a variação da luminosidade relacionada à persistência ou remoção do filme devido às condições climáticas (por exemplo, chuva; SILVA *et al.*, 2019a).

4.2.5. Índices de clorofila e temperatura da folha

Os filmes de partículas foram cuidadosamente removidos das folhas com o auxílio de um algodão umedecido, e os índices de clorofila foram avaliados pelo método de Falker. A repetição consistiu em uma planta, para a qual a quarta folha da região mediana foi utilizada nas avaliações em triplicata. O índice de clorofila de Falker (modelo ClorofiLOG CFL1030; Falker, Brasil) foi usado para obter clorofila (Chl) a, Chl b, clorofila total (Chl a + Chl b) e razão Chl a Chl b (Chl a / Chl b). Este método é baseado na absorbância da luz, emitida em três comprimentos (k) 635, 660 (vermelho) e 880 nm (infravermelho), por fotodiodos. Assim, o equipamento apresenta valores de absorbância e nos permitiu estimar o pool de Chl a e b (BARBIERI JUNIOR *et al.*, 2012; BAVARESCO *et al.*, 2020; SCHLICHTING *et al.*, 2015). Além disso, a temperatura foi medida a partir de folhas totalmente expandidas que foram expostas ao sol. Foi realizado o método não destrutivo, utilizando o termômetro digital multifuncional infravermelho a laser (modelo Minipa MT-320A).

4.2.6. Fluorescência transitória da clorofila a

Os estados da fluorescência transiente de Chl a foram medidos às 9h00 e 12h00 por um fluorímetro portátil modelo OS-30p (Opticiencies Inc., EUA) para obter informações sobre o funcionamento dos fotossistemas e da cadeia de transporte de elétrons. As avaliações foram realizadas em folhas adaptadas ao escuro, por meio de uma clip, por 30 min. Os estados transientes foram induzidos pela emissão de luz actínica (660 nm) na intensidade de 3000 μmol (fótons) $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ por um segundo. Assim, a irradiação foi aplicada de forma homogênea na área foliar com 4 mm de diâmetro (DINIS *et al.*, 2016a).

A cinética rápida da emissão de fluorescência, do inicial (F_0) ao máximo (F_m), foi medida pelas seguintes etapas OJIP: O $\cong$ F_0 (50 μs), K (300 μs), J (2 ms), I (30 ms) e P $\cong$ F_m (intensidade máxima de fluorescência), também obteve o tempo de emissão máxima de

fluorescência t (F_m) e área acima da curva OJIP (A). Outros parâmetros biofísicos, como S_m , VJ, VI, RE_0/TR_0 , ET_0/ABS , RE_0/ABS , DI_0/ABS , ET_0/RC , ABS/CS_0 , TR_0/CS_0 , ET_0/CS_0 , Pi_{abs} , DI_0/CS_m , RE_0/CS_m , ET_0/CS_m , TR_0/CS_m , ABS/CS_m , S_m/t (F_m) foram calculados a partir da curva OJIP usando equações para este teste (CHEN *et al.*, 2016; POSSO *et al.*, 2020; STIRBET *et al.*, 2018; STRASSER *et al.*, 2010). Esses parâmetros forneceram detalhes sobre as condições de estresse das plantas de batata-doce.

4.2.7. Produtividade

A produtividade foi determinada pela pesagem das raízes tuberosas de todos os blocos e a seguir estimada em toneladas por hectare (t ha^{-1}).

4.2.8. Análise estatística

Inicialmente, os dados foram verificados quanto à normalidade e homogeneidade da variância pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Uma análise de variância (ANOVA) foi então realizada para testar os tratamentos dos filmes de partículas ($\alpha = 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey para efeitos significativos ($\alpha = 0,05$). Foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico (método de Ward) usando a dissimilaridade euclidiana como coeficiente de similaridade. Todas as análises foram realizadas com o software R (BHERING, 2017; R CORE TEAM, 2018) e gráficos desenvolvidos no SigmaPlot 12.5 (Systat Software, San Jose, CA, EUA).

4.3. Resultados

4.3.1. Luminosidade, temperatura da folha e índices de clorofila

A aplicação de filmes de CaO afetou a luminosidade, a temperatura da folha e os índices de clorofila das plantas de batata-doce (Tabela 1). A luminosidade (L^*) aumenta de acordo com a concentração aplicada. Com 5, 10 e 15% de CaO, os valores de L^* foram 30,7; 92,2 e 119,9%, respectivamente (Tabela 1). Além disso, a temperatura da folha foi reduzida devido à aplicação do filme de partícula, principalmente nas altas concentrações (Tabela 1). Por exemplo, a 10% e 15%, a temperatura da folha foi reduzida em 1°C (30,37°C e 30,46°C, respectivamente) em comparação com o controle (31,36°C). É necessário destacar que todas as plantas foram submetidas à mesma Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos incidente (PPFD, 1500 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), que está acima do ponto de saturação de luz nessas plantas. Portanto, as diferenças de temperatura obtidas não foram relacionadas a esse valor e indicaram que os filmes de partículas promoveram uma sombra artificial na copa da batata-doce.

Em geral, o teor de Chl a e b aumentou de acordo com a concentração aplicada (Tabela 1). Para Chl a, 15% de CaO apresentou o maior teor, enquanto para Chl b foi observado em 10% e 15% dos tratamentos. No entanto, o grupo controle apresentou a maior razão Chl a/b.

4.3.2 A eficiência da fluorescência transitória da clorofila a

A aplicação de CaO afetou a fluorescência transitória de Chl a (Fig. 2). No geral, uma ligeira diminuição foi observada na fluorescência para tratamentos com CaO às 9 horas (Fig. 2a). Resultados semelhantes foram encontrados às 12 horas, onde as etapas de OJIP reduziram em todas as concentrações de CaO, no entanto com uma diferença mais considerável para CaO 10% e 15% (Fig. 2b).

Esses resultados podem estar associados a adaptações do metabolismo vegetal, pois comprovaram controlar o estresse fotooxidativo, manter compostos antioxidantes e proteger o fotossistema II (PSII) devido à sombra artificial promovida por filmes de partículas (SILVA *et al.*, 2019d). Isso é corroborado pelos resultados de 12 horas, quando as plantas tinham a maior intensidade luminosa, e uma diminuição nos parâmetros de fluorescência foi observada (Fig. 2b).

Os parâmetros derivados do teste OJIP forneceram informações sobre o desempenho dos fotossistemas sob tratamentos com CaO (Fig. 3, material complementar). A fluorescência de Chl a foi reduzida principalmente em CaO 10% e 15% em ambas as avaliações (9h e 12h). A área normalizada (SM) e a fluorescência relativa na etapa I do declive (VI) aumentaram às 12h para CaO 10% e 15%, enquanto, às 9h, o controle apresentou os maiores valores para esses parâmetros. Por outro lado, às 12h, a fluorescência variável relativa na etapa I sobre o declive (VI) aumentou, principalmente em CaO 15%.

A eficiência, ou probabilidade, de um elétron preso no PSII ser transferido para reduzir os receptores finais do PSI ($RE0/TR0$) teve uma tendência VJ semelhante. Assim, às 9h, não foi encontrada diferença entre os tratamentos. Porém, às 12h, a concentração de 10% apresentou os menores valores (Fig. 3).

Observou-se que, às 9h, ϕEo apresentou redução significativa com a aplicação de CaO 15% entre os parâmetros de rendimento quântico ($ET0/ABS = \phi Eo$, $RE0/ABS = \phi Ro$, $DIO/ABS = \phi Do$). No entanto, às 12h, houve diferenças entre os tratamentos para todos os parâmetros, onde ϕEo foi menor em CaO 15%, bem como ϕRo em 10% e 15%, enquanto o valor alto para ϕDo foi encontrado em CaO 15% (Fig. 3).

Em geral, nenhuma diferença foi encontrada às 9h para os parâmetros de rendimento quântico (ϕEo , ϕRo e ϕDo). Conforme a intensidade da luz aumenta durante o dia, um aumento geral na fluorescência das 9h às 12h foi observado. No entanto, as plantas tratadas com filmes

de partículas de CaO continuaram exibindo níveis de fluorescência mais baixos no período do meio-dia (Fig. 3).

Os elétrons transferidos do QA⁻ para a Plastoquinona (PQ) por transporte ou fluxo devido à atividade dos centros de reação do PSII (ET0/RC) apresentaram redução em ambas as avaliações devido à aplicação do filme particulado. Por exemplo, às 9h, o menor valor foi observado para CaO 10%, enquanto às 12h CaO 15% teve a menor relação para ET0/RC (Fig. 3).

A relação de fluxo através das seções transversal (CS), inicial (ABS/CS0, TR0/CS0 e ET0/CS0) e máxima (ABS/CSm, TR0/CSm, ET0/CSm, RE0/CSm e DI0/CSm) foi diferente entre tratamentos, com reduções às 9h e às 12h, principalmente de CaO 15%. Alguns parâmetros de energia fenomenológica do fluxo através do CS excitado foram reduzidos para tratamentos com aplicação de filmes em ambos os períodos, principalmente às 12h, bem como para os demais parâmetros de fluxo: absorção por inicial (ABS/CS0) e CS máximo (ABS/CSm); consumo de energia por inicial (TR0/CS0) e máximo CS (TR0/CSm); transporte de elétrons por inicial (ET0/CS0) e máximo CS (ET0/CSm); energia dissipada por seção transversal do PSI por máximo CS (DI0/CSm); e fluxos excitados por elétrons de QA para aceptores finais de PSI por CS de PSII na fluorescência máxima (RE0/CSm).

O índice de desempenho de conservação de energia (potencial) dos fótons absorvidos pelo PSII para redução do receptor intersistêmico de elétrons (PIabs) teve diferença apenas às 9h para CaO 10%.

De acordo com a análise de cluster hierárquica, três grupos foram formados com base na hora de avaliação e nas concentrações de CaO (Fig. 4). O primeiro grupo foi composto por 10% e 15% de CaO às 12h, o segundo pelo controle e CaO 5% às 12h, e o último para todos os tratamentos às 9h. Assim, sugere-se que os parâmetros derivados de CS (ABS/CS0, TR0/CS0, ET0/CS0, ABS/CSm, TR0/CSm, ET0/CSm, RE0/CSm e DI0/CSm) foram os principais contribuintes para o cluster formado. A organização/distribuição desses clusters possivelmente está relacionada ao padrão de diferenças observadas entre os tratamentos nos parâmetros derivados para CS, indicando um efeito fotoprotetor dos tratamentos CaO 10% e 15%, principalmente sob condição de maior estresse luminoso.

4.3.3. Produtividade

A aplicação foliar de CaO afetou a produtividade da batata-doce (Fig. 5). Um aumento de 53% e 41% foi observado para CaO 10% e 15%, respectivamente. Esses resultados tiveram a mesma tendência daqueles observados no parâmetro fluorescência da clorofila a.

Tabela 1: Luminosidade (L*), temperatura da folha (Temperatura foliar) e índices de clorofila Falker a (Chl a) e b (Chl b) de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO).

Tratamento	Variáveis					
	L*	Temperatura foliar (°C)	Chl a	Chl b	Chl Total	Chl a/b
Controle	32.2 ± 0.6 d	31.36 ± 0.2 b	26.6 ± 0.1 d	8.8 ± 0.5 b	35.5 ± 0.3 d	3.0 ± 0.2 a
5% CaO	42.1 ± 0.1 c	30.77 ± 0.1 ab	27.3 ± 0.1 c	9.7 ± 0.7 b	37.0 ± 0.2 c	2.8 ± 0.2 ab
10% CaO	61.9 ± 0.3 b	30.37 ± 0.1 a	29.5 ± 0.2 b	12.4 ± 0.5 a	41.9 ± 0.4 b	2.4 ± 0.1 b
15% CaO	70.8 ± 0.4 a	30.46 ± 0.1 a	32.6 ± 0.1 a	13.3 ± 0.5 a	45.9 ± 0.4 a	2.5 ± 0.1 ab

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si (Teste de Tukey, $p \leq 0.05$).

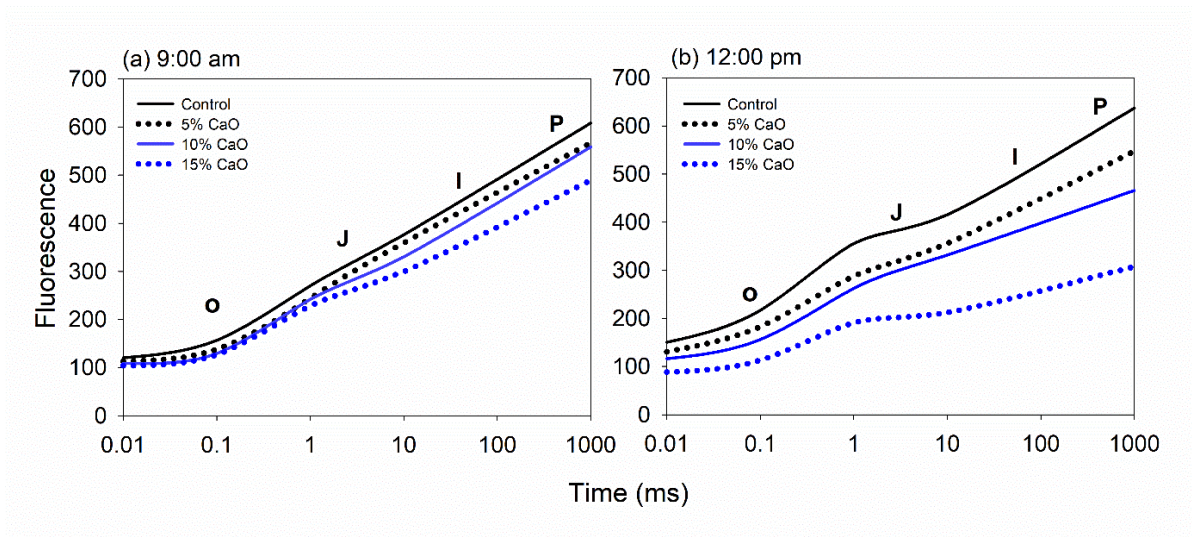


Figura 2: Fluorescência transitória da clorofila a (teste OJIP) de folhas de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) (folhas jovens, totalmente expandidas, localizadas no terço médio da planta) adaptadas ao escuro por 30 min, após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h (a) e às 12h (b).

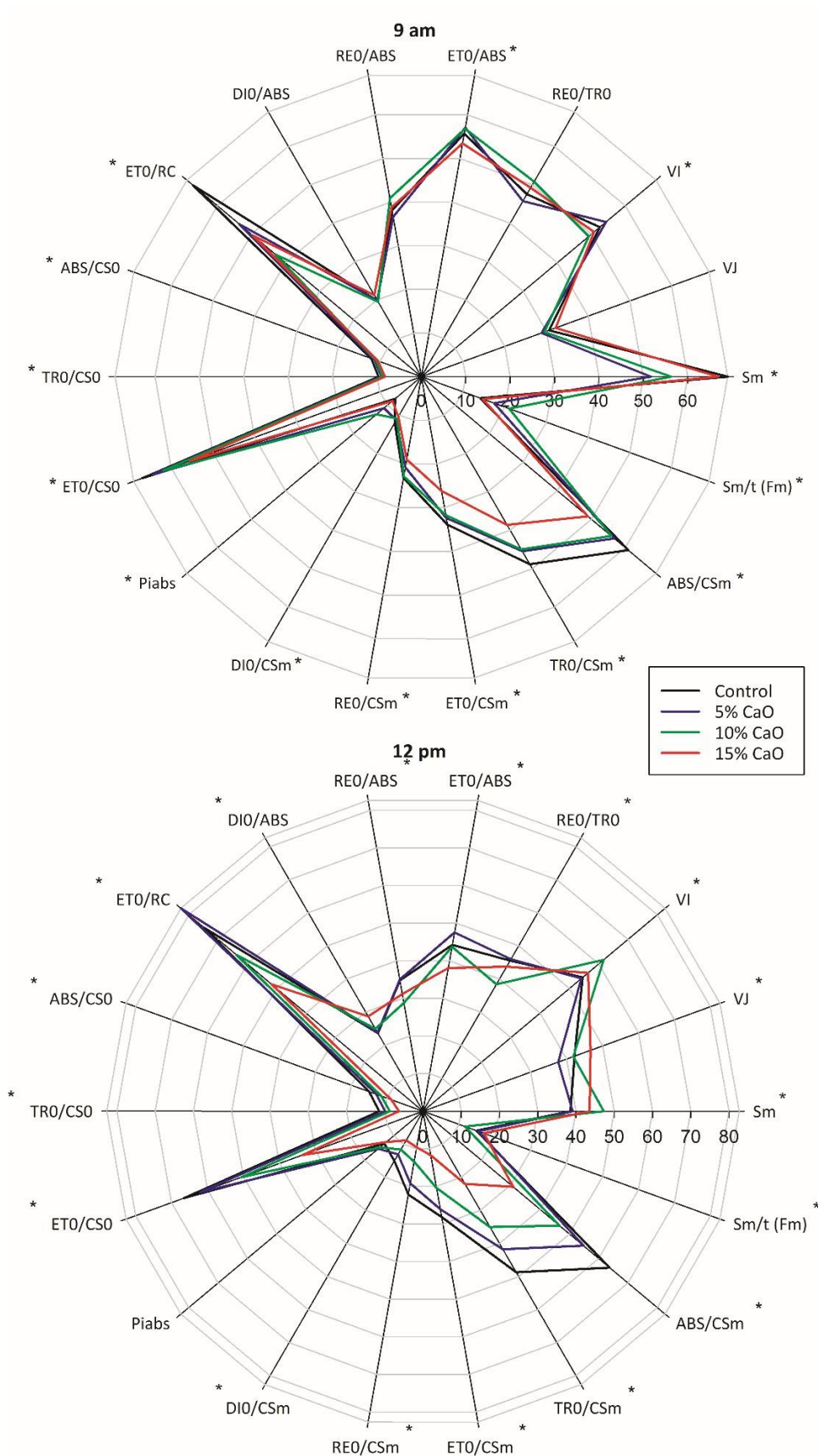


Figura 3: Parâmetros, derivados do teste OJIP, de folhas de batata-doce após aplicação de filmes de partículas de cálcio (5, 10 e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h e às 12h do dia da colheita. * Indica diferenças entre os tratamentos para o mesmo parâmetro (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). Os valores são mostrados em uma escala de 0 a 100. Abreviações e significados dos parâmetros são descritos na seção abreviações.

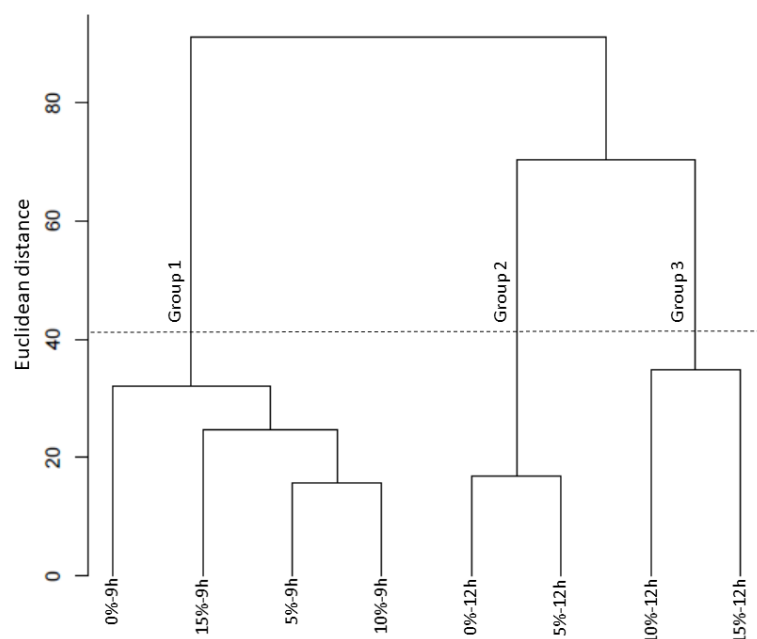


Figura 4: Análise de agrupamento com base nos parâmetros de fluorescência da clorofila a de folhas de batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (5%, 10% e 15% de CaO). As avaliações foram realizadas às 9h e às 12h.

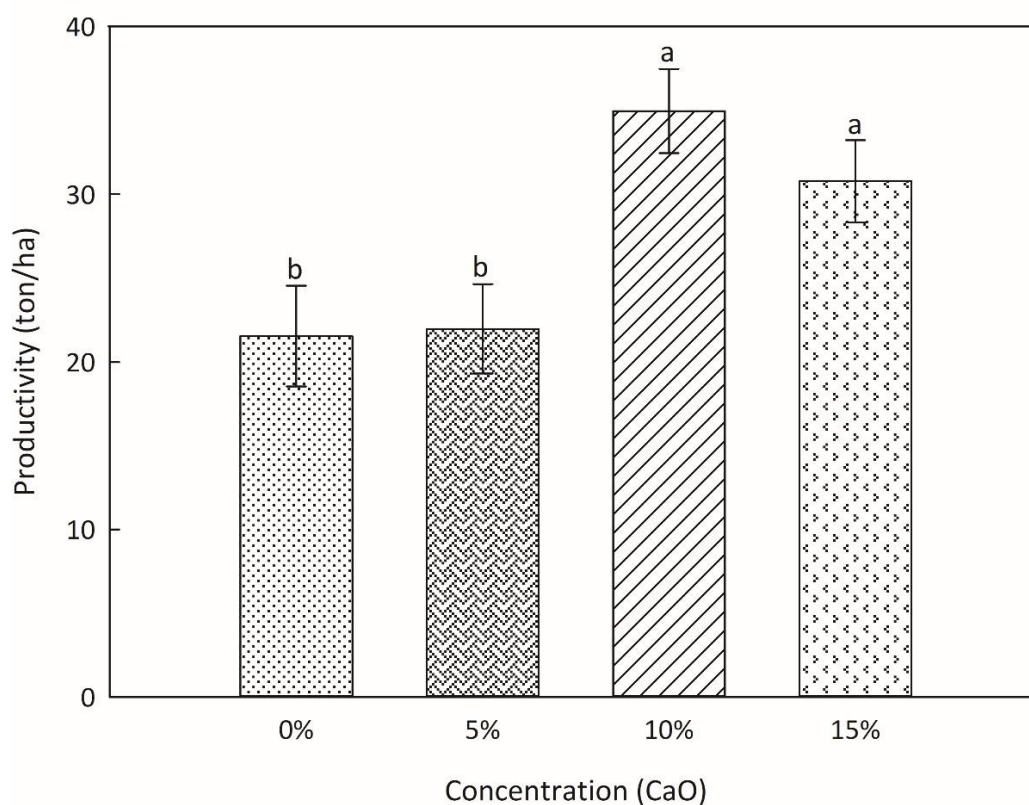


Figura 5: Rendimento de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (5%, 10% e 15% de CaO). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$). Os intervalos nas barras correspondem ao erro padrão.

4.4. Discussão

Os filmes de partículas usam um efeito de reflectância, reduzindo a radiação fotossintética ativa (PAR), a radiação ultravioleta (UV) e a radiação infravermelha (GLENN, 2012; GLENN *et al.*, 2002) nos centros de reação dos cloroplastos, reduzindo as trocas gasosas (BOARI *et al.*, 2015). Eles também podem promover adaptações do metabolismo fotossintético, como controle do estresse fotooxidativo, manutenção de compostos antioxidantes e proteção do fotossistema II (PSII), o que resulta em aumento nas trocas gasosas (SILVA *et al.*, 2019a).

A aplicação foliar de CaO 10% ou 15% reduziu a temperatura foliar em 1°C. A temperatura do ar tem um efeito direto nas reações fisiológicas e bioquímicas. Assim, a temperatura da folha aumenta devido à quantidade de energia radiante absorvida pelas folhas. Por outro lado, diminui devido ao aumento da energia térmica sensível e latente transportada das folhas para o ar. Nesse sentido, os filmes de partículas promovem uma alta reflexão da radiação, reduzindo a energia radiante absorvida. Assim, a intensidade da luz, a temperatura, a umidade, a velocidade do fluxo de ar e o filme de partícula influenciam na temperatura da folha e, conseqüentemente, na fotossíntese (DE OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2019; GLENN *et al.*, 2001; SHELLIE; KING, 2013).

Observou-se uma relação inversa entre luminosidade e temperatura foliar, onde aumentos nos valores de L* reduziram a temperatura foliar. Esse resultado indica um mecanismo de fotoproteção foliar sob aplicação de filmes de partículas (KOK; BAL, 2018), que também foi relatado em outras culturas, como *Coffea canephora* (SILVA *et al.*, 2019c), *Solanum lycopersicum* (BOARI *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019b), *Vitis vinifera* (BRILLANTE *et al.*, 2016), *Vitis labrusca* (CONDE *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2019a), *Capsicum annum* (ĆOSIĆ *et al.*, 2018) e *Juglans regia* (GHARAGHANI; JAVARZARI; VAHDATI, 2018a).

Em relação a Chl, os resultados indicam que, sob a aplicação de filmes de partículas, as plantas aumentam a absorção de luz (ILIĆ *et al.*, 2015; SANO *et al.*, 2018; STAGNARI *et al.*, 2018). Notavelmente, nas concentrações mais altas de CaO (10% ou 15%), Chl b foi mais alto, resultando em uma proporção Chl a/b reduzida. Assim, o aumento no conteúdo de Chl para condições de baixa luminosidade é atribuído principalmente à produção aumentada de Chl b. Foi sugerido que Chl a é o “conversor” e o centro de reação da energia óptica, além de absorver luz, enquanto Chl b tem funções na absorção de energia óptica (ZHANG *et al.*, 2016). Portanto, na presença de centros de reação suficientes, ambas as concentrações de CaO aumentaram a síntese de Chl b, que não exibe a propriedade do centro de reação, para capturar mais luz sob uma intensidade baixa. Tais resultados indicam uma estratégia “econômica” para se adaptar a essas condições. Além disso, aumentar a quantidade de Chl b também pode mitigar a absorção de luz azul-violeta em condições de pouca luz, como um possível mecanismo adaptativo para melhorar o crescimento da planta (ZHANG *et al.*, 2016).

Em geral, o estágio inicial de indução da fotossíntese para alguns modelos fotossintéticos ocorre quando uma amostra é exposta à luz após o período escuro. Essa indução é seguida por aumentos na fluorescência polifásica do mínimo para um máximo em um curto período de tempo (<1 s), ou seja, OJIP transiente (ANTAL *et al.*, 2018). Neste estudo, a análise de fluorescência polifásica indica que a aplicação de filmes de partículas mitigou o estresse luminoso em plantas de batata-doce, reduzindo os danos ao aparelho fotossintético.

A redução de PAR em coletores complexos de luz de cloroplastos induzida por aplicação de CaO (STIRBET *et al.*, 2018) provavelmente reduziu a absorção de energia e a emissão de fluorescência para o fluxo de energia (DINIS *et al.*, 2016b, 2018b). Assim, os filmes de partículas evitam o estresse oxidativo das plantas de batata-doce em alta intensidade luminosa, reduzindo as emissões de fluorescência (DINIS *et al.*, 2018b).

A cinética na etapa O-I indica mudanças no processo de captura de excitons e redução da PQ, enquanto I-P sugere mudanças no fluxo de elétrons do plastoquinol (PQH₂) para o aceptor final de elétrons do PSI. Nossos resultados indicam que o estresse causado pela alta

luminosidade, principalmente nos gráficos de controle, afetou o processo de saída de PQ e alterou o fluxo de elétrons de PQH₂ para o acceptor final (YUSUF *et al.*, 2010).

Além disso, a cinética na etapa I-P reflete o tamanho final do pool de receptores de elétrons do PSI. No entanto, não está claro se a proteína ferredoxina pode ser o acceptor final de elétrons do PSI ou acumulada devido ao alto estresse (TÓTH; SCHANSKER; STRASSER, 2007). Além disso, nem todos os elétrons que atingem a ferredoxina resultam na formação de NADPH. Os elétrons da ferredoxina reduzida conectada com PSI podem interagir com enzimas dependentes da ferredoxina durante a assimilação de nitrogênio inorgânico, enxofre, fixação de N₂ e ciclo de regulação de assimilação de CO₂ (FUKUYAMA, 2004). Considerando o fluxo cíclico de elétrons, que depende das reações fotoquímicas do PSI, esses são reciclados da ferredoxina para a plastoquinona com produção de ATP (ADAMSKI *et al.*, 2011). Assim, esse ciclo pode ser intensificado nas plantas de batata-doce com alto estresse luminoso (isto é, controle) devido ao menor fluxo de elétrons fora do ciclo. Essas características mostram que a cinética de redução/oxidação das quinonas dos receptores de PSII (Q_A e Q_B) são vulneráveis à temperatura e luminosidade (ESSEMINE *et al.*, 2017). Os efeitos de ambas as variáveis podem contribuir para o fluxo de elétrons cíclicos no PSI (ESSEMINE *et al.*, 2016).

Variáveis como Sm, que indicam a capacidade dos fotossistemas, são proporcionais à quantidade de centros PSII para mover elétrons para Q_A. Nossos resultados mostraram um aumento em Sm, principalmente em CaO 10% e 15%, como uma possível consequência do incremento do fluxo de elétrons de PSII para Q_A, especialmente às 12 horas, o que melhorou os eventos redox ao longo do tempo [Sm t (Fm)^{-1}] (DINIS *et al.*, 2016b; STIRBET *et al.*, 2018).

Às 12 horas, os filmes interferiram no fluxo de elétrons, pois foi observado aumento de VJ e VI, bem como redução de ET0/ABS e RE0/ABS (Fig. 3). Esses resultados podem ser associados às adaptações ao sombreamento artificial promovido por filmes de partículas, reduzindo o transporte de elétrons além da Q_A e aumentando o acúmulo de Q_A. Assim, indicam uma possível adaptação das plantas de batata-doce ao estresse luminoso após a aplicação do filme de partícula (CHEN; ZHANG; ZHONG, 2015; SILVA *et al.*, 2019b).

A aplicação de CaO 10% ou 15% parece promover um efeito protetor nas plantas de batata-doce devido ao aumento da intensidade do estresse às 12h, e, conseqüentemente, o calor foi dissipado conforme indicado pelos valores DI0/ABS. Conseqüentemente, os filmes de partículas podem mitigar o estresse luminoso, diminuindo a dissipação de energia necessária por mecanismos não fotoquímicos (RUBAN, 2016). A ativação térmica das reações fotoquímicas é indicada pela alta atividade de transporte de elétrons de PSI, o que implica grande tamanho de pool de receptores de elétrons finais nesse fotossistema (CHEN *et al.*, 2016). No entanto, uma taxa global constante para reduzir o grupo receptor de elétrons final diminui, indicando uma regulação independente em comparação com o tamanho da piscina. Além disso, uma redução no transporte de elétrons para os aceptores finais de PSI (RE0/ABS) e dissipação não fotoquímica, observada em CaO 15% às 12h, estão associadas a aumentos no tamanho da antena LCHII e estequiometria PSII:PSI devido à proteção de filme e redução de estresse para melhorar a captura de luz e a transferência de energia, bem como aumentar a estabilidade dos fotossistemas (SILVA *et al.*, 2019a).

Em relação aos fluxos específicos do RC, houve valores elevados em ET0/RC às 9h apenas nas parcelas controle, enquanto às 12h foram observados nos tratamentos, exceto CaO 15% (Fig. 3). Esses resultados indicam que os RCs foram reduzidos (ou bloqueados) com menos dissipação de energia, conforme mostrado pelos valores diminuídos de DI0/ABS e maior razão DI0/CSm (DINIS *et al.*, 2016b).

Os menores valores observados para relação de fluxo através dos parâmetros transversais (CS) entre plantas com e sem aplicação de filme indicam que o sombreamento artificial aumentou o número de centros de reação ativos (RCs) e a disponibilidade de energia, e, como consequência, o transporte de excitons para a fosforilação do NADPH foi melhorado (DINIS *et al.*, 2016a; SILVA *et al.*, 2019a; STIRBET *et al.*, 2018; ZUSHI; KAJIWARA; MATSUZOE, 2012).

Em relação ao índice PIabs, a aplicação de CaO 10% apresentou aumento às 9h, o que está associado a um aumento no transporte de elétrons do PSII, por ser um fator dominante para ganho no PIabs (CHEN; ZHANG; ZHONG, 2015). Às 9h (baixo estresse por intensidade luminosa), os filmes de partículas melhoram a transmissão de PAR e reduzem a incidência de energia UV e infravermelha, o que resulta em melhores condições para a troca gasosa (LAL; SAHU, 2017; TSORMPATSIDIS *et al.*, 2010).

A maior produtividade observada em 10% ou 15% de CaO pode ser associada à resposta sequencial aos parâmetros de fluorescência discutidos anteriormente. Por exemplo, os parâmetros da seção transversal (CS) indicaram uma redução na captação de luz, o que resultou em um baixo armazenamento e, conseqüentemente, numa diminuição na dissipação, aumentando os PIabs e também a produtividade. Além disso, nosso estudo mostrou a eficiência fotoquímica da aplicação de filmes de partículas por meio das variáveis de agrupamento de fluorescência da Clorofila a como estratégia para melhorar as respostas e a produtividade ao estresse luminoso da batata-doce.

4.5. Conclusões

Este estudo indica que os filmes de partículas de óxido de cálcio a 10% ou 15% parecem promover um sombreamento artificial nas folhas da batata-doce, induzindo uma fotoproteção e aumentando a produtividade das plantas. Assim, essa tecnologia pode ser uma estratégia promissora para melhorar o cultivo da batata-doce em áreas de clima tropical.

4.6. Referências Bibliográficas

- ADAMSKI, J. M.; PETERS, J. A.; DANIELOSKI, R.; BACARIN, M. A. Excess iron-induced changes in the photosynthetic characteristics of sweet potato. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 17, p. 2056-2062, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.06.003>.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56**. Rome: [s. n.], 1998. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0141-1187\(05\)80058-6](https://doi.org/10.1016/S0141-1187(05)80058-6).
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANTAL, T. K.; MASLAKOV, A.; YAKOVLEVA, O. V.; KRENDELEVA, T. E.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B. Simulation of chlorophyll fluorescence rise and decay kinetics, and P700-related absorbance changes by using a rule-based kinetic Monte-Carlo method. **Photosynthesis Research**, v. 138, n. 2, p. 191-206, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-018-0564-2>.
- BARBIERI JUNIOR, É.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. A new chlorophyll meter to estimate chlorophyll contents in leaves of Tifton 85 bermudagrass. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.
- BAVARESCO, L. G.; OSCO, L. P.; ARAUJO, A. S. F.; MENDES, L. W.; BONIFACIO, A.;

ARAÚJO, F. F. *Bacillus subtilis* can modulate the growth and root architecture in soybean through volatile organic compounds. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 2, p. 99-108, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00173-y>.

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.

BOARI, F.; DONADIO, A.; PACE, B.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Kaolin improves salinity tolerance, water use efficiency and quality of tomato. **Agricultural Water Management**, v. 167, p. 29-37, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.021>.

BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154-162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>.

BRILLANTE, L.; BELFIORE, N.; GAIOTTI, F.; LOVAT, L.; SANSONE, L.; PONI, S.; TOMASI, D. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1-19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>.

CHANDRASEKARA, A.; KUMAR, T. J. Roots and Tuber Crops as Functional Foods: A Review on Phytochemical Constituents and Their Potential Health Benefits. **International Journal of Food Science**, v. 2016, p. 1-15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2016/3631647>.

CHEN, H.; ZHANG, Y.; ZHONG, Q. Physical and antimicrobial properties of spray-dried zein-casein nanocapsules with co-encapsulated eugenol and thymol. **Journal of Food Engineering**, v. 144, p. 93-102, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.07.021>.

CHEN, S.; YANG, J.; ZHANG, M.; STRASSER, R. J.; QIANG, S. Classification and characteristics of heat tolerance in *Ageratina adenophora* populations using fast chlorophyll a fluorescence rise O-J-I-P. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 126-140, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.09.011>.

CONDE, A.; PIMENTEL, D.; NEVES, A.; DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; CORREIA, C. M.; GERÓS, H.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin Foliar Application Has a Stimulatory Effect on Phenylpropanoid and Flavonoid Pathways in Grape Berries. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. August, p. 1-14, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01150>.

ĆOSIĆ, M.; STRIČEVIĆ, R.; DJUROVIĆ, N.; LIPOVAC, A.; BOGDAN, I.; PAVLOVIĆ, M. Effects of irrigation regime and application of kaolin on canopy temperatures of sweet pepper and tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 238, n. January, p. 23-31, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.035>.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, L. F. G.; SANTOS, P. L. de S.; LIMA, R. S. N. de; SILVEIRA, M. P. C.; FAGUNDES, J. L.; CARNELOSSI, M. A. G.; REIS, F. de O. Physiological parameters of cowpea treated with CaO-based particle film and subjected to water restriction. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678->

3921.pab2019.v54.00033.

DINIS, L. T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓS, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 191, p. 45-53, 2016 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>.

DINIS, L. T.; FERREIRA, H.; PINTO, G.; BERNARDO, S.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin-based, foliar reflective film protects photosystem II structure and function in grapevine leaves exposed to heat and high solar radiation. **Photosynthetica**, v. 54, n. 1, p. 47-55, 2016 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0156-8>.

DINIS, L. T.; MALHEIRO, A. C.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 641-651, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>.

EL SHEIKHA, A. F.; RAY, R. C. Potential impacts of bioprocessing of sweet potato: Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.960909>.

ESSEMINE, J.; QU, M.; MI, H.; ZHU, X.-G. Response of Chloroplast NAD(P)H Dehydrogenase-Mediated Cyclic Electron Flow to a Shortage or Lack in Ferredoxin-Quinone Oxidoreductase-Dependent Pathway in Rice Following Short-Term Heat Stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00383>.

ESSEMINE, J.; XIAO, Y.; QU, M.; MI, H.; ZHU, X. G. Cyclic electron flow may provide some protection against PSII photoinhibition in rice (*Oryza sativa* L.) leaves under heat stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 211, p. 138-146, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2017.01.007>.

FIGUEIREDO, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, V. C. de; PEREIRA, R. C.; RIBEIRO, K. G.; VIANA, D. J. S.; NEIVA, I. P. Avaliação de silagens de ramas de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 708-712, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000400024>.

FUKUYAMA, K. Structure and function of plant-type ferredoxins. **Photosynthesis Research**, v. 81, n. 3, p. 289-301, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/B:PRES.0000036882.19322.0a>.

GAJANAYAKE, B.; REDDY, K. R.; SHANKLE, M. W. Quantifying growth and developmental responses of sweetpotato to mid- and late-season temperature. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 5, p. 1854-1862, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.2134/agronj14.0545>.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, n. April, p. 35-40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.

GLENN, D. M. The mechanisms of plant stress mitigation by kaolin-based particle films and applications in horticultural and agricultural crops. **HortScience**, v. 47, n. 6, p. 710-711, 2012.

GLENN, D. M.; PRADO, E.; EREZ, A.; MCFERSON, J.; PUTERKA, G. J. A reflective, processed-Kaolin particle film affects fruit temperature, radiation reflection, and solar injury in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 127, n. 2, p. 188-193, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.21273/jashs.127.2.188>.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J.; DRAKE, S. R.; UNRUH, T. R.; KNIGHT, A. L.; BAHERLE, P.; PRADO, E.; BAUGHER, T. A. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 2, p. 175-181, 2001.

ILIĆ, Z. S.; MILENKOVIĆ, L.; ŠUNIĆ, L.; FALLIK, E. Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, n. 13, p. 2660-2667, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.7000>.

KALAJI, H. M. *et al.* **Frequently asked questions about chlorophyll fluorescence, the sequel**. [S. l.: s. n.]. v. 132. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-016-0318-y>.

KOK, D.; BAL, E. Leaf Removal Treatments Combined with Kaolin Particle Film Technique from Different Directions of Grapevine's Canopy Affect the Composition of Phytochemicals of cv. Muscat Hamburg (V. Vinifera L.). **Erwerbs-Obstbau**, v. 60, n. 1, p. 39-45, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10341-017-0337-7>.

LAL, N.; SAHU, N. Management Strategies of Sun Burn in Fruit Crops - A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 6, p. 1126-1138, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.606.131>.

MOHANRAJ, R.; SIVASANKAR, S. Sweet Potato (Ipomoea batatas [L.] Lam) - A Valuable Medicinal Food: A Review. **Journal of Medicinal Food**, v. 17, n. 7, p. 733-741, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/jmf.2013.2818>.

NIEVOLA, C. C.; CARVALHO, C. P.; CARVALHO, V.; RODRIGUES, E. Rapid responses of plants to temperature changes. **Temperature**, v. 4, n. 4, p. 371-405, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/23328940.2017.1377812>.

OLIVEIRA, F. C. C.; PEDROTTI, A.; FELIX, A. G. S.; SOUZA, J. L. S.; HOLANDA, F. S. R.; MELLO JUNIOR, A. V. Características químicas de um Argissolo e a produção de milho verde nos Tabuleiros Costeiros sergipanos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 3, p. 354-360, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i3a5464>.

POSSO, D. A.; BORELLA, J.; REISSIG, G. N.; GUIDORIZI, K. A.; BACARIN, M. A. Short-term root flooding and recovery conditions—affected photosynthetic process of common bean plants. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00186-7>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2018.

RUBAN, A. V. Non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching: Mechanism and effectiveness in protecting plants from photodamage. **Plant Physiology**, v. 170, n. 4, p. 1903-1916, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.15.01935>.

SANO, T.; HORIE, H.; MATSUNAGA, A.; HIRONO, Y. Effect of shading intensity on morphological and color traits, and chemical components of new tea (*Camellia sinensis* L.) shoots under direct covering cultivation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 5666-5676, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/j>.

SCHLICHTING, A. F.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, M. de C.; PIETRO-SOUZA, W.; SILVA, T. J. A. da; FARIAS, L. do N. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1148-1151, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n12p1148-1151>.

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116-117, p. 54-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.

SHELLIE, K. C.; KING, B. A. Kaolin-based foliar reflectant and water deficit influence malbec leaf and berry temperature, pigments, and photosynthesis. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 11, p. 1-24, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5344/ajev.2012.12115>.

SILVA, P. S. O. da; OLIVEIRA, L. F. D. G.; MATTOS, E. C. de; MACIEL, L. B. D. S.; SANTOS, M. P. F. dos; SENA, E. D. O. A.; BARBOSA, N. T. B.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L. Calcium particle films promote artificial shading and photoprotection in leaves of American grapevines (*Vitis labrusca* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 252, n. January, p. 77-84, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.041>.

SILVA, P. S. O. da; SENA, E. D. O. A.; GONZAGA, M. I. S.; DE OLIVEIRA, L. F. G.; MACIEL, L. B. dos S.; DOS SANTOS, M. P. F.; DE MATTOS, E. C.; DIAS, K. L. L.; CARNEIRO, R. B.; CARNELOSSI, M. A. G. Calcium carbonate particle films and water regimes affect the acclimatization, ecophysiology and reproduction of tomato. **Environmental and Experimental Botany**, v. 165, n. May, p. 19-29, 2019b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.05.017>.

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. de O. A.; MACIEL, L. B. dos S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C. de; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, n. October 2018, p. 171-177, 2019c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. de O. A.; MACIEL, L. B. dos S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C.; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, n. October 2018, p. 171-177, 2019 d. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.

STAGNARI, F.; DI MATTIA, C.; GALIENI, A.; SANTARELLI, V.; D'EGIDIO, S.; PAGNANI, G.; PISANTE, M. Light quantity and quality supplies sharply affect growth,

- morphological, physiological and quality traits of basil. **Industrial Crops and Products**, v. 122, n. May, p. 277-289, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.073>.
- STIRBET, A.; LAZÁR, D.; KROMDIJK, J.; GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? **Photosynthetica**, v. 56, n. 1, p. 86-104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0770-3>.
- STIRBET, A.; RIZNICHENKO, G. Y.; RUBIN, A. B.; GOVINDJEE. Modeling chlorophyll a fluorescence transient: Relation to photosynthesis. **Biochemistry** (Moscow), v. 79, n. 4, p. 291-323, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1134/s0006297914040014>.
- STRASSER, R. J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of the Fluorescence Transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. **Photosynthesis Research**, n. 1, p. 445-483, 2004.
- STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; QIANG, S.; GOLTSEV, V. Simultaneous in vivo recording of prompt and delayed fluorescence and 820-nm reflection changes during drying and after rehydration of the resurrection plant *Haberlea rhodopensis*. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1797, n. 6-7, p. 1313-1326, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.03.008>.
- TÓTH, S. Z.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. A non-invasive assay of the plastoquinone pool redox state based on the OJIP-transient. **Photosynthesis Research**, v. 93, n. 1-3, p. 193-203, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11120-007-9179-8>.
- TSORMPATSIDIS, E.; HENBEST, R. G. C.; BATTEY, N. H.; HADLEY, P. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: Potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. **Annals of Applied Biology**, v. 156, n. 3, p. 357-366, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00393.x>.
- WANG, Y.; FREI, M. Stressed food – The impact of abiotic environmental stresses on crop quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, p. 271-286, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.017>.
- YUSUF, M. A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R. J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics**, v. 1797, n. 8, p. 1428-1438, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.02.002>.
- ZHANG, H.; ZHONG, H.; WANG, J.; SUI, X.; XU, N. Adaptive changes in chlorophyll content and photosynthetic features to low light in *Physocarpus amurensis* Maxim and *Physocarpus opulifolius* “Diabolo”. **PeerJ**, v. 2016, n. 6, p. 1-23, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.2125>.
- ZUSHI, K.; KAJIWARA, S.; MATSUZOE, N. Chlorophyll a fluorescence OJIP transient as a tool to characterize and evaluate response to heat and chilling stress in tomato leaf and fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 148, p. 39-46, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.09.022>.

5. ARTIGO 2

FILME DE PARTÍCULA DE CÁLCIO NA CULTURA DA BATATA-DOCE: EFEITOS NA ECOFISIOLOGIA, QUALIDADE E PARÂMETROS MORFOAGRONÔMICOS DAS PLANTAS

Periódico a ser submetido: International Journal of Biometeorology

JCR: 2,680; **Qualis:** A2

RESUMO

A batata-doce é uma hortaliça bastante produzida e consumida por ser rica em nutrientes essenciais. No entanto, as condições climáticas, como alta temperatura e irradiação, podem reduzir a produtividade da planta. Como uma forma de minimizar essas condições adversas, tem se utilizado a aplicação de filmes de partículas de cálcio. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de três concentrações de filme de partículas de cálcio (5, 10 e 15% CaO p/v) na ecofisiologia vegetal e nos parâmetros morfoagronômicos, físico-químicos e de qualidade das raízes tuberosas de batata-doce. Para isso foi montado um experimento em delineamento experimental em blocos casualizados com três concentrações de óxido de cálcio e água como controle. Verificou-se que a aplicação de filmes de partículas de óxido de cálcio aumentou a taxa fotossintética da planta de batata-doce, o carbono interno, a eficiência do uso da água, a eficiência intrínseca do uso da água e a eficiência da carboxilação. No entanto, nenhuma diferença significativa foi encontrada nos parâmetros de qualidade dos tubérculos. O filme de partícula de óxido de cálcio a 10% CaO p/v reduziu a temperatura da folha e a condutância estomática, o que promoveu um aumento na produtividade da planta em 162% em relação ao controle e melhorou os parâmetros morfoagronômicos das raízes. Dessa forma, o uso de filme de partículas de cálcio a 10% CaO p/v pode ser uma tecnologia alternativa para melhorar o cultivo da cultura da batata-doce em regiões quentes e secas.

Palavras-chave: Óxido de cálcio, *Ipomoea batatas*, fisiologia vegetal, pós-colheita, pré-colheita.

ABSTRACT

Calcium particle film in sweet potato crop development: effects on ecophysiology, quality and morpho-agronomic parameters of plants

Sweet potato is a food rich in essential nutrients. However, climatic conditions such as high temperature and irradiation can reduce plant productivity. The application of calcium particulate films has been proven to eliminate such adverse conditions. This paper aimed to evaluate the effect of three film concentrations of calcium particles (5%, 10% and 15% CaO w/v) on plant ecophysiology and on morpho-agronomic, physicochemical and quality parameters of the tuberous roots. An experiment was carried out in the Northeast region of Brazil to test these effects under field conditions. The experimental design was in randomized blocks with three concentrations of calcium oxide and water as control. Overall, the application of calcium oxide particle films increased the sweet potato plant photosynthetic rate, internal carbon, water usage efficiency, intrinsic water usage efficiency and carboxylation efficiency. However, no difference was found in the vegetable quality parameters. At 10% CaO w/v the calcium oxide particle film reduced leaf temperature and stomatal conductance, which increased plant productivity by 52% compared to the control, improving the morpho-agronomic parameters of the roots. Therefore, the use of calcium particle film at 10% CaO w/v can be a technological alternative to improve the harvest of sweet potato in hot and dry regions.

Keywords: Calcium oxide, *Ipomoea batatas*, plant physiology, post-harvest, pre-harvest.

5.1. Introdução

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) é uma cultura cultivada em regiões tropicais e subtropicais. A importância agrônômica da planta está relacionada à sua composição, rica em nutrientes, que a classificou como a sexta cultura mais consumida mundialmente (ERPEN *et al.*, 2013). Porém, estresse abiótico, como alta temperatura do ar e intensidade de luz, e fatores bióticos, como doenças e pragas, prejudicam o desenvolvimento de plantas e podem afetar o acúmulo de amido nas raízes tuberosas, reduzindo a qualidade e o valor comercial e, consequentemente, reduzem a produtividade (DAHALL *et al.*, 2019; MITTLER, 2006; SUZUKI *et al.*, 2014). No entanto, esses efeitos adversos nas plantações podem ser reduzidos usando tecnologias como filmes de partículas (FAN *et al.*, 2014).

A aplicação de filmes de partículas de cálcio pode ser uma alternativa para mitigar os efeitos adversos do estresse abiótico e biótico na cultura da batata-doce (OLIVEIRA *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021). No entanto, há carência de informações a respeito dessa técnica de conhecimentos em algumas culturas, principalmente nas culturas tuberosas.

Os filmes de partículas consistem em formulações aquosas de partículas minerais inertes aplicadas para proteger o dossel das culturas de plantas de condições climáticas adversas (BRITO *et al.*, 2019). Os filmes de partículas simulam os mecanismos de defesa da planta, minimizando o estresse. Por exemplo, os filmes de partículas podem aumentar a taxa fotossintética e a eficiência do uso da água, melhorando a produtividade das plantas e a qualidade dos frutos (GLENN; PUTERKA, 2005).

Alguns filmes de partículas comerciais estão disponíveis (por exemplo, Kaolin e óxido de cálcio) e foram relatados como uma alternativa para mitigar os efeitos de condições ambientais adversas. Por exemplo, protetores foliares reduziram os danos foliares causados por estresse luminoso e térmico (GHARAGHANI; JAVARZARI; VAHDATI, 2018b) e melhoraram a eficiência do uso de água em períodos de seca (BRITO *et al.*, 2018). Além disso, os filmes de partículas promovem um sombreamento artificial que reduz as tensões térmicas e luminosas, aumentando a taxa de fotossíntese (DINIS *et al.*, 2018b; SILVA *et al.*, 2019d).

Sendo assim, este estudo testou se a aplicação de filme de partículas de óxido de cálcio (CaO) poderia melhorar a ecofisiologia da planta de batata-doce e a qualidade das raízes tuberosas. Previmos que o uso de filmes de partícula de cálcio melhora a ecofisiologia da planta, incluindo os aspectos morfoagronômicos, físico-químicos e relacionados à qualidade das raízes tuberosas.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Área de estudo e desenho experimental

O estudo foi realizado na estação experimental, em São Cristóvão, Sergipe, Brasil (10 55'27" S, 37 12'01" W, 46 m acima do nível do mar) de abril a setembro de 2018. O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo (Ultisol) (SANTOS *et al.*, 2018). O clima da região é classificado como As (tropical úmido e seco; classificação de Koppen), com temperatura e precipitação média anual de 25,5°C e 1300 mm, respectivamente (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007). Essas variáveis climáticas e a radiação solar foram monitoradas durante o experimento em uma estação meteorológica automatizada (Figura 1).

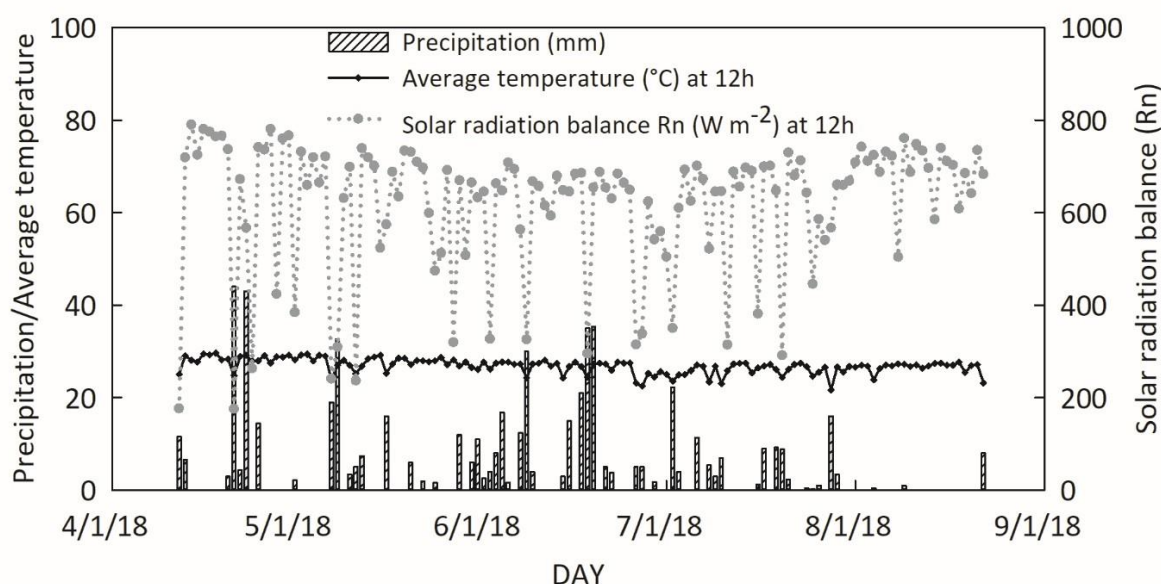


Figura 1. Temperatura média do ar (°C), radiação solar acumulada (W.m⁻²) e precipitação acumulada diária (mm), durante o período experimental (abril a setembro de 2018).

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com quatro tratamentos (controle, 5, 10 e 15% p/v CaO) e quatro repetições por tratamento. Foi utilizada a batata-doce “Ourinho”. A cultura foi estabelecida em quatro fileiras (18 m X 0,6 m; comprimento x largura de cada fileira) espaçadas em 1 m entre essas e 0,3 m entre plantas. A irrigação por gotejamento foi aplicada com base nos valores de evapotranspiração de uma estação meteorológica automatizada local, e os fertilizantes foram aplicados de acordo com a análise do solo e as recomendações de cultivo (20 kg.ha⁻¹ de N; 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅; 90 kg.ha⁻¹ de K₂O; e 30 dias após o plantio (DAP), 30 kg.ha⁻¹ de N, 40 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg.ha⁻¹ de K₂O).

Os tratamentos foram aplicados sempre que a luminosidade (L*) foi reduzida nas folhas (SILVA *et al.*, 2019). Um colorímetro digital modelo CR 400 (Konica Minolta, Japão) foi usado para medir os valores L* em cinco folhas do dossel da planta. Esse colorímetro mostra valores de L* em uma escala de 0 (absorção total de luz) a 100 (reflexão total de luz), que está associado às propriedades reflexivas de folhas e resíduos de filme. Os valores L* dos filmes de partículas

para cada concentração foram comparados com o controle (água) para identificar a variação da luminosidade relacionada à persistência ou remoção do filme devido às condições climáticas (por exemplo, chuva). A primeira aplicação foi realizada 30 dias após o plantio. Os filmes foram aplicados com pulverizador manual elétrico (modelo Kawashima PEM-P20) com vazão de 2,9 L min⁻¹ e pressão de 450 KPa. Oito pulverizações foram realizadas no total.

5.2.2. Parâmetros de trocas gasosas

Os parâmetros de troca gasosa foram medidos 30 dias antes da colheita, às 9h, da seguinte forma: taxa fotossintética (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), carbono interno (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), temperatura da folha (T_{leaf} , °C) e condutância estomática (g_s , $\text{molH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Os parâmetros foram medidos usando analisador portátil de infravermelha e fluorescência (IRGA, modelo LI-6400XT, Li-cor, Biosciences Inc Nebraska, EUA) calibrado de acordo com as condições climáticas locais [radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) $1.500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$] e concentração de referência de CO_2 de $400 \pm 2 \mu\text{mol mol}^{-1}$. As medições foram realizadas em folhas expandidas (ou seja, folhas ativas), sem lesões, no meio do dossel da planta. A eficiência de uso de água (WUE) [$(\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{mmolH}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1})^{-1}$] por $A.E^{-1}$, a eficiência intrínseca de uso de água (IWUE), [$(\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\text{molH}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$] por $A.g_s^{-1}$ e a eficiência de carboxilação instantânea (CE) ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) por $A.C_i^{-1}$ foram calculadas.

5.2.3. Parâmetros morfoagronômicos

O número e o peso das raízes tuberosas foram avaliados para fazer o cálculo de produtividade em toneladas por hectare (t ha^{-1}). O comprimento (cm) e o diâmetro (mm) das raízes tuberosas na região de maior diâmetro foram medidos por régua e paquímetro digital, respectivamente, em raízes tuberosas comerciais (ou seja, com peso variando de 80 a 700 g; OLIVEIRA *et al.*, 2013; RESENDE, 2000) sem lesões. O volume das raízes tuberosas (mL) foi obtido pelo método de deslocamento de água em béquer de 1L (NETTO; CAMPOSTRINI; GOMES, 2006).

Lesões de insetos foram pontuadas de acordo com a escala de Andrade Júnior *et al.* (2012). Essa escala varia de um a cinco, onde: 1 - raízes tuberosas sem lesão; 2 - raízes tuberosas com poucas galerias e buracos; 3 - raízes tuberosas com galerias, buracos e baixa disponibilidade comercial; 4 - semelhante a 3 e processo de podridão no início; e 5 - relacionado a 4 com o processo avançado de decomposição. Foram utilizadas de quatro a doze raízes tuberosas em cada tratamento e controle, e a pontuação final (média) foi baseada na pontuação de dois árbitros.

5.2.4. Parâmetros de qualidade

Apenas raízes tuberosas comerciais foram utilizadas para realizar as análises, e cada repetição foi constituída de uma amostra composta por quatro raízes tuberosas por tratamento. As raízes tuberosas foram lavadas com água e solução de hipoclorito de sódio (100 mg L^{-1}) por cinco minutos e, a seguir, colocadas em bandeja plástica.

A cor foi medida com um colorímetro CR-400 (modelo Chroma Meter, Konica Minolta, Osaka, Japão), em três partes centrais da região de maior diâmetro. Os parâmetros medidos foram luminosidade (L^*), intensidade do vermelho (a^*), coordenada azul/amarela (b^*), ângulo hue (h°) e croma (C^*). A firmeza da raiz tuberosa foi avaliada com penetrômetro digital (TR Turoni, modelo 53205, Forli, Itália) na mesma região onde a coloração foi medida, com três avaliações por repetição, e os resultados foram anotados em Newton (N). As raízes tuberosas foram trituradas, e os sólidos solúveis totais (SS, °Brix) foram determinados com um refratômetro digital (modelo RTD-45, Instrutherm, São Paulo, Brasil). O pH foi medido com um medidor de pH (modelo pHs-3E, LabMeter, São Paulo, Brasil) e a acidez titulável (TTA)

por titulação com solução de NaOH (0,01 N), de acordo com Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008). Os resultados foram anotados como % de ácido cítrico ($\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$).

O teor de amido foi determinado pelo método de Lane-Eynon. Esse método é baseado na redução do cobre alcalino (Fehling) a óxido cuproso, e o ponto final é indicado pelo azul de metileno, que é reduzido pelo excesso de níveis de açúcares redutores (OLIVEIRA *et al.*, 2017a; ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008). O conteúdo de cálcio foi medido pelo método permanganométrico descrito por Glória, Catani e Matuo (1965), utilizando uma alíquota de 500 g de raízes tuberosas.

5.2.5. Análise estatística

A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. A análise de variância (ANOVA, $\alpha=0,05$) foi realizada para os parâmetros pré-colheita e as variáveis pós-colheita. O teste de Tukey foi utilizado para comparar as médias entre os tratamentos ($\alpha=0,05$) quando os fatores foram significativos. A análise foi realizada utilizando o programa R (R CORE TEAM, 2018) na plataforma Rbio (BHERING, 2017), e os gráficos foram desenvolvidos no SigmaPlot 12.5 (Software de Systat, San Jose, CA, EUA).

5.3. Resultados

A aplicação de CaO afetou significativamente ($p<0,05$) os parâmetros de trocas gasosas das plantas de batata-doce (Tabela 1). O filme de partícula provocou aumento da taxa fotossintética e da concentração de carbono na concentração de CaO a 10% p/v, quase dobrando os valores do controle. A temperatura foliar reduziu $0,8^{\circ}\text{C}$ com 10% e 15% de CaO. No geral, os tratamentos com filme de partículas reduziram a condutância estomática, no entanto, na concentração de 10%, reduziram 45,6%, indicando uma otimização por plantas de batata-doce. A maior eficiência de carboxilação foi observada nas plantas com CaO a 10% e 15% ($0,125$ e $0,177 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 1).

O uso de filmes de cálcio melhorou a eficiência do uso de água em todas as concentrações, com a maior eficiência em 15% CaO (2,6 vezes em comparação ao controle; Figura 2). Foi verificada uma maior eficiência intrínseca do uso de água com CaO 10% p/v de CaO, que foi 3,8 vezes mais eficiente do que o controle (Figura 2).

Filmes de partículas nas concentrações de 10% ($32,86 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) e 15% ($29,61 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) aumentaram significativamente ($p<0,05$) a produtividade das plantas de batata-doce, representando um aumento de 52,5% e 40,9%, respectivamente, em comparação com o controle ($21,54 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) (Figura 2).

A aplicação de filmes de cálcio a 5, 10 e 15% p/v de CaO reduziu as lesões causadas por insetos ($p<0,05$) (Figura 3) das espécies de importância econômica para a cultura da batata-doce, como adultos de *Diabrotica speciosa* (Germar) (Coleoptera: Chrysomelidae), larvas de *Dyscinetus* spp. e *Euethola humilis* (Burmeister) (Coleoptera: Scarabaeidae), frequentemente observados durante o experimento.

O número de raízes tuberosas comerciais aumentou nos tratamentos onde foram aplicados 10% e 15% p/v de CaO (Figura 4A); no entanto, o maior peso das raízes tuberosas foi observado apenas para a aplicação de 10% CaO (Figura 4B). A aplicação de filmes de cálcio aumentou o comprimento da raiz tuberosa (Figura 4C), mas não o diâmetro (Figura 4D). Volumes de raiz elevados foram observados a 10% e 15% p/v de CaO (Figura 4E). Por outro lado, o uso de filmes de cálcio não afetou os parâmetros físico-químicos e de qualidade das raízes tuberosas (Tabela 2).

Tabela 1. Parâmetros fisiológicos de plantas de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO) em quatro concentrações durante o período de pré-colheita. (A) Assimilação de CO₂ da taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), (Ci) teor de carbono ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol ar}^{-1}$), (Tleaf) temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$), (gs) condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e (CE) eficiência de carboxilação ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Tratamentos —	Parâmetros				
	A	Ci	Tleaf	gs	CE
Controle	16,9 ^d	183,3 ^d	31,2 ^a	0,8 ^a	0,09 ^c
CaO 5%	22,6 ^c	213,2 ^c	31,1 ^a	0,5 ^c	0,11 ^{bc}
CaO 10%	35,7 ^a	285,9 ^a	30,4 ^b	0,4 ^d	0,13 ^a
CaO 15%	32,0 ^b	274,4 ^b	30,5 ^b	0,6 ^b	0,12 ^{ab}

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si (teste de Tukey; $p \leq 0,05$).

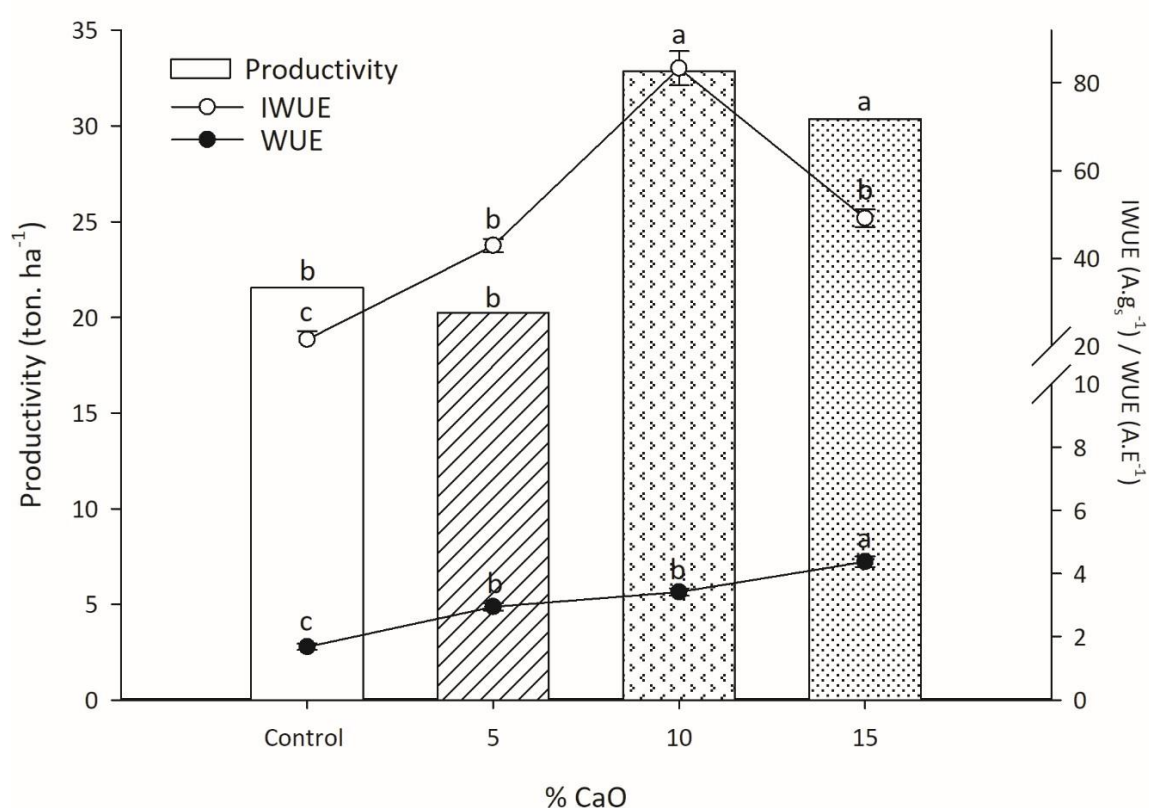


Figura 2. Produtividade (barras), eficiência do uso da água (WUE) e eficiência intrínseca do uso da água (IWUE) da batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

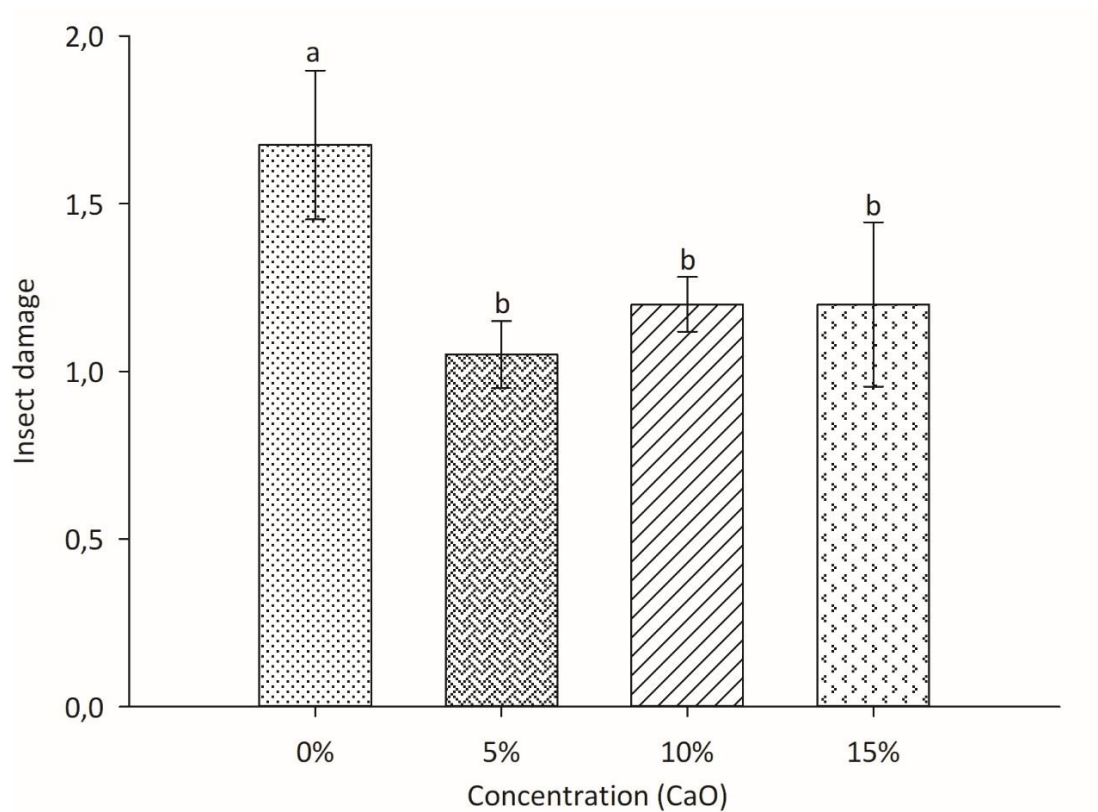


Figura 3. Pontuação de lesões de insetos em raízes tuberosas de batata-doce após a aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

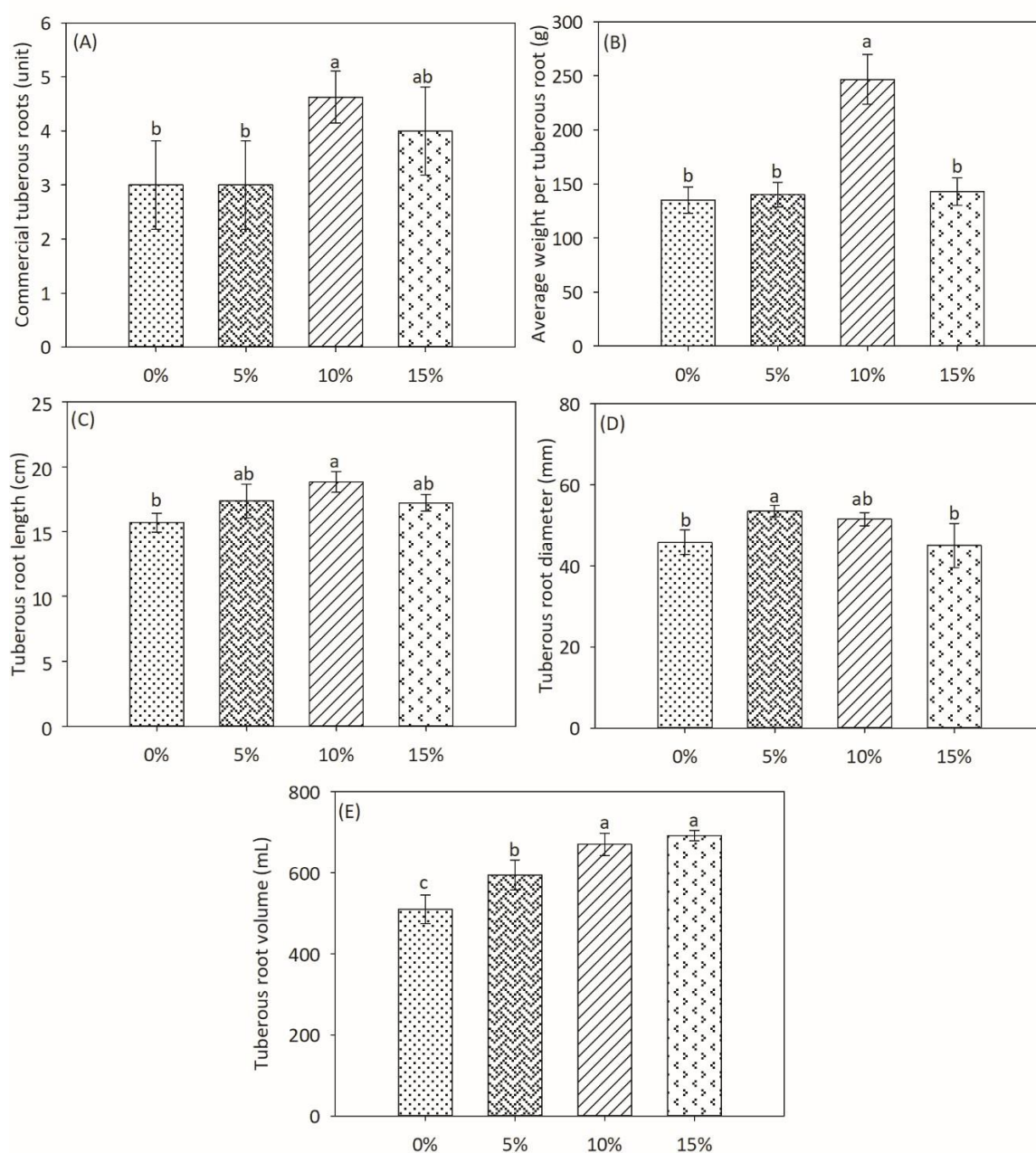


Figura 4. Parâmetros morfoagronômicos de raiz tuberosa de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio (CaO). Em (A) número de raízes tuberosas comerciais, (B) Peso médio por raiz tuberosa, (C) Comprimento da raiz tuberosa, (D) Diâmetro da raiz tuberosa, (E) Volume da raiz tuberosa. Médias ($\pm$ erro padrão) seguidas da mesma letra não diferem entre si (teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos de raízes tuberosas de batata-doce (*Ipomoea batatas* L.) após aplicação de filmes de partículas de cálcio em três concentrações durante o período de pré-colheita. Em F - Firmeza (Newton), SS - Sólidos Solúveis (°Brix), TTA - acidez titulável em g por 100 g de ácido cítrico, M - % de minerais; Ca - g de cálcio por kg de raiz tuberosa; Amido em % por 500 g de raiz tuberosa. Nenhuma significância foi observada entre os tratamentos. § luminosidade (L*), intensidade do vermelho (a*), coordenada azul / amarela (b*), ângulo hue (h°) e croma (C*).

Parâmetro	Tratamentos			
	Controle	CaO 5%	CaO 10%	CaO 15%
F	27,27	28,32	29,63	26,52
SS	7,95	7,70	6,95	7,05
pH	6,46	6,36	6,20	6,33
TTA	8,81	7,56	8,90	9,35
M	2,64	2,56	3,28	2,69
Ca	2,11	2,38	2,56	2,32
Amido	15,95	17,40	17,72	18,32
Cor	L*	68,25	66,45	65,52
	a*	3,19	3,86	3,89
	b*	26,51	28,35	27,75
	C*	26,71	28,62	28,04
	h°	83,10	83,03	82,00

5.4. Discussão

Verificou-se que a taxa fotossintética foi maior nos tratamentos 10% e 15% de CaO, nos quais se dobrou as taxas fotossintéticas da batata-doce (35,67 e 32,02 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente), comparativamente ao tratamento controle (16,92 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Os filmes de partículas podem proteger as plantas de batata-doce durante condições adversas, como estresse luminoso, aumentando sua taxa fotossintética (DINIS *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019). Dessa forma, os resultados obtidos no presente trabalho indicam uma melhora na absorção e distribuição da luz nas folhas de batata-doce, refletindo a radiação visível e ultravioleta, o que reduziu a tensão térmica das folhas (GLENN *et al.*, 2001, 2003; ROSATI *et al.*, 2006).

Além disso, esses resultados estão associados à redução da temperatura foliar e condutância estomática, indicando uma diminuição do influxo de CO_2 na câmara estomática e espaços intercelulares devido ao aumento nos valores de A e C_i (Tabela 1). Uma redução em gs está mais associada a uma diminuição na temperatura da folha e ao mecanismo de transpiração de resfriamento do que a efeitos na obstrução estomática (BOARI *et al.*, 2015). Assim, a aplicação de filme de óxido de cálcio pode reduzir o impacto do estresse térmico nas plantas de batata-doce, conforme relatado em outras culturas, como maçã (GLENN, 2016b), café (SILVA *et al.*, 2019) e uva (BERNARDO *et al.*, 2017; DINIS *et al.*, 2016a).

A eficiência da carboxilação depende da disponibilidade de CO_2 no mesófilo foliar, quantidade de luz, temperatura e atividade da rubisco, sendo esta última o principal fator para a fixação de CO_2 (PFANZ *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2013). Observou-se um aumento da CE quando aplicada a concentração de CaO de 10%, o que pode ser explicado pela alta concentração interna de CO_2 (C_i) associada a uma redução de gs que indica um aumento do processo de carboxilação pela disponibilidade de ATP, NADPH e substrato de rubisco (XU; JIANG; ZHOU, 2015).

A aplicação do filme de partículas de óxido de cálcio melhorou a eficiência do uso da água em função da modificação no trade-off entre fotossíntese e transpiração. Tanto o 10% quanto o 15% de CaO melhoraram os parâmetros ecofisiológicos e morfoagronômicos das plantas de batata-doce, conforme indicado pelos valores IWUE e WUE. No entanto, a 15% CaO, os valores de IWUE foram inferiores a 10% CaO. Tal fato pode ser explicado não por

uma melhora da assimilação, mas pela redução em gs causada pelo filme de partícula no tratamento com 15% CaO (LEAKEY *et al.*, 2019; WEBSTER *et al.*, 2016).

O aumento nos valores de IWUE no nível da folha pode ser maior; ou seja, o influxo de CO₂ por unidade de água é mais eficiente em um déficit de pressão de vapor (VPD). Então, a refletância dos filmes de cálcio aumenta a incidência de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD) nas folhas, e, como consequência, as taxas de fotossíntese são maiores, conforme observado em 10% CaO (BRILLANTE *et al.*, 2016; YANG *et al.*, 2019). Outro fator a considerar é a afinidade da rubisco por CO₂ em relação à atividade relativa das reações de carboxilase e oxigenase e seus efeitos sobre IWUE (FLEXAS *et al.*, 2016).

Analisando em conjunto os resultados de IWUE e WUE em 10% CaO, pode se verificar a maior produtividade das plantas (Figura 2). Portanto, sugere-se que a economia de água observada nas plantas de batata-doce com a aplicação de filmes de cálcio pode ser uma prática sustentável para uso em lavouras (BRILLANTE *et al.*, 2016).

A aplicação de filmes de cálcio melhorou os parâmetros fisiológicos das plantas de batata-doce, resultando em melhores parâmetros morfoagronômicos das raízes tuberosas. Os efeitos positivos dos filmes de cálcio em 10% CaO converteram-se em uma maior quantidade (Figura 3A), peso (Figura 3B) e comprimento tuberoso comercial. Conforme discutido anteriormente, esses efeitos resultam em parâmetros fisiológicos aprimorados, como eficiência do uso da água e taxas fotossintéticas. Por exemplo, na menor concentração aplicada (ou seja, 5% de CaO), não foram observadas lesões nas raízes tuberosas, que apresentavam melhor qualidade comercial (Figura 3).

Filmes de partículas afetaram o comportamento e a biologia dos insetos (CADOGAN; SCHARBACH, 2005; LEMOYNE *et al.*, 2008; AMALIN *et al.*, 2015). Isso ocorre porque as partículas de cálcio que recobrem as folhas alteram o espectro de cores das folhas (GLENN; PUTERKA, 2005), dificultando a localização das plantas. Consequentemente, os insetos não conseguem ovipositar nas folhas ou no solo, o que reduz a ocorrência na cultura. Além disso, o cálcio é tóxico e apresenta efeitos subletais em insetos (MIRANDA *et al.*, 2018; PENG *et al.*, 2011; TACOLI *et al.*, 2017).

Os filmes de partículas não afetaram os parâmetros físico-químicos das raízes tuberosas de batata-doce. Esses resultados mostraram um efeito contínuo após a aplicação do filme de cálcio em plantas de batata-doce. Por exemplo, altas taxas fotossintéticas com uma temperatura foliar mais baixa (Tabela 1) aumentaram o carbono intercelular e melhoraram a eficiência do processo de carboxilação e eficiência do uso da água. A condição proporcionada após a aplicação do cálcio reduziu o estresse luminoso e térmico sem afetar os parâmetros físico-químicos (ERGUN, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2020; SHARMA; REDDY; DATTA, 2015). A 10% de CaO, o filme de partícula de óxido de cálcio melhorou a ecofisiologia das plantas de batata-doce e sua produtividade. No entanto, nenhum efeito foi encontrado nos parâmetros de qualidade das raízes tuberosas, mantendo a boa qualidade do produto. Portanto, sugere-se o uso de filmes de partículas de óxido de cálcio em plantas de batata-doce para mitigar possíveis efeitos de condições adversas na fisiologia vegetal, o que melhora sua produtividade.

5.5. Conclusões

Este estudo sugere que a concentração de CaO a 10% melhora a ecofisiologia das plantas de batata-doce e os aspectos morfoagronômicos e produtivos das raízes tuberosas sem afetar seus parâmetros físico-químicos. Assim, recomenda-se a sua aplicação para o aprimoramento do cultivo da batata-doce.

5.6. Referências Bibliográficas

- ANDRADE JÚNIOR, V. C.; VIANA, D. J. S.; PINTO, N. A. V. D.; RIBEIRO, K. G.; PEREIRA, R. C.; NEIVA, I. P.; AZEVEDO, A. M.; ANDRADE, P. C. de R. Características produtivas e qualitativas de ramas e raízes de batata-doce. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 584-589, 2012.
- BERNARDO, S.; DINIS, L. T.; LUZIO, A.; PINTO, G.; MEIJÓN, M.; VALLEDOR, L.; CONDE, A.; GERÓS, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application lowers oxidative damage and DNA methylation on grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v. 139, n. April, p. 39-47, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.04.002>.
- BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 2, p. 187-190, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2s29>.
- BOARI, F.; DONADIO, A.; SCHIATTONE, M. I.; CANTORE, V. Particle film technology: A supplemental tool to save water. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 154-162, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.014>.
- BRILLANTE, L.; BELFIORE, N.; GAIOTTI, F.; LOVAT, L.; SANSONE, L.; PONI, S.; TOMASI, D. Comparing kaolin and pinolene to improve sustainable grapevine production during drought. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. 1-19, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156631>.
- BRITO, C.; DINIS, L. T.; FERREIRA, H.; ROCHA, L.; PAVIA, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. M. Kaolin particle film modulates morphological, physiological and biochemical olive tree responses to drought and rewatering. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 133, n. May, p. 29-39, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.028>.
- BRITO, C.; DINIS, L. T.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C. Kaolin, an emerging tool to alleviate the effects of abiotic stresses on crop performance. **Scientia Horticulturae**, v. 250, n. November 2018, p. 310-316, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.070>.
- DAHAL, K.; LI, X. Q.; TAI, H.; CREELMAN, A.; BIZIMUNGU, B. Improving potato stress tolerance and tuber yield under a climate change scenario – A current overview. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. May, p. 1-16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00563>.
- DINIS, L. T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GERÓS, H.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 191, p. 45-53, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.12.005>.
- DINIS, L. T.; MALHEIRO, A. C.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C. M.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage. **Photosynthetica**, v. 56, n. 2, p. 641-651, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11099-017-0714-3>.

ERGUN, M. Postharvest quality of “Galaxy” apple fruit in response to Kaolin-based particle film application. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 14, n. 3, p. 599-607, 2012.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. de O.; ANDRIOLO, J. L. Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 396-402, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/brag.2013.050>.

FAN, D.; KANDASAMY, S.; HODGES, D. M.; CRITCHLEY, A. T.; PRITHIVIRAJ, B. Pre-harvest treatment of spinach with *Ascophyllum nodosum* extract improves post-harvest storage and quality. **Scientia Horticulturae**, v. 170, p. 70-74, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.02.038>.

FLEXAS, J. *et al.* Mesophyll conductance to CO₂ and Rubisco as targets for improving intrinsic water use efficiency in C₃ plants. **Plant Cell and Environment**, v. 39, n. 5, p. 965-982, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pce.12622>.

GHARAGHANI, A.; JAVARZARI, A. M.; VAHDATI, K. Kaolin particle film alleviates adverse effects of light and heat stresses and improves nut and kernel quality in Persian walnut. **Scientia Horticulturae**, v. 239, n. May, p. 35-40, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.024>.

GLENN, D. M. Effect of highly processed calcined kaolin residues on apple water use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 205, p. 127-132, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.022>.

GLENN, D. M.; EREZ, A.; PUTERKA, G. J.; GUNDRUM, P. Particle films affect carbon assimilation and yield in “Empire” apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 128, n. 3, p. 356-362, 2003.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J. Particle Films: A New Technology for Agriculture. **Horticultural Reviews**, v. 31, p. 1-44, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9780470650882.ch1>.

GLENN, D. M.; PUTERKA, G. J.; DRAKE, S. R.; UNRUH, T. R.; KNIGHT, A. L.; BAHERLE, P.; PRADO, E.; BAUGHER, T. A. Particle film application influences apple leaf physiology, fruit yield, and fruit quality. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 2, p. 175-181, 2001.

GLÓRIA, N. A.; CATANI, R. A.; MATUO, T. Determinação de cálcio e magnésio em plantas, pelo método do EDTA. **Anais da Escola Superior “Luiza de Queiroz”**, p. 154-171, 1965.

LEAKEY, A. D. B.; FERGUSON, J. N.; PIGNON, C. P.; WU, A.; JIN, Z.; HAMMER, G. L.; LOBELL, D. B. Water Use Efficiency as a Constraint and Target for Improving the Resilience and Productivity of C₃ and C₄ Crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 70, n. 1, p. 781-808, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040305>.

MIRANDA, M. P.; ZANARDI, O. Z.; TOMASETO, A. F.; VOLPE, H. X. L.; GARCIA, R.

B.; PRADO, E. Processed kaolin affects the probing and settling behavior of *Diaphorina citri* (Hemiptera: Lividae). **Pest Management Science**, v. 74, n. 8, p. 1964-1972, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.4901>.

MITTLER, R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. **Trends in Plant Science**, v. 11, n. 1, p. 15-19, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.11.002>.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; GOMES, M. de M. de A. effects of root confinement on byometrics measurements and CO₂ assimilation in *Coffea canephora* PIERRE PLANTS. **Revista Brasileira de Agrociencia**, v. 12, n. 3, p. 295-303, 2006.

OLIVEIRA, A. M.; BLANK, A. F.; ALVES, R. P.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; MALUF, W. R.; FERNANDES, R. P. Performance of sweet potato clones for bioethanol production in different cultivation periods. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 57-62, 2017. Disponível em: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170109>.

OLIVEIRA, A. P.; DINIS, L. T. R.; BARBOSA, N. T. B.; DE MATTOS, E. C.; FONTES, P. T. N.; CARNELOSSI, M. A. G.; FAGUNDES, J. L.; DA SILVA, E. C.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Calcium particle films promote a photoprotection on sweet potato crops and increase its productivity. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40626-020-00192-9>.

OLIVEIRA, A. P.; FONTES, P. T.; MACIEL, L. B. S.; FAGUNDES, J. L.; CARNELOSSI, M. A. G.; OLIVEIRA JUNIOR, L. F. G. Physiological performance, bromatological quality, and productivity of sweet potato using calcium oxide particle film. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e01789, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.01789>.

OLIVEIRA, A. P.; GONDIM, P. C.; SILVA, O. P. R.; OLIVEIRA, A. N. P.; GONDIM, S. C.; SILVA, J. A. Produção e teor de amido da batata-doce em cultivo sob adubação com matéria orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 830-834, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800005>.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences Updated**, v. 11, p. 1633-1644, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ppp.421>.

PENG, L.; TRUMBLE, J. T.; MUNYANEZA, J. E.; LIU, T. X. Repellency of a kaolin particle film to potato psyllid, *Bactericera cockerelli* (Hemiptera: Psyllidae), on tomato under laboratory and field conditions. **Pest Management Science**, v. 67, n. 7, p. 815-824, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ps.2118>.

PFANZ, H.; VODNIK, D.; WITTMANN, C.; ASCHAN, G.; BATIC, F.; TURK, B.; MACEK, I. Photosynthetic performance (CO₂ - compensation point, carboxylation efficiency, and net photosynthesis) of timothy grass (*Phleum pratense* L.) is affected by elevated carbon dioxide in post-volcanic mofette areas. **Environmental and Experimental Botany**, v. 61, n. 1, p. 41-48, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.02.008>.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2018.

RESENDE, G. M. de. Características produtivas de cultivares de batata-doce em duas épocas

de colheita, em Porteirinha - MG. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 1, p. 68-71, 2000.

ROSATI, A.; METCALF, S. G.; BUCHNER, R. P.; FULTON, A. E.; LAMPINEN, B. D. Physiological effects of kaolin applications in well-irrigated and water-stressed walnut and almond trees. **Annals of Botany**, v. 98, n. 1, p. 267-275, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/aob/mcl100>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; C., M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, p. 356, 2018. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>.

SHARMA, R. R.; REDDY, S. V. R.; DATTA, S. C. Particle films and their applications in horticultural crops. **Applied Clay Science**, v. 116-117, p. 54-68, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clay.2015.08.009>.

SILVA, M. D. A.; JIFON, J. L.; SANTOS, C. M.; JADOSKI, C. J.; SILVA, J. A. G. Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, n. 5, p. 735-748, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132013000500004>.

SILVA, P. S. O.; OLIVEIRA, L. F. G.; GONZAGA, M. I. S.; SENA, E. de O. A.; MACIEL, L. B. dos S.; FIAES, M. P.; MATTOS, E. C. de; CARNELOSSI, M. A. G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. **Scientia Horticulturae**, v. 245, n. October 2018, p. 171-177, 2019a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.010>.

SUZUKI, N.; RIVERO, R. M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, n. 1, p. 32-43, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nph.12797>.

TACOLI, F.; PAVAN, F.; CARGNUS, E.; TILATTI, E.; POZZEBON, A.; ZANDIGIACOMO, P. Efficacy and mode of action of Kaolin in the control of *Empoasca vitis* and *Zygina rhamni* (Hemiptera: Cicadellidae) in vineyards. **Journal of economic entomology**, v. 110, n. 3, p. 1164-1178, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jee/tox105>.

WEBSTER, R. J.; DRIEVER, S. M.; KROMDIJK, J.; MCGRATH, J.; LEAKEY, A. D. B.; SIEBKE, K.; DEMETRIADES-SHAH, T.; BONNAGE, S.; PELOE, T.; LAWSON, T.; LONG, S. P. High C3 photosynthetic capacity and high intrinsic water use efficiency underlies the high productivity of the bioenergy grass *Arundo donax*. **Scientific Reports**, v. 6, n. February, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep20694>.

XU, Z.; JIANG, Y.; ZHOU, G. Response and adaptation of photosynthesis, respiration, and antioxidant systems to elevated CO₂ with environmental stress in plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. September, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00701>.

YANG, Z. *et al.* Absciscic acid receptors and coreceptors modulate plant water use efficiency and water productivity. **Plant Physiology**, v. 180, n. June, p. pp.01238.2018, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.18.01238>.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1. ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.