

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CAMPUS CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

DAIANE DE DEUS OLIVEIRA

APLICAÇÕES DE CALCÁRIO E SILICATO NO DESENVOLVIMENTO DE ALFACE SOB
ESTRESSE CAUSADO POR NEMATOIDE DAS GALHAS

CASCAVEL – PARANÁ - BRASIL

2021

DAIANE DE DEUS OLIVEIRA

**APLICAÇÕES DE CALCÁRIO E SILICATO NO DESENVOLVIMENTO DE ALFACE SOB
ESTRESSE CAUSADO POR NEMATOIDE DAS GALHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Furlan Maggi

CASCADEL – PARANÁ - BRASIL

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

DE DEUS OLIVEIRA, DAIANE
APLICAÇÕES DE CALCÁRIO E SILICATO NO DESENVOLVIMENTO DE
ALFACE SOB ESTRESSE CAUSADO POR NEMATOIDE DAS GALHAS /
DAIANE DE DEUS OLIVEIRA; orientador MARCIO FURLAN MAGGI. --
Cascavel, 2021.
61 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) --
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências
Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, 2021.

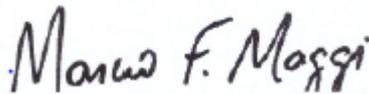
1. CONTROLE DE NEMATOIDES EM ALFACE COM APLICAÇÃO DE
CALCÁRIO E SILICATO. 2. AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR
DIFERENÇA NORMALIZADA E DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA EM
EXPERIMENTOS DE CALCÁRIO E SILICATO EM ALFACE. I. FURLAN
MAGGI, MARCIO, orient. II. Título.

Revisora de português, inglês e normas do PGEAGRI: Dhandara Capitani, outubro de 2021.

DAIANE DE DEUS OLIVEIRA

Aplicações de calcário e silicato no desenvolvimento de alface sob estresse causado por nematoide das galhas

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Geoprocessamento, Estatística Espacial e Agricultura de Precisão, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



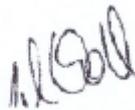
Marcio Furlan Maggi (Orientador)

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Cascavel (UNIOESTE)



Valmir Werner

Universidade Federal de Santa Maria – Campus Santa Maria (UFSM)



Sílvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 02 de agosto de 2021.

BIOGRAFIA RESUMIDA

Daiane de Deus Oliveira, nascida aos treze dias do mês de dezembro do ano de mil novecentos e noventa e dois, no município de Tupanciretã, no Estado do Rio Grande do Sul. Trabalhou como estagiária no laboratório de sementes da Cooperativa Cooccevil Comércio de Cerais Ltda., com análises de sementes de soja, azevém, aveia-preta e aveia-branca para verificação do vigor, por meio dos testes de tetrazólio, durante os meses de março e abril de 2013, no município de Tupanciretã, RS. Trabalhou como estagiária na área de assistência técnica a produtores rurais nas culturas de arroz e soja, na Empresa Agroterra Ltda., durante os meses de janeiro e fevereiro de 2016, no município de São Gabriel, RS. Realizou estágio obrigatório na Cooperativa Triticola de Frederico Westphalen Ltda., na área de assistência técnica a produtores rurais na região do Médio Alto Uruguai nas culturas de trigo, milho e soja, durante os meses de agosto a dezembro de 2016, no município de Frederico Westphalen, RS. Formou-se Engenheira Agrônoma pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus Frederico Westphalen, RS, em janeiro de 2017. Trabalhou como Engenheira Agrônoma e vendedora de agroquímicos na Empresa Gilberto Representações – Agricultura e Pecuária, de novembro de 2017 a março de 2019, no município de Capivari do Sul, RS. Ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de concentração de Sistemas Biológicos e Agroindústrias, campus Cascavel, PR, no ano de 2019, concluindo no ano de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Orientil e Maria (in memoriam), e minha mãe de coração Osvaldina (in memoriam), por me auxiliarem durante toda a minha caminhada, sem jamais desistir perante os obstáculos.

“Embora ninguém possa voltar atrás e fazer um novo começo, qualquer um pode começar agora e fazer um novo fim”.

Chico Xavier

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso pai, por permitir ser concebida no seio da família maravilhosa que tenho, por sempre me iluminar, me dando força para enfrentar os diversos obstáculos da vida, me fazendo aprender e crescer pessoalmente e profissionalmente. A Nossa Senhora Aparecida, por sempre guiar meus passos desde pequena, me fazendo ter fé e acreditar que tudo vai dar certo, e se ainda não deu certo, foi porque ainda não chegou o fim;

Aos meu pais Orientil e Maria (in memorian), pelo amor e carinho que sempre tiveram comigo e com meus irmãos. Além de todo apoio para que pudéssemos estudar, e correr atrás de nossos sonhos, sempre sendo nossos maiores alicerces e exemplos de vida, se hoje sou quem sou, devo a vocês, as pessoas que mais amo no mundo. Obrigada pai, pelo ombro amigo nos momentos mais difíceis, por todos conselhos e auxílio durante todo esse tempo. Te amo;

A minha amiga e mãe de coração Osvaldina (in memorian), que muito me orientou e me adotou como filha, com todo seu amor e carinho. E aos meus irmãos Diego e Luciano, e meus sobrinhos Rayson e Henrique, por sempre estarem ao meu lado em todos momentos difíceis;

Ao meu namorado Luciano, por me aturar nesse período, que não foi fácil, e claro, por toda ajuda no desenvolvimento do projeto ao longo de todo esse processo. Te amo;

Ao meu orientador Marcio Furlan Maggi, por toda orientação no desenvolvimento do trabalho. ;

Ao professor Luiz Antônio Zanão e ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) pelo material de solo arenoso. E a Professora Rafaela, pela orientação do artigo I;

A Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Cascavel e aos professores do Programa de Pós – Graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), por todos ensinamentos transmitidos durante a formação acadêmica e profissional e pela disponibilidade dos Laboratórios, tanto de Cascavel como de Marechal Cândido Rondon - PR.

A Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Cascavel (FUNDETEC), por permitir a implantação e desenvolvimento do projeto;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilidade da bolsa de estudos durante o mestrado;

Ao Cristiano Bellé do Instituto Phytus de Itaara – RS, pela doação do material com inóculos de nematoides;

A Wilma Gonçalves da Mineradora São Judas – SP, pela doação do material de silicato de cálcio e magnésio;

Aos colegas Anderson, Cíndia, Carlos, Diane, Wendel pelo auxílio durante todo desenvolvimento do projeto de mestrado. E a colega de apartamento Cinthia Magro por me

aturar, aconselhar e apoiar nos momentos difíceis, além de aguentar a minha quantidade de vasos de plantas dentro de casa.

APLICAÇÕES DE CALCÁRIO E SILICATO NO DESENVOLVIMENTO DE ALFACE SOB ESTRESSE CAUSADO POR NEMATOIDE DAS GALHAS

RESUMO GERAL

A alface é uma das principais hortaliças, sendo uma das mais consumidas mundialmente. Sua produção consiste basicamente a campo, estufas ou casa de vegetação, sendo que neste último é possível ter controle sobre temperatura, luz e umidade. A recomendação nutricional principal é via adubação com nitrogênio, fósforo e potássio. Porém, necessita-se de correções do pH do solo via aplicação calcariada. Sua produção pode ser reduzida severamente devido a pragas e doenças fitossanitárias, dentre as quais destacam-se os fitonematoides parasitoides do sistema radicular das plantas, sendo responsáveis pelo nanismo e amarelecimento das cultivares, ocasionados pela respectiva falta de absorção de água e nutrientes pelas raízes. Uma das formas de controle propostas neste trabalho são aplicações de quatro tratamentos de calcário dolomítico (0; 1,41; 2,83; 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (0; 0,425; 0,850; 1,28 g) com doze repetições, totalizando, assim, 48 unidades em cada um dos experimentos, em um delineamento inteiramente casualizado, em vasos de cinco litros em estufa, 180 dias antes do transplante das mudas de alface. Isso porque o cálcio é o principal componente da parede celular das plantas, bem como é responsável por alguns processos fisiológicos destas. Já o silício é um nutriente considerado não essencial para estas, todavia auxilia na formação dos retículos endoplasmático liso e rugoso e Complexo de Golgi, atuando como dreno para retirada dos açúcares originados nos cloroplastos para outras partes das plantas, reduzindo assim sua atratividade de pragas e doenças. O silício também é responsável pela formação de uma camada acima da epiderme, tornando a parede celular mais resistente. Sabendo-se disso, 15 dias após o transplante de alface Regina para os vasos, foram inoculados 1000 ovos de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica*, em um período de 60 dias, a fim de que ocorressem dois ciclos completos. Ao final, avaliou-se altura, teor de massa fresca e massa seca da parte aérea das plantas, bem como o teor de carotenoides e clorofila por espectrofotometria e NDVI, no qual permitiu-se calcular também o teor de água e reflectância fotoquímica. Ao final, verificou-se a correlação entre os diferentes métodos de leituras de clorofila. Realizou-se a contagem manual do número de galhas, bem como a contagem do número de ovos em microscópio por raiz e número de ovos no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do Teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Pretendeu-se realizar análise de regressão para os resultados, a fim de determinar as equações de regressão. Todos os resultados encontrados não diferiram estatisticamente; todavia, os tratamentos com cálcio apresentaram melhores respostas ao controle de nematoides do que os tratamentos com silicato, bem como para os parâmetros avaliados. O teor de clorofila e carotenoides, altura, massa fresca e seca podem ter sido afetados pelo estresse ocorrido pelas plantas na raiz. Conclui-se que os tratamentos com calcário e silicato não foram eficientes para o controle de *M. javanica*, além de não proporcionarem aumento nos demais parâmetros avaliados.

Palavras-chave: Carotenoides, Clorofila, *Meloidogyne javanica*, NDVI.

LIMESTONE AND SILICATE APPLICATIONS IN LETTUCE DEVELOPMENT UNDER STRESS CAUSED BY ROOT-KNOT NEMATODE

GENERAL ABSTRACT

Lettuce is one of the main vegetables, as well as one of the most consumed worldwide. Its production basically consists of field, glasshouse, or greenhouse, considering that in the latter it is possible to control temperature, light, and humidity. The main nutritional recommendation is via nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization. However, soil pH corrections are required via limestone application. Its production can be severely reduced, due to pests and phytosanitary diseases; among these, the parasitoid phytomatoids of the plant's root system stand out, being responsible for dwarfism and yellowing of the cultivars, caused by the respective lack of absorption of water and nutrients by the roots. One of the forms of control proposed in this work are applications of four dolomitic limestone treatments (0; 1.41; 2.83; 4.25 g) and calcium and magnesium silicate (0; 0.425; 0.850; 1.28 g) with twelve retentions, thus adding up to 48 units in each experiment, in a completely randomized design, in five-liter pots in an oven, 180 days before transplanting the lettuce seedlings. That occurs because calcium is the main component of the cell walls of plants, as well as being responsible for some of these physiological processes. Silicon is a nutrient considered non-essential for plants; however, it helps in the formation of the endoplasmic smooth and rough reticulum and the Golgi complex, acting as a drain to remove sugars originated in the chloroplasts into other parts of the plants, thus reducing its attractiveness to pests and diseases. Silicon is also responsible for the formation of a layer above the epidermis, making the cell wall tougher. Through this, 1000 eggs of *Meloidogyne javanica* nematodes were inoculated in Regina lettuce cultivars for a period of 60 days, so that two complete cycles of phytonmatoids could take place. Thus, height, fresh and dry matter content of plants were assessed, as well as the content of carotenoids and chlorophyll by spectrophotometry and NDVI, in which it was also possible to calculate the water and photochemical reflectance. At the end, the correlation between the different methods of chlorophyll readings was verified. Manual counting of the number of galls was carried out, as well as counting the number of eggs per root under a microscope and number of eggs in the soil. The data were submitted to analysis of variance using the F Test ($p < 0.05$) and the averages were compared using the Tukey test at 5% probability. Regression analysis was performed for the results, determining the regression equations. None of the results found differed statistically; however, calcium treatments showed better responses to nematode control than silicate treatments, as well as for the evaluated parameters. The content of chlorophyll and carotenoids, height, fresh and dry pasta, may have been affected by the stress suffered by the plants at the root. It is concluded that the treatments with limestone and silicate were not efficient for the control of *M. javanica*, in addition to not providing an increase in the other parameters evaluated.

Keywords: Carotenoids, Chlorophyll, *Meloidogyne javanica*, NDVI.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 Geral.....	2
2.2 Específicos	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Alface	3
3.2 Calcário na agricultura	4
3.2.1 Cálcio nas plantas.....	5
3.3 Silicato na agricultura.....	7
3.3.1 Silício nas plantas.....	9
3.4 Nematoides.....	10
3.4.1 Nematoides na cultura da alface.....	13
3.5 Clorofila	15
3.6 Carotenoides	16
3.7 NDVI.....	17
4 REFERÊNCIAS	19
5 ARTIGO 1 - CONTROLE DE NEMATOIDES EM ALFACE COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E SILICATO	28
5.1 Resumo	28
5.1.1 Abstract	29
5.2 Introdução	30
5.3 Material e métodos	31
5.4 Resultados e discussão	34
5.4.1 Altura, teor de massa fresca e seca das folhas.....	34
5.4.2 Concentração de carotenoides	36
5.4.3 Número de ovos de nematoides	38
5.5 Conclusões	43
5.6 Agradecimentos	43
5.7 Declaration of conflicting interests	43
5.8 Referências	43

6 AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E DA CONCENTRAÇÃO DE CAROTENOIDES EM EXPERIMENTOS DE CALCÁRIO E SILICATO EM ALFACE	47
6.1 Resumo	47
6.1.1 Abstract	48
6.2 Introdução	49
6.3 Material e métodos	50
6.4 Resultados e discussões	52
6.5 Conclusões	58
6.6 Agradecimentos.....	58
6.7 Declaration of conflicting interests	58
6.8 Referências	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- Figura 1 Rochas de silício e silicato de cálcio e magnésio já extraído das rochas 8
- Figura 2 Ciclo de vida dos nematoides: massa de ovos, crescimento, eclosão, migração na raiz, desenvolvimento, fase adulta e reprodução 11
- Figura 3 Formação de galhas no sistema radicular de alfaces da cultivar Regina 14

ARTIGO 1

- Figura 1 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para alturas de alface Regina 34
- Figura 2 Índice de concentração de carotenoides para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g)..... 37
- Figura 3 Comparação das médias para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g), por meio do teste de Tukey com 0,05% de significância, para concentrações de carotenoides. 37
- Figura 4 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no sistema radicular da alface com tratamentos de silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g).. 40
- Figura 5 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no sistema radicular da alface com tratamentos de calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g). 41
- Figura 6 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no solo com tratamentos de silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g)..... 41
- Figura 7 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no solo com tratamentos de calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g). 42

ARTIGO 2

- Figura 1 Médias individuais dos tratamentos com calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g) para concentrações de clorofila a, b, totais. 53
- Figura 2 Índices de clorofila, de água na folha e reflectância fotoquímica para os experimentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g). 55
- Figura 3 Comparação entre as médias para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g), por meio do Teste de Tukey com 0,05% de significância, para os parâmetros concentração de clorofila, teor de água nas folhas, teor de água normalizada nas folhas e reflectância fotoquímica em plantas de alface Regina. 56
- Figura 4 Comparação entre as médias para os tratamentos com silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g), por meio do Teste de Tukey com 0,05% de significância, para os parâmetros concentração de clorofila, teor de água nas folhas, teor de água normalizada nas folhas e reflectância fotoquímica em plantas de alface Regina..... 57

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1 Características químicas e granulométricas do solo na camada de 0 - 20 cm de profundidade.....	32
Tabela 2 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para de massa fresca.....	35
Tabela 3 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para material de massa seca	35
Tabela 4 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato em relação ao número de galhas por raiz.	39

ARTIGO 2

Tabela 1 Características químicas e granulométricas do solo na camada de 0 – 20... 50	
Tabela 2 Correlação de Spearman entre os parâmetros de Clorofila a + Chl (NDVI), Clorofila b + Chl (NDVI) e Clorofila Totais + Chl (NDVI), para ambos os tratamentos...58	

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

Al	Alumínio Trocável
Al_{sat}	Alumínio Saturado
C	Carbono
Ca	Cálcio
Ca	Clorofila a
Ca⁺²	Íons de cálcio
CaCl₂	Cloreto de cálcio
Cb	Clorofila b
CBL	Calcineurin B-like
Cd	Cádmio
Chl	Clorofila
Cfa	Clima Subtropical Úmido
CIPKs	CBL-interacting protein kinase
CT	Clorofila Total
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
FUNDETEC	Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico
H	Hidrogênio
H + Al	Acidez potencial
IR	Infravermelho
J1	Fase Juvenil primária do <i>M. javanica</i>
J2	Fase Juvenil secundária do <i>M. javanica</i>
J3	Fase Juvenil terciária do <i>M. javanica</i>
J4	Fase Juvenil quaternária do <i>M. javanica</i>
K	Potássio
KCL	Cloreto de Potássio
MAP	Mono Amônico Fosfato
<i>M. incognita</i>	<i>Meloidogyne incognita</i>
<i>M. javanica</i>	<i>Meloidogyne javanica</i>
Mg	Magnésio
MO	Matéria
NaF	Fluoreto de Sódio
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
NIR	Infravermelho Próximo
NPK	Nitrogênio Fósforo Potássio

P	.....	Fósforo
pH	.....	Poder Hidrogeniônico
O	.....	Oeste
O	.....	Oxigênio
PRNT	.....	Poder Relativo de Neutralização Total
REM	.....	Radiação Eletromagnética
S	.....	Sul
SB	.....	Soma de Bases Trocáveis
SMP	.....	Solução Schumaker, Mc Lean e Pratney (homenagem aos criadores)
Si	.....	Silício
SiO₂	.....	Dióxido de Silício
Si(OH)₄	.....	Ácido Silícico
UV	.....	Ultravioleta
TC	.....	Tratamento com Calcário
TS	.....	Tratamento com Silicato
V	.....	Saturação por Bases

1 INTRODUÇÃO GERAL

As adequadas adubação e correção da acidez do solo são parâmetros importantes para garantir uma boa produção e qualidade de cultivares de alface (*Lactuca sativa L.*) implantadas em áreas agrícolas ou casa de vegetação, garantindo ao produtor rural maior produtividade, além de um retorno econômico viável, assegurando o ciclo da produção agrícola.

Baixa saturação de bases no solo pode acarretar em excesso de alumínio, ferro, manganês, entre outros, causando problemas de toxidez à planta, e morte nos estágios iniciais do desenvolvimento desta. Por esse motivo, a correção com calcário dolomítico se faz necessária. Nas plantas, o cálcio é responsável pela formação da parede celular e por processos metabólicos. O nutriente também auxilia no estágio reprodutivo desta, com a fixação da floração.

Porém, toda adubação em excesso também pode ser prejudicial para a lavoura, isso porque a saturação acima de 60% e altos teores de cálcio no solo ocasionam, além da compactação do solo, perdas de potássio e magnésio, ou seja, o sistema radicular da planta não consegue absorver estes nutrientes, os quais são essenciais no desenvolvimento de todos os processos fisiológicos das plantas, acarretando em perda de produtividade, devido a deficiência nutricional.

Uma alternativa para contornar esse problema está na adubação com silicato de cálcio e magnésio, que permite ao sistema radicular absorver melhor potássio e magnésio, além de evitar a compactação do solo. A sílica no sistema fisiológico da planta causa enrijecimento da parede celular, devido à formação de uma camada de Si acima da epiderme, aumentando, assim, a sanidade vegetal e reduzindo a incidência de doenças fúngicas e bacterianas, insetos pragas e nematoides. Portanto, aplicações de cálcio e silício em hortaliças pode ser uma alternativa para aumentar a sanidade vegetal e fitossanitária, resultando, assim, em diminuições de aplicações com agroquímicos em diversas cultivares, reduzindo, também, problemas ambientais gerados pela deriva destes.

O presente trabalho visa buscar uma alternativa de correção da acidez dos solos a produtores rurais, permitindo que o sistema radicular das hortaliças seja agressivo, proporcionando melhor absorção de nutrientes e água a estas, mesmo perante situações de estresses, como os ocasionados por nematoides de galhas. Também acredita-se que aplicações calcariadas e silicatadas sejam capazes de inibir a proliferação desses nematoides.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

- Determinar, entre aplicações de calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio, qual garantirá maior resistência no desenvolvimento radicular da cultura da alface perante uma determinada concentração de *Meloidogyne javanica*.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos das aplicações de fontes de Ca e Si na colonização da raiz por *Meloidogyne javanica*;
- Avaliar o residual de *M. javanica* no solo;
- Avaliar a concentração de clorofila e carotenoides por espectrofotometria;
- Avaliar a concentração de clorofila, água e reflectância fotoquímica por NDVI.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Alface

A alface (*Lactuca sativa*) originou-se inicialmente na região do Mediterrâneo, sendo que, no começo do século XV, houve sua introdução na Europa Ocidental, com alguns tipos da hortaliça, como a lisa, a batávia e a romana (SALA; COSTA, 2012). Em todo mundo, o vegetal mais consumido é a alface, porém seu valor nutricional é questionado, devido ao seu alto teor de água, sendo de aproximadamente 95% (KIM et al., 2016). Conforme Neto et al. (2006) observaram, com o aumento da densidade populacional de alface, o teor de vitamina C decresceu, bem como o teor de clorofila total e de carotenoides, fato que pode ser explicado devido à competição por luz, com o desenvolvimento de plantas com folhas finas, alongadas e firmes.

Um exemplo disso é o acúmulo de látex na olerícola, o que torna o alimento com baixa palatabilidade, este pode ser evidenciado com uma concentração nas nervuras centrais das folhas e posterior extensão para as demais, deixando-o com um aspecto amargo ao inserir suas folhas. O alongamento do caule também torna-se um fator de perda de qualidade quando esta encontra-se a campo: essa característica estética não é muito apreciada pelo mercado consumidor; normalmente, esse aspecto é ocasionado por estresses ambientais (FERREIRA et al., 2013).

A hortaliça é uma planta herbácea anual, com caule diminuto, não ramificado, prendendo-se às folhas. Nesse contexto, a alface possui diferentes cultivares, agrupadas em seis tipos distintos com base nas características das folhas e na formação ou não de “cabeça” repolhuda: repolhuda manteiga, repolhuda crespa (americana), solta lisa, solta crespa, mimosa e romana. Sua fase de crescimento vegetativo encerra-se quando as plantas atingem seu desenvolvimento máximo de folhas (SANTOS et al., 2011).

Estas, por sua vez, são constituídas por Carbono (C), Hidrogênio (H) e Oxigênio (O) com aproximadamente 90 a 95% do seu peso. Esses elementos vêm do ar e, por isso, não são um problema, já que são abundantes no sistema (DOMINGUES et al., 2012). Por este motivo, a maior ênfase está nos elementos minerais, pois compõem a solução nutritiva, sendo estes divididos em macro e micronutrientes. Furlani e Purquerio (2010) relatam que a curva ideal para consumo de nutrientes pelas plantas ajudará na definição de quantidade de aplicação de um determinado nutriente. Para que isso ocorra, em função das curvas de absorção de nutrientes, se faz necessária a obtenção das taxas diárias de absorção destes, além da utilização de informações referentes a

estágios fenológicos de crescimento das plantas em diferentes quantidades e proporções entre nutrientes a serem aplicados durante as fertilizações.

Apesar da cultura de alface apresentar ciclo curto, necessitam de grande quantidade de adubo. A adubação, normalmente utilizada a campo, ocorre em cobertura, com fertilizantes formulados, como 04 – 30 – 16 de NPK, respectivamente. Os autores recomendam que a aplicação em base seja em torno de 70 kg ha⁻¹ de nitrogênio, 600 kg⁻¹ de superfosfato simples e 300 kg⁻¹ de cloreto de potássio, no qual, após aplicação sobre os canteiros da olerícola, se faz uma leve incorporação. Aplicações na base são realizadas para o segundo e terceiro plantios, com a eliminação dos restos culturais do primeiro plantio e descompactação das covas, onde são inseridos substratos (200 g) e mais 10 g de adubo formulado (YURI et al., 2016).

A aplicação de calcário normalmente ocorre com antecedência de 30 a 90 dias conforme o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT). Recomenda-se elevar a saturação de bases a 80%, porém o teor de magnésio deverá encontrar com um mínimo de 9 mmol_c dm⁻³. Para adubação orgânica, recomenda-se, de 30 a 40 dias antes do plantio, incorporar ao solo 40 a 60 t ha⁻¹ de esterco bovino curtido ou composto orgânico; também pode-se aplicar 1/4 a 1/5 dessas quantidades de húmus minhoca, esterco de suínos, frangos, equinos, ovinos e caprinos (TRANI et al., 2014).

3.2 Calcário na agricultura

Aplicações com calcário começaram a ser executadas pelos romanos, a fim de reduzir a acidificação dos solos (CONNOR et al. 2011). Com isso, a calagem de solos agrícolas tornou-se amplamente difundida, pois é uma prática mundialmente utilizada, sendo que as principais áreas de solos corrigidos encontram-se nas regiões tropicais e subtropicais (PARADELO et al., 2015). As correções normalmente são realizadas por meio de produtos: calcários calcíticos e calcários dolomíticos. Os Calcários calcíticos são recomendados para solos com baixos teores de cálcio (Ca), mas com bons teores de magnésio (Mg). Todavia, a recomendação de calcário dolomítico é realizada em solos com deficiência nas concentrações de Ca e Mg. Porém, a utilização frequente do corretivo poderá ocasionar a redução na disponibilidade de potássio (K); por isso, se faz necessário desferir uma quantidade ideal do fertilizante na solução do solo a cada recomendação (GOULDING, 2016).

Análises e caracterizações de solo são essenciais para o manejo de solos ácidos, pois garantem corretas aplicações de calcário, resultando em produções de safras mais eficientes e produtivas (BEHERA; SHUKLA, 2014). Este corretivo agrícola apresenta baixa solubilidade e, por este motivo, incorpora-se ao solo por meio de

métodos convencionais, como aração e gradagem (TIRITAN et al., 2016). Segundo Lollato et al. (2013), as aplicações de calcário estão entre os tratamentos mais eficientes para aumentar o pH do solo, auxiliando na redução do alumínio trocável (Al) e do alumínio saturado (Al_{sat}), aumentando os níveis de cátions trocáveis no perfil deste. Para Chintala et al. (2012), a união de fertilizantes e corretivos agrícolas é uma importante forma de manejo, possibilitando a restauração e o equilíbrio das concentrações de cátions e ânions na solução do solo, promovendo, assim, o crescimento das plantas.

Outro benefício do corretivo com relação à agricultura, principalmente em Latossolos, está no aumento do aporte de matéria orgânica, pois quando este encontra-se misturado com fosfogesso, aumenta a disponibilidade de nitrogênio (N), bem como a formação e a estabilização húmica, ácido húmico e ácido flúvico, resultando no aumento da proporção de carbono (C), bem como substâncias húmicas, gerando a melhoria da fertilidade química e altos consumos de resíduos orgânicos (CARMEIS et al., 2017).

As maiores disponibilidades de carbono orgânico no solo podem ser determinadas conforme a calagem deste, resultando em maior produtividade vegetal (PARADELO et al., 2015). Inagaki et al. (2016) relatam que aplicações de calcário em superfície sem incorporação no solo são eficazes para aumento de carbono orgânico, enquanto que calcário com manejo de incorporação no solo produzem mudanças nas camadas mais profundas, tonando-se uma eficiente estratégia para melhoria de atividades biológicas em solos intemperados, com aumento de estoque de carbono e produtividade agrônômica.

3.2.1 Cálcio nas plantas

O íon cálcio (Ca^{+2}) desempenha a função de segundo mensageiro intracelular oblíquo, o qual é consumido por animais, plantas e microrganismo, ligando-se a estímulos extracelulares a respostas intracelulares características, além de gerenciar diversos processos endógenos (EDEL et al., 2017). Este é absorvido pelo sistema radicular das plantas e imediatamente é transportado para partes aéreas por meio do xilema, sendo controlado na maioria das culturas pelo fluxo de transpiração (GILLIHAM et al., 2011; PAIVA, 2019). O macronutriente é responsável por processos essenciais bioquímica e fisiologicamente. A translocação deste nas células eucarióticas do citosol para organelas e demais compartimentos extracelulares tem como finalidade manter as concentrações citoplasmáticas baixas (~ 100 nM) de Ca^{+2} livres.

Quando as concentrações do nutriente via apoplástico (extracelular) são mais altas que níveis citoplasmáticos (mais de 1nM), ocorrendo diferença entre eles, resulta

em sinais por mudanças rápidas nas plantas. Essas alterações são identificadas pelas proteínas sensoras de Ca^{+2} , nas quais ativam as rotas de transdução de sinais a jusante (sinalização do nutriente) (NOMURA; SHIINA, 2014).

Basicamente, as plantas consomem cálcio a fim de fortalecer a parede celular, auxiliando na neutralização dos ânions vasculares e no abastecimento da proteção contra o estresse (TANG; LUAN, 2017). Na parede celular, o nutriente é essencial na reticulação de resíduos da pectina ácida; porém, na membrana celular, a concentração deste é baixa, aumentando, assim, a permeabilidade da membrana plasmática (HEPLER, 2005). Algumas organelas servem como um reservatório de cálcio nas plantas, como o vacúolo, o retículo endoplasmático, as mitocôndrias, entre outros, e por isso contêm altas concentrações do nutriente (WANG et al., 2018), o qual é liberado em situações não normais, como estresses abióticos.

De acordo com Yang et al. (2017), a sinalização de cálcio pode ter um importante papel em relação a respostas ambientais e imunológicas nas plantas. Logo, a manipulação de plantas com genes codificadores de proteínas quinase pelas vias de sinalização (CBL e CIPKS) de cálcio nos quais apresentem interação, conforme Kennedy et al. (2015), é capaz de formar uma gama de sinalização do nutriente de maneira flexível, tendo como função a melhoria na tolerância aos estresses abióticos nas plantas.

Para as plantas, o Ca^{+2} é essencial, pois, basicamente, é responsável pelo seu crescimento e desenvolvimento, principalmente da raiz e pontas do caule. Como estas são meristemáticas, sendo que a divisão celular ocorre por mitose, o nutriente auxiliará na formação de microtúbulos, sendo fundamentais para a movimentação anafásica dos cromossomos (TUTEJA; MAHAJAN, 2007). Por este motivo, que a deficiência do macronutriente gera plantas com tecidos do sistema radicular atrofiados e folhas com colorações alteradas (MARSCHNER, 1986; TUTEJA; MAHAJAN, 2007).

No caso de cultivares de alface, a falta de cálcio pode ocasionar queimadura de bico nas folhas (Tipburn), isso porque a deficiência do nutriente nas folhas internas resulta em um rápido crescimento, favorecendo, assim, o desenvolvimento frequente deste sintoma, principalmente em presença de luz artificial (SAGO, 2016). Nas plantas olerícolas, como alface e tomate, o nutriente auxilia na melhoria e na qualidade destes, garantindo maior “vida de prateleira” em mercados.

Segundo Abbasi et al. (2013), aumentos nas doses de cálcio, em cultivares de tomate, aumentaram o número de plantas saudáveis, bem como a redução do apodrecimento da extremidade da flor, resultando em maiores crescimento e tempo de vida útil do fruto. Todavia Nomura e Shina (2014) ressaltam que altas concentrações desde nutriente nas plantas poderá ser tóxico para as células, isso porque, junto com o

fósforo, são capazes de formar um precipitado insolúvel, denominado fosfato de cálcio, que irá interferir no metabolismo do ácido nucleico.

3.3 Silicato na agricultura

O uso de fertilizantes com silicato surgiu antes mesmo do homem ter noção da existência e da importância desse elemento para as plantas. Há milhares de anos, os camponeses chineses e romanos já utilizavam as cinzas dos cereais para fertilizar os campos de cultivo, sendo uma prática incentivada pelos sábios da época, como Virgílio (Publius Vergilius Maro, 70 - 19 a.C.). Um dos fatores que causam efeitos favoráveis com relação à mistura dessas cinzas, aos solos depauperados, é a capacidade das plantas de acumular altos teores de sílica em seus tecidos (LIMA, 2009). No início do século XIX, o silício foi encontrado em concentrações significativas nas plantas.

Mesmo com a abundante literatura que demonstra seus benefícios na agricultura, este normalmente não é considerado um elemento essencial (GUNTZER et al., 2011). Conforme Bélanger et al. (1995) e Lima (2009), nossos ancestrais, por meio da sabedoria empírica, passada de geração em geração, utilizavam extratos de cavalinha (*Equisetum arvense L.*) para combater doenças em suas plantações, pois esta planta é riquíssima em silício, sem o qual conseguiria sobreviver.

Uma boa fonte de silício para fins agrícolas necessita que um alto conteúdo deste esteja disponível, além de sua facilidade para aplicação mecanizada, boas relações e quantidades de cálcio e magnésio (KORNDORFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002; REIS et al., 2007) baixo custo e ausência de potencial de contaminação. Para isso, segundo Reis et al. (2007), faz-se necessário investigar e identificar as fontes promissoras do elemento e o efeito de suas reações com ácidos orgânicos. Caires e Joris (2016) relatam que aplicações de silicatos de cálcio e magnésio também podem ser utilizadas como corretivos para acidez, por meio do beneficiamento de rochas moídas (Figura 1) aplicadas sobre o solo. Esta técnica vem sendo empregada desde os primórdios da agricultura; todavia, o tema tem se desenvolvido com maior velocidade no Brasil após a crise do setor de fertilizantes que ocorreu no ano de 2008.



Figura 1 Rochas de silício (esquerda) e silicato de cálcio e magnésio (direita) extraído das rochas.

Fonte: Daiane Oliveira.

Observa-se na literatura que pesquisas com rochas moídas, principalmente as classificadas como silicatadas, têm sido estudadas como fonte de potássio (FELISBERTO, 2014). Cerca de 80% dos minerais de rochas ígneas e metamórficas são silicatadas; porém, em rochas sedimentares o conteúdo é menor. (REIS et al., 2007).

O silício ganhou destaque industrial no século XX, devido às suas propriedades semicondutoras e seu preço baixo (FILGUEIRAS, 2007) – por este motivo, no Brasil as fontes mais abundantes e de baixo custo de materiais silicatos são as escórias de siderurgia (PRADO; FERNANDES, 2001). No país, o nutriente foi incluído na Legislação por volta do ano de 2011, para a Produção e Comercialização de Fertilizantes e Corretivos como micronutriente benéfico às plantas, podendo ser comercializado isoladamente ou em misturas com outros nutrientes (RODRIGUES et al., 2011).

Assim como a fertilização com silicatos oriundos de escórias siderúrgicas, aplicações com silício por meio de silicatos naturais também têm o potencial de suavizar os estresses ambientais e a depleção de nutrientes no solo, o que, conseqüentemente, é uma alternativa ao uso extensivo de fertilizantes fitossanitários, nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) para manter a agricultura sustentável (GUNTZER et al., 2011). Isso se dá porque aplicações de silicato de cálcio e magnésio são eficazes no aumento do pH e da saturação de bases no solo (SOUZA et al., 2015), uma vez que o silicato é dissociado mais rapidamente que a cal, estabelecendo uma frente de alcalinização e aumentando o pH do solo em camadas mais profundas por um período mais curto que a cal (CASTRO; CRUSCIOL, 2015).

Os benefícios da fertilização com o elemento podem incluir maior produtividade, resistência a doenças e insetos, bem como a tolerância contra frio, seca e metais

pesados (HECKMAN; WOLF, 2011). Consequentemente, com o rendimento das culturas, a demanda por alimentos poderá ser atendida em área reduzida, resultando em menos desmatamento e até regeneração das florestas em fazendas marginais abandonadas (EDWARDS et al., 2017).

3.3.1 Silício nas plantas

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na atmosfera, ficando atrás somente do oxigênio (MA; YAMJI, 2006). Este é liberado no ambiente por meio do intemperismo de rochas silicatadas, sendo que nas plantas o Si ativa as respostas de aclimatação contra estresses abióticos. Com isso, a tolerância melhorada nas culturas em relação a estresses ambientais deve-se à presença deste elemento no solo, o qual será absorvida pelas plantas, causando, assim, vários efeitos positivos (FAROOQ; DIETZ, 2015).

No perfil do solo, normalmente o nutriente encontra-se nas formas de silicatos, quartzo, dióxido de silício (SiO_2), biogênico (conhecido como fitólitos e diatomáceas) e gel sílica (SOMMER et al., 2006; YU et al., 2016). Após ser absorvido pelo sistema radicular na forma de ácido silícico [$\text{Si}(\text{OH})_4$] (MA; YAMJI, 2006), nas plantas o Si tem função de auxiliar no crescimento destas, formando uma barreira físico-mecânica (PARVEEN; ASHRAF, 2010).

O nutriente é classificado por alguns pesquisadores como: acumuladores de baixas concentrações de Si, nos quais as plantas, como dicotiledôneas, absorvem menos que 0,1% do seu peso seco; acumuladores intermediários, como é o caso das cultivares da família Curcubitaceae e algumas monocotiledôneas, com concentração do elemento em torno de 1% do seu peso seco; e, por último, os acumuladores de altas concentrações de Si, com absorção de até 5% (DESHMUKH; BÉLANGER, 2015).

Geralmente os efeitos regulatórios do elemento podem auxiliar as plantas com relação a sua tolerância à salinidade, metais pesados e sua toxicidade, seca, frio, estresse por chuva ácida, radiação ultravioleta, hipóxia e deficiência de nutrientes. Esse processo dependerá da absorção do Si pelas cultivares, bem como a nutrição destas (ZHU et al., 2019) no qual garantirá melhor desempenho e desenvolvimento. Além de melhorar a resistência das plantas, o nutriente também tem efeito positivo na redução de reativos de oxigênio, juntamente com a neutralização dos efeitos depreciativos do estresse hídrico no crescimento, rendimento e compatibilidade entre o conteúdo de água, os pigmentos da planta e a degradação de proteínas (HELALY et al., 2017).

Todavia, nas plantas este nutriente é considerado como não essencial para o crescimento e o desenvolvimento (LUYCKX et al., 2015), mesmo sendo responsável

pela formação de uma dupla camada de Si na epiderme das cultivares (YOSHIDA et al.; 2012). Com isso, o nutriente acarreta benefícios para as plantas como resistência a pragas e doenças, por meio da formação de barreiras físicas, tanto em monocotiledôneas quanto em dicotiledôneas, isso porque este desempenha rigidez às cultivares, impactando, assim, no comportamento alimentar e conseqüentemente no desenvolvimento dos insetos (ALHOUSARI; GREGER, 2018).

Outra vantagem da absorção de Si pelas cultivares envolve condições de estresses hídricos ocasionados por fatores ambientais, ou seja, aplicações do elemento são capazes moderar as propriedades hidráulicas das plantas, aumentando, assim, a absorção de água pelo sistema radicular e reduzindo, então, a perda de água em situações de deficiência hídrica. Os mecanismos-chaves para o aumento das absorções de água na raiz das cultivares com aplicação de Si, em condições de estresse hídrico, envolvem o aumento da força motriz osmótica por meio da via osmótica ativa, resultando na melhoria da movimentação e do transporte de aquaporina em níveis transcricional e pós-transcricional, auxiliando no desenvolvimento e no crescimento do sistema radicular, devido ao aumento da proporção raiz/parte aérea (CHEN et al., 2018).

Ferreira et al. (2010) observaram que a aplicação de silicato de cálcio em cultivares de alface (*Lactuca sativa*) reduziu a porcentagem de folhas senescentes e doentes. Todavia, os mesmos autores verificaram que as cultivares de alface plantadas não são acumuladoras de Si. Já em experimentos conduzidos por Andrade et al. (2016), os autores constaram que o conteúdo de Si nas cultivares Elisa e Romaine provavelmente era influenciado pela genética destas e não pelo silicato de cálcio e magnésio. Para Kleiber et al. (2015), em experimentos realizados com alface cultivada sob estresse de manganês, os pesquisadores notaram que a aplicação de sílica (como fonte de silício disponível) melhorou significativamente o crescimento e o rendimento das plantas. A nutrição com o elemento também mudou significativamente o estado nutricional das plantas.

3.4 Nematoides

Os nematoides são parasitas que podem ser classificados conforme sua localização, ou seja, nematoides que se fixam e se alimentam de células na superfície externa das raízes são chamados de ectoparasitas. Todavia, existem parasitas que se fixam e se alimentam das células nas regiões internas das plantas, sendo denominados de endoparasitas – tudo irá depender de como estes se movimentam dentro da raiz. Aqueles que possuem liberdade de se deslocar para dentro ou fora do sistema radicular são classificados como migratórios (Phytonematoides), porém outros que se

estabelecem no local de alimentação são denominados sedentários (PERRY; WRIGHT, 1998; CAMPOS, 2020).

A espécie *Meloidogyne*, por exemplo, é um endoparasita sedentário que forma galhas (inchaço) nas raízes das plantas. Estas apresentam formas de ganchos, e normalmente são encontradas nas pontas das raízes. Causam alterações do sistema vascular das raízes, por meio da interrupção do transporte de água e nutrientes, acarretando no atrofiamento, clorose e perda de vigor, ocasionando em crescimento e reprodução deficientes das plantas com perdas significativas na produtividade final (MANTELIN et al., 2017).

A reprodução da espécie *M. javanica* (Figura 2) acontece por meio de uma massa de ovos gelatinosa, a qual é exposta para fora das raízes infectadas, devido ao alargamento da fêmea (fase J4, com formato de pera), em que a porção do corpo que se encontra para fora das galhas pode se proteger, a fim de que ovos possam ficar mais acessíveis para a rizosfera, até o momento da eclosão. Todavia, esta massa de ovos na espécie não representa uma forma resistente, como os nematoides do cisto (*Heterodora glycines*).

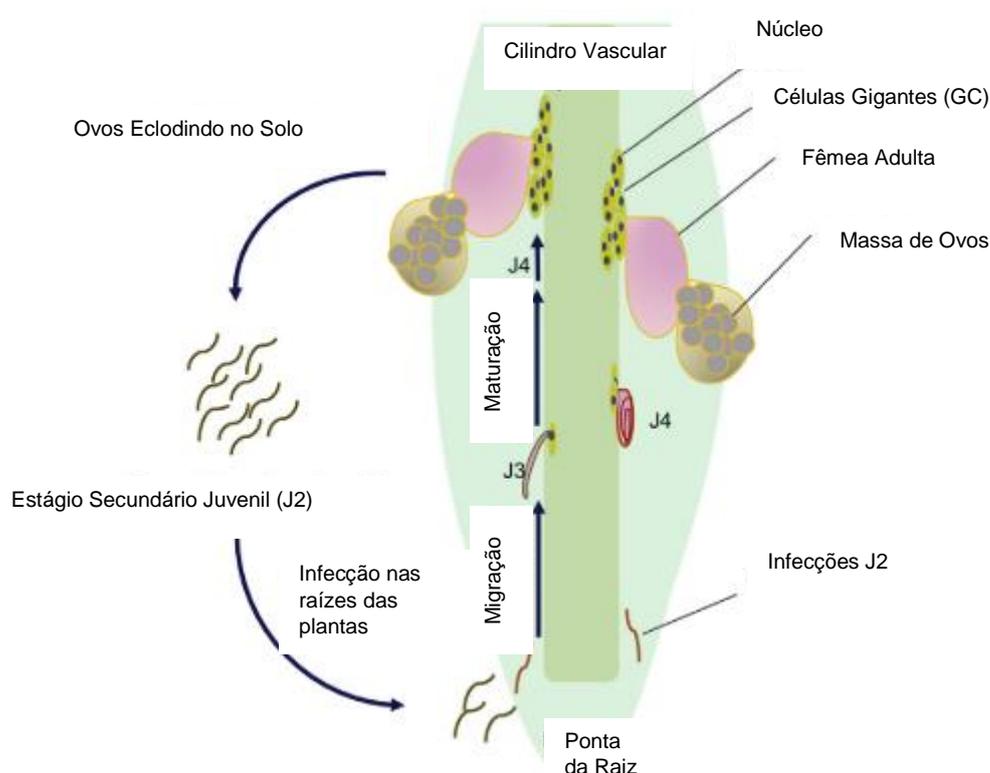


Figura 2 Ciclo de vida dos nematoides: massa de ovos, crescimento, eclosão, migração na raiz, desenvolvimento, fase adulta e reprodução.
Fonte: Ibrahim et al. (2019).

A transição da fase J1 para a J2 ocorrem dentro da massa de ovos. Nesta fase ocorre a eclosão (ESCOBAR et al., 2015), depois os juvenis (J2) aderem ao sistema radicular (próximas às pontas da raiz, pois são mais suscetíveis) e migram intracelularmente em sentido aos feixes vasculares, região na qual irão estabelecer sua alimentação permanente (J3 e J4). Nos locais de alimentação ocorre a formação de células gigantes multinucleadas, posteriormente denominadas de galhas ou nós das raízes. Basicamente nessas regiões os nematoides se alimentarão e se desenvolverão (IBRAHIM et al. 2019).

O aparecimento das galhas no sistema radicular das plantas é um dos primeiros sintomas visíveis; logo após, observa-se o retardamento no crescimento, além da deficiência de nutrientes aparentes nas folhas, especialmente o nitrogênio, características de plantas infectadas pelas espécies de *Meloidogyne* (SIDDIQUI et al., 2001). Normalmente a cultura apresenta sinais de nanismo, murcha, tornando-se mais suscetível (FAIRBAIRN et al., 2007) ao ataque de insetos pragas e doenças bacterianas, fúngicas e viroses.

Para o controle de nematoides, muitos agricultores recorrem a diversos manejos, como a utilização de métodos regulatórios, físicos, químicos, culturais e biológicos; porém, estas medidas, possuem uma ou outra limitação. No caso, de tratamentos químicos, com nematicidas, que é um dos manejos mais empregados para controle dos nematoides de galhas, o alto custo benefício dos produtos, bem como a indisponibilidade de nematicidas convencionais, além da conscientização da comunidade a nível mundial com relação à poluição do meio ambiente e possíveis riscos à saúde com relação ao uso de produtos químicos, tem ocorrido um aumento das pesquisas com usos alternativos e viáveis para o controle desses patógenos (MUKHTAR et al., 2017).

Uma das alternativas para controle de *Meloidogyne javanica* são medidas culturais, com a implantação de um sistema de rotação de culturas, com cultivares alternativas não hospedeiras, tornando-se, assim, um manejo eficiente e com bom retorno econômico para os agricultores (RAMI et al., 2016). A utilização de cultivares resistentes, com culturas alternadas com diferentes espécies de plantas, suprimem a taxa de crescimento populacional de nematoides, resultando, assim, na diminuição das perdas de colheita (EXPÓSITO et al., 2018) e, conseqüentemente, no aumento da produtividade.

Em alguns casos, os agricultores empregam o manejo físico para controle da espécie *Meloidogyne*, por meio de inundações das áreas infectadas (SEID et al., 2015). A biosolarização do solo é uma estratégia eficaz para o controle de patógenos disseminados pelo solo, o qual garante melhoria nas propriedades físicas, químicas e

biológicas deste, por meio da incorporação de aditivos orgânicos combinados com lona plástica no solo em temperaturas moderadas (LARREGLA et al., 2015).

Outro controle utilizado é o biológico, pois é um método ecológico e sustentável, com a finalidade de reduzir as densidades populacionais de patógenos a nível tolerável, ou seja, não prejudicial para as culturas, devido a organismos antagônicos ou inimigos naturais (MARCELINO et al. 2020). De acordo Zhou et al. (2016), em um experimento na cultura do tomate com tratamento biológico, os autores observaram que em cada uma das 19 cepas bacterianas (como, por exemplo, *Bacillus methylophilicus* R2-2 e *Lysobacter antibioticus* 13-6, entre outras) expressaram atividade nematicida, com cerca de 65% de mortalidade das fases juvenis da espécie *M. incognita*. Já Sahebani e Gholamrezaee (2021) constataram que a utilização de bactérias da espécie *Pseudomonas fluorescens* foi responsável pela redução do número de galhas, de postura por planta e número de ovos por massa de ovos individuais nas plantas de tomate e de pepino infectadas por nematoide da espécie *M. javanica*.

3.4.1 Nematoides na cultura da alface

Plantas com raiz saudável e com boa qualidade resultam em olerícolas mais vigorosas e conseqüentemente mais produtivas. Porém, patógenos como nematoides causam sérios danos às culturas e não devem ultrapassar densidades de 1.308 nematoides, principalmente da espécie *Pratylenchus* sp. (CLAERBOUT et al., 2020). Por sua vez, plantas infectadas com nematoides das galhas (*M. incognita* ou *M. javanica*) apresentam sintomas de nanismo no sistema radicular, resultando em padrões de crescimento desiguais, originando em produção de cabeças de alface de tamanho pequeno e soltas, tendo como conseqüência a sua não comercialização.

É possível verificar nas raízes das cultivares aparecimento de galhas grandes e diferentes (Figura 3), não sendo eficientes na captação de água e nutrientes essenciais para o crescimento adequado (ZHANG et al., 2010), pois o número de nematoides poderá causar uma redução no crescimento e na produção de cultivares de alface (RAID, 2004).



Figura 3 Formação de galhas no sistema radicular de alfaces da cultivar Regina.
Fonte: Daiane Oliveira.

Com a finalidade de se obter o controle dos nematoides das galhas, da espécie *Meloidogyne spp.*, muitos agricultores têm optado pelo cultivo com cultivares resistentes a este patógeno. Em experimento realizado por Correia et al. (2019), observou-se que cultivares do grupo de alfaces americana (Calona, Desert Queen, Challenge, Classic, Ithaca, L-104, IP-11, Raider Plus, RS -1397, Salinas 88 e Vanguard 75) apresentaram maior controle com relação à raça 1 e 2 de *Meloidogyne incognita*.

Os mesmos autores também observaram que as demais cultivares obtiveram resistência para apenas uma das duas raças, ou seja, para a raça 2 da espécie do nematoide, somente as cultivares Lady, Robinson e Winterset foram eficientes; todavia, as mesmas foram suscetíveis para raça 1. Já as alfaces Bnondaga, Lucy Brown, Raider, Sonoma, Summer Time, Sundevil, Tainá e L-109 não apresentaram resultado satisfatório com relação às duas raças de nematoides; portanto, os autores consideraram suscetíveis. Quando testadas as mesmas cultivares com relação à resistência ao *M. javanica*, todas apresentaram resultados satisfatórios.

Além da utilização das plantas resistentes e não hospedeiras, com o intuito de reduzir as aplicações com produtos químicos, muitos pesquisadores buscam trabalhar com manejos alternativos. Segundo Arieira et al. (2015), compostos orgânicos de bokashi (fermentação de farinhas) e de torta de crambe (originárias de plantas de crambe) são eficientes para reduzir significativamente populações de nematoides da espécie *M. incognita*, além de aumentarem o desenvolvimento de alface, mediante condições controladas.

O controle biológico, também torna-se interessante para produções de olerícolas. Conforme Podesta et al. (2016), tratamentos do solo com aplicações de fungos da espécie *Pochonia chlamidosporia* antes do transplante de cultivares de alface são eficientes no controle da densidade populacional de nematoides das galhas, com redução do número de galhas por raiz e, conseqüentemente, redução do número de ovos.

3.5 Clorofila

A clorofila (Chl) é a molécula essencial para a produção de fotossíntese nas plantas; por sua vez, este é processo básico para a circulação de energia na natureza (PAVLOVIĆ et al., 2014). As clorofilas a e b são moléculas tetrapirrol em maior abundância para as plantas, tornando-se fundamentais para a fotossíntese (MASUDA, 2008). Estas estão localizadas dentro dos cloroplastos (AGATHOKLEOUS et al., 2020) e representam as principais moléculas envolvidas na absorção e na transformação de energia luminosa em energia química, ou seja, absorvem energia luminosa que chega às folhas de maneira bastante eficiente. Todavia, a luz excede os requisitos da fotoquímica e, com isso, a complexidade dos fotossistemas é essencial para modular e dissipar o excesso de energia de excitação (GUIDI et al., 2017).

As moléculas de Chl exercem importantes funções nas plantas: além de captar a luz solar, em alguns frutos a cor compõe um dos parâmetros mais importantes na avaliação da qualidade pós-colheita, provendo, assim, informações como grau de amadurecimento, estado de conservação e nutrição mineral. Mudanças na pigmentação são importantes para a qualidade de folhosas, já que as perdas de clorofila constituem um fator de grande importância na qualidade de produtos minimamente processados durante o período em que estão expostos nas prateleiras (SILVA et al. 2007).

A quantidade de Chl em uma folha geralmente é expressa em concentração ($\mu\text{g Chl g}^{-1}$ de tecido) ou conteúdo ($\mu\text{g de Chl cm}^{-2}$ de tecido), sendo que a preferência por um ou outro dependerá dos objetivos do pesquisador. A concentração ou o conteúdo é expresso em moles por quantidade de massa ou área foliar; portanto, as taxas de fluxo de fótons e assimilação de carbono são expressas em unidades semelhantes, permitindo, assim, uma melhor compreensão dos processos fisiológicos (RICHARDSON et al., 2002), sendo que para se estimar o crescimento das culturas o teor de Chl é um indicador primordial (LIANG et al., 2016). Estas são bastante utilizadas como antioxidantes e pigmentos, pois quando utilizadas na atividade antioxidante pode-se observar derivados como protoporfirino/metilesterase e compostos quelados com

Mg²⁺, os quais podem substituir pigmentos sintéticos, contribuindo para a produção de alimentos saudáveis (STREIT et al., 2005).

Segundo Agathokleous et al. (2020), a necessidade de manter as clorofilas saudáveis é apontada pelas funções dos cloroplastos, que têm como finalidade a proteção destas. Os autores ainda relatam que baixos níveis de estresse estimulam a Chl, permitindo, assim, que as plantas enfrentem desafios ambientais em uma determinada janela de tempo, podendo ser componentes principais da biologia do estresse. Por este motivo, alguns estudos utilizam-se de métodos como a fluorescência da clorofila, conforme relatado por Pavlović et al. (2014), como, por exemplo, para a fotossíntese *in situ* e *in vivo*, a fim de estimar o impacto de vários fatores de estresse (abióticos, bióticos, xenobióticos). Este processo também permite diferenciar genótipos de plantas resistentes aos fatores estressantes ambientais e avaliar o impacto positivo de vários procedimentos agrícolas na fitossanidade destas, como minerais de nutrição, uso de agroquímicos, entre outros.

3.6 Carotenoides

Muitos alimentos de colorações amarela, laranja ou vermelhas (devido aos carotenoides) são frequentemente utilizados há milhares de anos. Alguns, como tomate, urucum, pimentão *Capsicum* e milho, são nativos das Américas e, por sua vez, não eram encontrados no Velho Mundo, sendo que posteriormente foram introduzidos na Europa no início do século XVI. Todavia, só por volta de 200 anos depois, foi identificado que as cores eram correspondentes à presença de substâncias amarelas e lipossolúveis (lipocromos ou cromolipóides), as quais podiam ser extraídas com solventes orgânicos (BRITTON, 2020). Os carotenoides são pigmentos coloridos e lipossolúveis (MILANI et al., 2016), pertencentes à família dos tetraterpenos, sendo constituídos de mais de 600 variantes estruturais naturais afamadas. Estes são condensados por fungos, bactérias, algas e plantas.

Já em animais e humanos, os carotenoides podem ou não fazer parte de sua dieta. O fitoeno (formação do esqueleto tetraterpenos) é resultante da perda de um próton, gerando uma dupla ligação no centro da molécula (TAPIERO et al., 2004). Os carotenoides podem ser divididos em hidrocarbonetos, como o licopeno, β -caroteno, xantofilas (estas são carotenoides que contêm oxigênio), β -criptoxantina, zeaxantina e luteína com grupos de hidroxila, nos quais as cantaxantinas que contêm carbonil, e a astaxantina que contém hidroxil (EL-AGAMEY et al., 2004). Estes participam da captação de luz em sistemas fotossintéticos e, por isso, são fundamentais na fotoproteção; já em organismos e tecidos não fotossintetizantes, estes apresentam

papel como pigmentos da faixa amarela e do vermelho (CONCEPCION et al., 2018). As indústrias de saúde e nutracêuticos utilizam-se de uma ampla gama de aplicações de carotenoides – isso porque este auxilia na melhoria da qualidade dos alimentos, fato que tem levado a um aumento na demanda destes no mercado global (SATHASIVAM; KI, 2018).

Os efeitos benéficos de frutas e verduras com abundância de carotenoides no que se refere à prevenção de câncer foram encontrados em vários estudos epidemiológicos (TANAKA et al., 2012). A diminuição de diversas doenças crônicas, e até mesmo o câncer, tem sido associada a concentrações de licopeno (MEIN et al., 2008). Conforme Pacher et al. (2007) e Galasso et al. (2017), os carotenoides possuem atribuições em diferentes níveis e diferentes maneiras, ou seja, eles podem atuar como supressores de oxigênio molecular singlete, além de prevenir a formação de radicais livres, por meio do bloqueio das reações de oxidação de radicais livre e a inibição da reação da cadeia de autoxidação.

Os autores ainda relatam que estes também são responsáveis pela conversão dos hidroperóxidos em compostos mais estáveis e pela conversão dos derivados de ferro e cobre (pró-oxidantes metálicos) em moléculas inofensivas, operando como quelantes metálicos. É por meio da dupla face que sua atuação nos processos fisiológicos e seus potenciais efeitos nocivos, com equilíbrio sobre as moléculas pró-oxidantes e antioxidantes no corpo humano, no qual é segurado por um sistema de regulação fina.

3.7 NDVI

A cada década que passa, ocorre um crescente aumento no monitoramento da dinâmica espaço-temporal da vegetação natural ou áreas agrícolas, por meio de imagens de satélite. Essas imagens permitem acompanhar o padrão de resposta de vegetação, pois são fontes consistentes de informações e representativas da variabilidade espacial, em escala regional e até continental (CORDEIRO et al., 2017). Dentre os mais utilizados, encontra-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o qual refere-se a uma aplicação de processos, por meio de operações matemáticas entre bandas de sensores satelitários (MELO et al., 2011).

Os valores de NDVI são medidos por meio do grau de reflectância, ou seja, utiliza-se a reflectância do vermelho e infravermelho – por isso que, quanto maiores as leituras do NDVI, maiores serão as diferenças entre a reflectância do infravermelho com o vermelho. Isso significa que maiores serão as quantidades de clorofila e matéria seca, resultando em uma planta com potencial mais produtivo (RISSINI et al., 2015).

Barták et al. (2018) relatam que os índices de reflectância espectral são frequentemente usados na fisiologia vegetal, com aplicações em diversas plantas. O sensoriamento remoto é uma das principais aplicações perante estudos de cobertura vegetal com ênfase na presença ou ausência de vegetação, com diferenciação entre espécies e regime hídrico nas plantas. Muitos modelos de vegetação espacial têm como base dados de imagens digitais, como espectrometria, fluorescência, medidas de distâncias ou térmicas, os quais se associam a algumas características das plantas.

A reflectância espectral das folhas das plantas modalizam-se na faixa do ultravioleta (UV), por meio da luz do visível e de comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho (IR), sendo considerada importante para cálculos de índices de vegetação (GLENN et al., 2008; FITZGERALD, 2010; AYALA et al., 2019). A reflectância do infravermelho próximo e do infravermelho são maiores que a reflectância do verde, sendo que esta última pode variar significativamente devido às condições ambientais; portanto, não pode fornecer informações precisas sobre o estresse das plantas (CHUNG et al., 2018).

Normalmente, valores de NDVI negativos indicam que o solo está coberto por água e neve, sendo um representativo de rochas ou solo descoberto. Porém, valores positivos são indicativos de vegetação. Logo, o mapeamento de cobertura do solo pode ser dividido em três categorias: água, solo descoberto ou edifícios e vegetação (ZHANG et al., 2020). Ghebrezgabher et al. (2020), avaliando as variações do NDVI nas respostas às mudanças climáticas no Chifre da África, relatam que de 2001 a 2013, com relação à cobertura de florestas, bosques e pastagens houve significativa redução, nos quais cerca de 0,4, 1,28 e 3,7%, respectivamente, foram perdidos. Porém, houve aumento nos arbustos e terras agrícolas, com cerca de 2 e 4%, respectivamente.

4 REFERÊNCIAS

ABBASI, N. A.; ZAFAR, L.; KHAN, H. A.; QURESHI, A. A. Effects of naphthalene acetic acid and calcium chloride application on nutrient uptake, growth, yield and post harvest performance of tomato fruit. **Pakistan Journal of Botany**, v. 45, n. 5, p. 1581-1587, 2013.

AGATHOKLEOUS, E.; FENG, Z. Z.; PEÑUELAS, J. Chlorophyll hormesis: are chlorophylls major components of stress biology in higher plants?. **Science of the Total Environment**, p. 138637, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138637>.

ALHOUSARI, F.; GREGER, M. Silicon and mechanisms of plant resistance to insect pests. **Plants**, v. 7, n. 2, p. 33, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants7020033>.

ARIEIRA, C. R. D.; MATTEI, D.; PUERARI, H. H.; RIBEIRO, R. C. F. Use of organic amendments in the management of root-knot nematode in lettuce. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 488-492, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-053620150000400013>.

AYALA, V. P. R.; PEÑA, J. M.; HÖGLIND, M.; GUEVARA, J. M. B.; ANDÚJAR, D. Comparing UAV-based technologies and RGB-D reconstruction methods for plant height and biomass monitoring on grass ley. **Sensors**, v. 19, n. 3, p. 535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19030535>.

BARTÁK, M.; HÁJEK, J.; MORKUSOVÁ, J.; SKÁCELOVÁ, K.; KOŠUTHOVÁ, A. Dehydration-induced changes in spectral reflectance indices and chlorophyll fluorescence of Antarctic lichens with different thallus color, and intrathalline photobiont. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 40, n. 10, p. 177, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-018-2751-3>

BARTLETT, M. S. Properties of sufficiency and statistical tests. **Proceedings of the Royal Society, Series A**, v.160, p.268–282, 1937.

BEHERA, S. K.; SHUKLA, A. K. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 1, p. 71-79, 2015. DOI: 10.1002/ldr.2306.

BÉLANGER, R. R.; BOWEN, P. A.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. of Greenhouse Crops. **Plant disease**, v. 79, n. 4, p. 329, 1995.

BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; GONTIJO, M. M. N.; SANTANA, D. P.; SOUSA, G. F.; SILVA, M. A.; SOUZA, C. H. E. Sistemas de cultivo de soja e milho na região do Alto Paranaíba-MG e resultados de avaliações na safra 2014/15. **Embrapa Milho e Sorgo- Documentos (INFOTECA-E)**, Sete Alagoas, p. 48, 2016.

BRITTON, G. Carotenoid research: History and new perspectives for chemistry in biological systems. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Molecular and Cell Biology of Lipids**, p. 158699, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2020.158699>.

CAIRES, E. F.; JORIS, H. A. W. Uso de corretivos granulados na agricultura. **IPNI – International Plant Nutrition Institute**, Piracicaba, n. 154, p. 17-21, 2016.

CAMPOS, M. A. S. Bioprotection by arbuscular mycorrhizal fungi in plants infected with *Meloidogyne* nematodes: a sustainable alternative. **Crop Protection**, p. 105203, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105203>.

CARMEIS, A. C. A. F.; PENN, C. J.; CRUSCIOL, C. A. C.; CALONEGO, J. Lime and phosphogypsum impacts on soil organic matter pools in a tropical Oxisol under long-term no-till conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 241, p. 11-23, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.027>.

CASTRO, G. S. A.; CRUSCIOL, C. A. C. Effects of surface application of dolomitic limestone and calcium-magnesium silicate on soybean and maize in rotation with green manure in a tropical region. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 311-321, 2015.

CHEN, D.; WANG, S.; YIN, L.; DENG, X. How does silicon mediate plant water uptake and loss under water deficiency?. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 281, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00281>.

CHINTALA, R.; MCDONALD, L. M.; BRYAN, W. B. Efeito da água e nutrientes do solo na produtividade do sistema bluegrass de Kentucky em solos ácidos. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n. 2, p. 288-303, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2012.636131>.

CHUNG, S.; BRESHEARS, L. E.; YOON, J. Y. Smartphone near infrared monitoring of plant stress. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 154, p. 93-98, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.08.046>.

CLAERBOUT, J.; VANDEVELDE, I.; VENNEMAN, S.; KIGOZI, A.; SUTTER, N.; NEUKERMANS, J.; BLEYAERT, P.; BERT, W.; HÖFTE, M.; VIAENE, N. A thorough study of a *Paratylenchus* sp. in glasshouse-grown lettuce: characterisation, population dynamics, host plants and damage threshold as keys to its integrated management. **Annals of Applied Biology**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12635>.

CONCEPCION, M. R.; AVALOS, J.; BONET, M. L.; BORONAT, A.; GOMEZ, L. G.; MENDEZ, D. H.; LIMON, M. C.; MARTÍNEZ, J. M.; ALONSO, B. O.; PALOU, A.; RIBOT, J.; RODRIGO, M.; ZACARIAS, L.; ZHU, C. A global perspective on carotenoids: metabolism, biotechnology, and benefits for nutrition and health. **Progress in Lipid Research**, v. 70, p. 62-93, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2018.04.004>.

CONNOR, D. J.; LOOMIS, R. S.; CASSMAN, K. G. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. Cambridge University Press, 2011.

CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W.; SHIMABUKURO, Y. E.; FIO, C. S. Regiões homogêneas de vegetação utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883-896, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828638>.

CORREIA, E. C. S. S.; SILVA, N.; COSTA, M. G. S.; WILCKEN, S. R. S. Response of lettuce cultivars to *Meloidogyne javanica* and *Meloidogyne incognita* race 1 and 2. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 1, p. 100-106, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20190012>.

DESHMUKH, R.; BÉLANGER, R. R. Molecular evolution of aquaporins and silicon influx in plants. **Functional Ecology**, v. 30, n. 8, p. 1277-1285, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12570>.

DOMINGUES, D. S.; TAKAHASHI, H. W.; CAMARA, C. A. P.; NIXDORF, S. L. Sistema automatizado desenvolvido para controle de pH e concentração de solução nutritiva avaliada na produção de alface hidropônica. **Computadores e Eletrônicos na Agricultura**, v. 84, p. 53-61, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.02.006>.

EDEL, K. H.; MARCHADIER, E.; BROWNLEE, C.; KUDLA, J.; HETHERINGTON, A. M. The evolution of calcium-based signalling in plants. **Current Biology**, v. 27, n. 13, p. R667-R679, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.020>.

EDWARDS, D. P.; LIM, F.; JAMES, R. H.; PEARCE, C. R.; SCHOLLES, J.; FRECKLETON, R. P.; BEERLING, D. Climate change mitigation: potential benefits and pitfalls of enhanced rock weathering in tropical agriculture. **Biology Letters**, v. 13, n. 4, p. 20160715, 2017.

EL-AGAMEY, A.; CANTRELL, A.; LAND, E. J.; MCGARVEY, D. J.; TRUSCOTT, T. G. Are dietary carotenoids beneficial? Reactions of carotenoids with oxy-radicals and singlet oxygen. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 3, n. 8, p. 802-811, 2004.

ESCOBAR, C.; BARCALA, M.; CABRERA, J.; FENOLL, C. Overview of root-knot nematodes and giant cells. **Advances in botanical research**, Academic Press, p. 1-32, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.abr.2015.01.001>.

EXPÓSITO, A.; GARCÍA, S.; GINÉ, A.; ESCUDERO, N.; SORRIBAS, F. J. Cucumis metuliferus reduces Meloidogyne incognita virulence against the Mi1. 2 resistance gene in a tomato–melon rotation sequence. **Pest management science**, v. 75, n. 7, p. 1902-1910, 2018. DOI: 10.1002/ps.5297.

FAIRBAIRN, D. J.; CAVALLARO, A. S.; IYER, J. M.; GRAHAM, M. W.; BOTELLA, J. R. Host-delivered RNAi: an effective strategy to silence genes in plant parasitic nematodes. **Planta**, v. 226, n. 6, p. 1525-1533, 2007. DOI: DOI 10.1007/s00425-007-0588-x.

FELISBERTO, G.; FEHR, R. M.; GODOY, L. J.G.; FELISBERTO, P. A. C. Filossilicatos: efeitos no crescimento e na nutrição de plantas de milho e no teor de silício do solo. **Agrarian Academy**, p. 60-71, 2014.

FERREIRA, L. L.; ANICETO, R. R.; MONTENEGRO, N. A.; RIBEIRO, T. S.; ALMEIDA, D. G.; PORTO, V. C. N. Comportamento de variedades de alface na semeadura de março no município de Areia-PB. **Scientia Plena**, v. 9, n. 4, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362011000400028>.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO, S. E. N.; MENDONÇA, V.; WADT, P. G. S. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa de vegetação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1093-1101, 2010.

FILGUEIRAS, O. Silício na agricultura. Mineral é usado para controlar pragas, aumentar produtividade e qualidade de produtos agrícolas. **Pesquisa Fapesp**, São Paulo, n. 140, p. 72-74, 2007.

FITZGERALD, G. J. Characterizing vegetation indices derived from active and passive sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 16, p. 4335-4348, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160903258217>.

FURLANI, P. R.; PURQUERIO, L. F. V. Avanços e desafios na nutrição de hortaliças. **Nutrição de plantas: diagnose foliar em hortaliças**, p. 45-62, 2010.

GALASSO, C.; CORINALDESI, C.; SANSONE, C. Carotenoids from marine organisms: Biological functions and industrial applications. **Antioxidants**, v. 6, n. 4, p. 96, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox6040096>.

GILLIHAM, M.; DAYOD, M.; HOCKING, B. J.; XU, B.; CONN, S. J.; KAISER, B. N.; LEIGH, R. A.; TYERMAN, S. D. Calcium delivery and storage in plant leaves: exploring the link with water flow. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 7, p. 2233-2250, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/err111>.

GHEBREZGABHER, M. G.; YANG, T.; YANG, X.; SEREKE, T. E. Assessment of NDVI variations in responses to climate change in the Horn of Africa. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.08.003>.

GLENN, E. P.; HUETE, A. R.; NAGLER, P. L.; NELSON, S. G. Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. **Sensors**, v. 8, n. 4, p. 2136-2160, 2008. DOI: <https://doi.org/10.3390/s8042136>.

GOULDING, K. W. T. Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom. **Soil use and management**, v. 32, n. 3, p. 390-399, 2016. DOI: 10.1111/sum.12270.

GUIDI, L.; TATTINI, M.; LANDI, M. How does chloroplast protect chlorophyll against excessive light. Chlorophyll, p. 21-36, 2017. In: LOPES, E. J.; ZEPKA, L. Q.; QUEIROZ, M. I. **Chlorophyll**, Londres, 2017.

HECKMAN, J.; WOLF, A. Recommended soil test for silicon. **Recommended soil testing procedures for the northeastern United States**, v. 3, 2011.

HELALY, M. N.; Hoseiny, H. E.; Sheery, N. I. E.; Rastogi, A.; Kalaji, H. M. Regulation and physiological role of silicon in alleviating drought stress of mango. **Plant physiology and biochemistry**, v. 118, p. 31-44, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.05.021>.

HEPLER, P. K. Calcium: a central regulator of plant growth and development. **The Plant Cell**, v. 17, n. 8, p. 2142-2155, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1105/tpc.105.032508>.

IBRAHIM, H. M. M.; AHMAD, E. M.; MEDINA, A. M.; ALY, M. A. Effective approaches to study the plant-root knot nematode interaction. **Plant physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 332-342, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.06.009>.

INAGAKI, T. M.; SÁ, J.C. M.; CAIRES, E. F.; GONÇALVES, D. R. P. Lime and gypsum application increases biological activity, carbon pools, and agronomic productivity in

highly weathered soil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 231, p. 156-165, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.034>.

KENNEDY, E. L. T.; JACOBS, A. K.; ROY, S. J. The role of the CBL–CIPK calcium signalling network in regulating ion transport in response to abiotic stress. **Plant Growth Regulation**, v. 76, n. 1, p. 3-12, 2015. DOI: 10.1007/s10725-015-0034-1.

KIM, M. J.; MOON, Y.; TOU, J. C.; MOU, B. N.; WATERLAND, L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 19-34, 2016. DOI: <https://doi.org.ez89.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.jfca.2016.03.004>.

KLEIBER, T.; KRZESIŃSKI, W.; PRZYGOCKA-CYNA, K.; SPIŻEWSKI, T. The response of hydroponically grown lettuce under Mn stress to differentiated application of silica sol. **Journal of Elementology**, v. 20, n. 3, 2015.

LARREGLA, S.; GUERRERO, M. M.; MENDARTE, S.; LACASA, A. Biodisinfestation with organic amendments for soil fatigue and soil-borne pathogens control in protected pepper crops. In: MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (Ed.). **Organic Amendments and Soil Suppressiveness in Plant Disease Management**. Springer, Cham, 2015. p. 437-456. DOI: 10.1007/978-3-319-23075-7_21.

LIANG, L.; QIN, Z.; ZHAO, S.; DI, L.; ZHANG, C.; DENG, M.; LIN, H.; ZHANG, L.; WANG, L.; LIU, Z. Estimating crop chlorophyll content with hyperspectral vegetation indices and the hybrid inversion method. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 13, p. 2923-2949, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2016.1186850>.

LIMA, O. F. História e uso do silicato de sódio na agricultura. **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2009.

LOLLATO, R. P.; EDWARDS, J. T.; ZHANG, H. Effect of alternative soil acidity amelioration strategies on soil pH distribution and wheat agronomic response. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 5, p. 1831-1841, 2013. DOI: 10.2136/sssaj2013.04.0129.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 411, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in plant science**, v. 11, n. 8, p. 392-397, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>.

MANTELIN, S.; BELLAFFIORE, S.; KYNDT, T. Meloidogyne graminicola: a major threat to rice agriculture. **Molecular plant pathology**, v. 18, n. 1, p. 3, 2017. DOI: 10.1111/mpp.12394.

MARCELINO, L. A.; GIVES, P. M.; TAWFEEQ, L. K. A. A.; ARELLANO, M. E. L. P.; RODRIGUEZ, O. G. M.; LUNA, E. V.; GUERRERO, D. E. R. Using molecular techniques applied to beneficial microorganisms as biotechnological tools for controlling agricultural plant pathogens and pest. In: SHARMA, V.; SALWAN, R.; TAWFEEQ, L. **Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture**. Academic Press, 2020. p. 333-349. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818469-1.00027-4>.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. London Academic Press, p. 252-254, 1986.

MASUDA, T. Recent overview of the Mg branch of the tetrapyrrole biosynthesis leading to chlorophylls. **Photosynthesis Research**, v. 96, n. 2, p. 121-143, 2008. DOI: 10.1007/s11120-008-9291-4.

MEIN, J. R.; LIAN, F.; WANG, X. D. Biological activity of lycopene metabolites: implications for cancer prevention. **Nutrition reviews**, v. 66, n. 12, p. 667-683, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00120.x>.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

MILANI, A.; BASIRNEJAD, M.; SHAHBAZI, S.; BOLHASSANI, A. Carotenoids: biochemistry, pharmacology and treatment. **British Journal of Pharmacology**, v. 174, n. 11, p. 1290-1324, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/bph.13625>.

MUKHTAR, T.; AROOJ, M.; ASHFAQ, M.; GULZAR, A. Resistance evaluation and host status of selected green gram germplasm against *Meloidogyne incognita*. **Crop Protection**, v. 92, p. 198-202, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.10.004>.

NETO, F. B.; BARROS, A. P. J.; SILVA, E. O.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, J. T.; NUNES, G. H. S. Qualidade nutricional de cenoura e alface cultivadas em Mossoró-RN em função da densidade populacional. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 4, p. 476-480, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362006000400016>

NOMURA, H.; SHIINA, T. Calcium signaling in plant endosymbiotic organelles: mechanism and role in physiology. **Molecular plant**, v. 7, n. 7, p. 1094-1104, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/mp/ssu020>.

PACHER, P.; BECKMAN, J. S.; LIAUDET, L. Nitric oxide and peroxynitrite in health and disease. **Physiological reviews**, v. 87, n. 1, p. 315-424, 2007. DOI: 10.1152/physrev.00029.2006.

PAVLOVIĆ, D.; NIKOLIĆ, B.; ĐUROVIĆ, S.; WAISI, H.; ANĐELKOVIĆ, A.; MARISAVLJEVIĆ, D. Chlorophyll as a measure of plant health: Agroecological aspects. **Pesticidi i fitomedicina**, v. 29, n. 1, p. 21-34, 2014. DOI: 10.2298/PIF1401021P.

PAIVA, E. A. S. Are calcium oxalate crystals a dynamic calcium store in plants?. **New Phytologist**, v. 223, n. 4, p. 1707-1711, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.15912>.

PARADELO, R.; VIRTO, I.; CHENU, C. Net effect of liming on soil organic carbon stocks: a review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 202, p. 98-107, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.01.005>.

PARVEEN, N.; ASHRAF, M. Role of silicon in mitigating the adverse effects of salt stress on growth and photosynthetic attributes of two maize (*Zea mays* L.) cultivars grown hydroponically. **Pakistan Journal of Botany**, v. 42, n. 3, p. 1675-1684, 2010.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.

PERRY, R. N.; WRIGHT D. J. The Physiology and Biochemistry of Free- Living and Plant- Parasitic Nematodes, **CABI Publishing**, London, UK, 1998.

PODESTA, G. S.; AMORA, D. X.; MAFFIA, L. A.; NASU, E. G. C.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. Effect of time between soil infestation with *Pochonia chlamidosporia* and planting on the efficacy of the fungus in managing *Meloidogyne javanica*. **Crop Protection**, v. 90, p. 77-83, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.029>.

RAID, R. N. Lettuce diseases and their management. In: NAQVI, S. A. M. H. (Ed.). **Diseases of Fruits and Vegetables: Volume II**. Springer, Dordrecht, p. 121-147, 2004.

RALMI, N. H. A. A.; KHANDAKE, M. M.; MAT, N. Occurrence and control of root knot nematode in crops: a review. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1649, 2016. DOI: [10.21475/ajcs.2016.10.12.p7444](https://doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.12.p7444).

REIS, T. H. P. GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIRE, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007.

RICHARDSON, A. D.; DUIGAN, S. P.; BERLYN, G. P. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content. **New phytologist**, v. 153, n. 1, p. 185-194, 2002.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENUÍ, A. M. Índice de vegetação por diferença normalizada e produtividade de cultivares de trigo submetidas a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcscs20140686>.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Jornal Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 134, p. 14-28, 2011.

SAGO, Y. Effects of light intensity and growth rate on tipburn development and leaf calcium concentration in butterhead lettuce. **HortScience**, v. 51, n. 9, p. 1087-1091, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI10668-16>.

SAHEBANI, N.; GHOLAMREZAEI, N. The biocontrol potential of *Pseudomonas fluorescens* CHA0 against root knot nematode (*Meloidogyne javanica*) is dependent on the plant species. **Biological Control**, v. 152, p. 104445, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104445>.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-05362012000200002>.

SANTOS, D.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, S. M.; ESPÍNOLA, J. E. F.; SOUZA, A. P. Produção comercial de cultivares de alface em Bananeiras. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 609-612, 2011.

SATHASIVAM, R.; KI, J. S. A review of the biological activities of microalgal carotenoids and their potential use in healthcare and cosmetic industries. **Marine drugs**, v. 16, n. 1, p. 26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/md16010026>.

SEID, A.; FININSA, C.; MEKETE, T.; DECRAEMER, W.; WESEMAEL, W. M. L. Tomato (*Solanum lycopersicum*) and root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) – a century-old battle. **Nematology**, v. 17, n. 9, p. 995-1009, 2015. DOI: 10.1163/15685411-00002935.

SIDDIQUI, Z. A.; IQBAL, A.; MAHMOOD, I. Effects of *Pseudomonas fluorescens* and fertilizers on the reproduction of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. **Applied Soil Ecology**, v. 16, n. 2, p. 179-185, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00083-4).

SOMMER, M.; KACZOREK, D.; KUZYAKOV, Y.; BREUER, J. Silicon pools and fluxes in soils and landscapes—a review. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 169, n. 3, p. 310-329, 2006. DOI: 10.1002/jpln.200521981.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

SILVA, J. M.; ONGARELLI, M. G.; AGUILA, J. S.; SASAKI, F. F.; KLUGE, R. A. Métodos de determinação de clorofila em alface e cebolinha minimamente processadas. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 8, n. 2, p. 53-59, 2007.

SOUZA, J. P. F.; MARTINS, G. L. M.; PEREIRA, A. C.; BINOTTI, F. F. S.; MARUYAMA, W. I. Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 13-17, 2015.

TANAKA, T.; SHNIMIZU, M.; MORIWAKI, H. Cancer chemoprevention by carotenoids. **Molecules**, v. 17, n. 3, p. 3202-3242, 2012. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules17033202>.

TANG, R. J.; LUAN, S. Regulation of calcium and magnesium homeostasis in plants: from transporters to signaling network. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 39, p. 97-105, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.06.009>.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D. M.; TEW, K. D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 58, n. 2, p. 100-110, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2003.12.006>.

TIRITAN, C. S.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C.; CARMEIS, A. C. A. F.; FERNANDES, D. M.; NASCENTE, A. S. Tillage system and lime application in a tropical region: Soil chemical fertility and corn yield in succession to degraded pastures. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 437-447, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.06.012>.

TRANI, P. E.; PURQUÉRIO, L. F. V.; FIGUEIREDO, G. J. B.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F. Calagem e adubação da alface, almeirão, agrião d'água, chicória, coentro, espinafre e rúcula. **Campinas: IAC**, 2014.

TUTEJA, N.; MAHAJAN, S. Calcium signaling network in plants: an overview. **Plant signaling & behavior**, v. 2, n. 2, p. 79-85, 2007. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.2.2.4176>.

WANG, X.; HAO, L.; ZHU, B.; JIANG, Z. Plant calcium signaling in response to potassium deficiency. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 11, p. 3456, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19113456>.

YANG, D. L.; SHI, Z.; BAO, Y.; YAN, J.; YANG, Z.; YU, H.; LI, Y.; GOU, M.; WANG, S.; ZOU, B.; XU, D.; MA, Z.; KIM, J.; HUA, J. Calcium pumps and interacting BON1 protein modulate calcium signature, stomatal closure, and plant immunity. **Plant Physiology**, v. 175, n. 1, p. 424-437, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.17.00495>.

YOSHIDA, S.; OHNISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in rice plant: III. The presence of cuticle-silica double layer in the epidermal tissue. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 1-5, 1962. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00380768.1962.10430982>.

YU, H. Y.; DING, X.; LI, F.; WANG, X.; ZHANG, S.; YI, J.; LIU, C.; XU, X.; WANG, Q. The availabilities of arsenic and cadmium in rice paddy fields from a mining area: the role of soil extractable and plant silicon. **Environmental Pollution**, v. 215, p. 258-265, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.04.008>.

YURI, J. E.; MOTE, J. H.; RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J. Nutrição e adubação da cultura da alface. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO, A. B. F. **Nutrição e adubação de hortaliças**. Jaboticabal, 2016. p. 559-577.

ZHANG, H.; MA, J.; CHEN, C.; TIAN, X. NDVI-Net: A fusion network for generating high-resolution normalized difference vegetation index in remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 168, p. 182-196, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjrs.2020.08.010>.

ZHANG, L. Y.; ZHANG, Y. Y.; CHEN, R. G.; ZHANG, J. H.; WANG, T. T.; LI, H. X.; YE, Z. B. Ectopic expression of the tomato Mi-1 gene confers resistance to root knot nematodes in lettuce (*Lactuca sativa*). **Plant molecular biology reporter**, v. 28, n. 2, p. 204-211, 2010. DOI: 10.1007/s11105-009-0143-y.

ZHOU, L.; YUEN, G.; WANG, Y.; WEI, L.; JI, G. Evaluation of bacterial biological control agents for control of root-knot nematode disease on tomato. **Crop Protection**, v. 84, p. 8-13, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.12.009>.

ZHU, Y. X.; GONG, H. J.; YIN, J. L. Role of silicon in mediating salt tolerance in plants: a review. **Plants**, v. 8, n. 6, p. 147, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants8060147>.

5 ARTIGO 1 - CONTROLE DE NEMATOIDES EM ALFACE COM APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E SILICATO

5.1 Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar o uso de calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio no controle da colonização de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica* no sistema radicular da alface Regina. O experimento foi conduzido em vasos de 5 litros em estufa, em um modelo de delineamento inteiramente casualizado, 4 x 12, ou seja, quatro tratamentos com doze repetições, para dois diferentes experimentos: silicato de cálcio e magnésio (0; 0,425; 0,850; e 1,28 g) e calcário dolomítico (0; 1,41; 2,83; e 4,25 g). Foram determinados os valores de altura de plantas, teor de matéria fresca e seca, teores de carotenoides, número de galhas, ovos de nematoides por raiz e ovos no solo. Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do Teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Foi realizada análise de regressão para os resultados significativos, determinando-se as equações de regressão. Quanto aos resultados obtidos, os tratamentos com aplicações de calcário obtiveram maior eficácia do que os tratamentos com silicato em relação à altura de plantas, teores de matéria fresca e seca, e carotenoides. O número de galhas, número de ovos por raiz e ovos no solo não apresentaram resultado significativo. Pode-se concluir que os tratamentos com calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio não foram efetivos para o controle da colonização de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica* na cultura de alface Regina (*Lactuca sativa*). Todavia, a aplicação com calcário garantiu uma média geral superior à média geral com aplicação de silicato para altura, teor matéria fresca e seca da parte aérea das plantas de alface. Com relação à concentração de carotenoides, observou-se que alguns tratamentos com silicato apresentaram teores superiores quando comparados com os tratamentos com calcário.

Palavras-chave: Carotenoides, Hortaliças, *Meloidogyne javanica*.

5 ARTICLE 1 - CONTROL OF LETHEMIC NEMATODES IN LETTUCE USING LIMESTONE AND SILICATE

5.1.1 Abstract

The objective of this work was to evaluate the use of dolomitic limestone and calcium and magnesium silicate to control colonization of *Meloidogyne javanica* nematodes in root system of Regina lettuce. The experiment was conducted in five-liter pots in an oven, in a completely randomized design, 4 x 12, that is, four treatments with twelve repetitions, for two different experiments: calcium and magnesium silicate (0; 0.425; 0.850; 1.28 g) and dolomitic limestone (0; 1.41; 2.83; 4.25 g). The values for plant height, fresh and dry matter content, carotenoids content, number of galls, root nematode eggs and eggs in the soil were determined. The data were submitted to analysis of variance through the F Test ($p < 0.05$) and the means were compared using the Tukey test at 5% probability. Regression analysis was performed for significant results, determining the regression equations. The treatments with limestone applications yielded higher efficacy than with silicate in relation to plant height, fresh and dry matter content, and carotenoids. Number of galls, number of eggs per root and eggs in soil did not show significant results. It can be concluded that treatments with dolomitic limestone calcium and magnesium silicate were not effective to control the colonization of nematodes of the species *Meloidogyne javanica* in Regina lettuce crop (*Lactuca sativa*). However, the application with limestone guaranteed an overall average higher than the general average with silicate application for height, fresh and dry matter content of the aerial part of the lettuce plants. Regarding the concentration of carotenoids, it was observed that some treatments using silicate showed higher content when compared to the limestone treatments.

Keywords: Carotenoids, Vegetables, *Meloidogyne javanica*.

5.2 Introdução

A alface (*Lactuca sativa*) é uma das hortaliças mais consumidas mundialmente. Devido a seu sabor, leveza e praticidade, tornou-se popular em todos os continentes. O clima é um dos fatores limitantes para sua produção e, por esse motivo, seu cultivo está ocorrendo dentro de estufas, pois possibilita o consumo em todas as estações do ano, além de elevar sua qualidade. Além disso, uma adubação equilibrada também é essencial para seu sucesso e qualidade (DALCIN et al., 2018). A alface apresenta resposta positiva quanto à aplicação de corretivos, especialmente dos calcários, pois além de garantir o fornecimento de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), auxilia na neutralização do solo (PRADO et al. 2002).

Assim como o calcário, as aplicações de silicatados têm se destacado como corretivos de solo, pois, segundo Ferreira et al. (2010), o uso de silicato de cálcio em alface pode estimular aumentos no rendimento físico e melhor qualidade (com folhas menos danificadas por insetos ou fungos, bem como poucas folhas senescentes), devido ao efeito positivo da absorção de silício (Si), cálcio, magnésio e potássio (K), além de outros nutrientes presentes em escória de siderúrgica ou rochas silicatadas.

Nas plantas, o cálcio é um elemento essencial, participando ativamente durante o processo de crescimento e desenvolvimento, sendo absorvido via sistema radicular e em seguida distribuído pelo xilema (KUMAR et al., 2015), atuando na questão estrutural das plantas. O cálcio no interior das plantas é imóvel e atua no melhoramento da estrutura da parede celular destas, bem como a homeostase iônica (KALCSITS, 2016). A deficiência do nutriente pode ser observada em folhas jovens das plantas (queimaduras, encurvamento das plantas novas, folhas quebradiças), principalmente em vegetais mais folhosos; já em tecidos fechados, pode ocorrer o aparecimento de “coração marrom”. Verifica-se que quando os tecidos são alimentados por floema, em vez de xilema, há o surgimento do sintoma “podridão da extremidade da flor”, como em plantas de melancia, tomate e pimenta. O aparecimento destes deve-se ao fato de o cálcio não poder movimentar-se em tecidos mais antigos e ser redistribuído para o floema (WHITE; BROADLEY, 2003).

Já o silício é um elemento benéfico para as plantas pois proporciona aumento na resistência a pragas e doenças e, em algumas espécies, como as Poaceae, possuem concentrações substanciais em seu tecido (REYNOLDS et al., 2016). Conforme Luyckx et al. (2017), o silício contribui na melhoria do vigor das plantas, além de auxiliar na resistência a estresses exógenos. A proteção do Si atribuiu-se como uma barreira física que fortalece a parede celular; no caso dos fungos, este elemento atua contra a penetração das hifas. Todavia, alguns estudos relatam que a ação Si nas plantas

envolve uma interligação com o interior da célula e um efeito do metabolismo das plantas. Alves et al. (2019) observaram que um *priming* de sementes de alface com silício foi eficaz na melhoria da tolerância ao estresse salino, devido à ativação da defesa antioxidante enzimática.

Fontes de cálcio e silício, podem auxiliar no desenvolvimento radicular das plantas, fornecendo maior resistência a cultivares de alface quando em contato com nematoides. Estes são agentes causadores da destruição das raízes, ocasionando perdas de vigor em diversas cultivares.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso do calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio no controle na colonização de nematoides da espécie *Meloidoyne javanica* no sistema radicular da cultura da alface Regina (*Lactuca sativa*).

5.3 Material e métodos

O trabalho foi conduzido em estufa de plástico na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), localizada na região oeste do Paraná, no município de Cascavel, com coordenadas geográficas centrais de 25°00'43" S, 53°17'34" O, com altitude de 781 metros. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperaturas médias variando entre 17 e 19 °C e precipitação média anual de 1.500 mm (ALVARES et al., 2013).

Foram realizados dois experimentos, ambos conduzidos no delineamento inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 12 repetições, totalizando 48 unidades experimentais para ambos. Os tratamentos (TC e TS) foram: experimento I com doses de calcário dolomítico (TC4 = 0 g; TC1 = 1,41 g; TC2 = 2,83 g; TC3 = 4,25 g), contendo 24% de cálcio e 16% de magnésio; e experimento II com doses de silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g; TS1 = 0,425 g; TS2 = 0,850 g; TS3 = 1,28 g), com 9% de silício, 9% de cálcio e 2% magnésio em sua composição. As doses de calcário dolomítico foram recomendadas por meio do programa computacional licenciado LAPX, após o resultado das análises física e química de solo (Tabela 1); enquanto que as dosagens de silicato utilizadas se referem a 30% da dosagem total de calcário, conforme as recomendações técnicas de profissionais a produtores rurais.

Tabela 1 Características químicas e granulométricas do solo na camada de 0-20 cm de profundidade

Camada	P	MO	pH	H+ Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
Cm	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	cmol _c dm ⁻³							%
0-20	49,68	12,99	4,75	3,2 1	0,05	0,59	1,07	0,91	2,57	5,78	44,49
Camada	Argila		Silte		Areia						
Cm	g kg ⁻¹										
0-20	200		150		650						

P e K – Extrator MEHLICH⁻¹; Al, Ca e Mg – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – pH SMP (7,5).

Os experimentos foram conduzidos em vasos de 5 litros, sendo que inicialmente o solo foi esterilizado em autoclave a 120 °C por duas horas. Posteriormente, foi realizada a implantação, segundo a metodologia de Souza et al. (2015), no mês de novembro do ano de 2019, com a aplicação das respectivas doses para cada um dos tratamentos. Nessa etapa, também foi realizada uma única aplicação com os fertilizantes Mono – amônico – fosfato (MAP) e Cloreto de potássio (KCL), ambos na dosagem de 0,95 g, conforme recomendação para acultura. Em seguida, foram incubadas por um período de 180 dias antes do plantio das mudas de alface Regina. Ao final deste período (maio de 2020), foram realizados os transplantes de quatro mudas por vaso, sendo que, quinze dias após o transplante, três mudas de cada vaso foram descartadas, a fim de que não houvesse interferência e competição entre elas.

Neste momento, também ocorreu a inoculação de 1000 ovos de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica*, sendo mediada com auxílio de uma seringa, em cada vaso. Optou-se por solo do tipo mais arenoso, Argissolo com textura franco-arenosa, conforme classificação da Embrapa por Santos et al. (2018), uma vez que este é favorável à multiplicação dos nematoides, quando comparado com solo mais argiloso. O experimento permaneceu com os nematoides durante 60 dias, a fim de que ocorressem dois ciclos completos.

Devido às amostras de solo arenoso encontrarem-se deformadas, não houve determinação da capacidade de campo, pois ocasionaria muita perda do material. Porém, a irrigação dos vasos ocorreu a cada dois dias, com 120 ml de água.

As avaliações dos experimentos ocorreram quando as plantas estavam no momento de colheita, sendo realizadas as medições de altura de cada planta, bem como a determinação do teor de massa fresca e massa seca da parte aérea. Para determinação da massa seca, a parte aérea das plantas foram acondicionadas em estufa a 60 °C, por um dia.

Já para a determinação da concentração de carotenoides, recorreu-se à metodologia de Argon (1949) adaptada por Vicielli et al. (2010), no qual utilizou-se 0,1 g de tecido vegetal pesado em balança de precisão 0,0001 g. Logo após, quantificaram-

se os teores de carotenoides (mg g^{-1}) das folhas das plantas e, em seguida, acondicionaram-se as amostras das folhas em frasco de vidro de 10 mL de acetona a 80%, por sete dias. Ao final, realizou-se a leitura em um espectrofotômetro com comprimento de onda de 450 nm (Equação 1), conforme a lei de Lambert (1870) e Beer (1852), metodologia descrita por Xavier et al. (2012):

$$C = \frac{A \times 10^4}{E_{1\text{cm}}^{1\%}} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,

C (mg g^{-1}) - Concentração de carotenoides totais (expressa como caroteno);

A - Absorbância do extrato a 450 nm;

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$ - Coeficiente de absorvidade do caroteno, que corresponde a 2592.

Por último, houve a contagem do número de galhas de *Meloidogyne* nas raízes de maneira manual. Utilizou-se uma solução corante Floxina B (15mL), na qual as raízes ficaram imersas por 15 minutos, antes da contagem. Em seguida, houve a extração da massa de ovos no liquidificador, por 30 segundos, com a solução de 5 ml de hipoclorito de sódio misturado em 1 litro de água. Após este processo, as amostras foram peneiradas (peneiras de 100 e 500 mesh) e colocadas em frascos de plástico. Para a realização da contagem em microscópio na câmara de Peters, as amostras precisaram ser diluídas, em 9 ml de água a cada 1 ml de amostra.

Os solos, por sua vez, estavam acondicionados em um resfriador, para que não houvesse desnaturação das nemas. Estes foram diluídos em 2 litros de água a cada 200 gramas de solo, por 15 minutos. Posteriormente, foram peneiradas e retiradas as amostras com solução de ovos de nematoides. Estas foram diluídas novamente em 9 ml de água a cada 1 ml de amostra, com a finalidade de facilitar a contagem do número de ovos na Câmara de Peters no microscópio.

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do Teste F ($p < 0,05$) e as médias foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade, por meio do programa estatístico R (DALGAARD, 2008). Foi realizada a análise de regressão para os resultados significativos, determinando-se as equações de regressão.

5.4 Resultados e discussão

5.4.1 Altura, teor de massa fresca e seca das folhas

A comercialização de olerícolas, principalmente alface, normalmente está voltado para o tamanho, formato, altura e teor de massa fresca da parte aérea das plantas, tornando-se assim mais atrativas para os consumidores. Nesse contexto, avaliaram-se, nos experimentos com calcário e silicato, os parâmetros com relação ao dossel das plantas de alface.

Foi observado que as plantas de alface Regina se desenvolveram em altura quando realizada a aplicação de calcário com 24% de cálcio em sua concentração, apresentando em média 14,0 cm. Ribeiro et al. (2015) constaram que as plantas de alface mais altas se encontravam na concentração com aplicação de 75% de cálcio, com média de 25,8 cm. Já as mais baixas apresentavam média de 15,37 cm, com a concentração de 50% de cálcio. Todavia, quando se efetuou aplicação silicatada, com concentração de 9% de silício, foram observadas altura média de 12,43 cm. Ferreira et al. (2010), com relação às aplicações de silicato de cálcio, constataram que não houve aumento no crescimento de plantas de alface cultivadas em vaso. Em análise, as médias individuais para cada dose dentro de cada um dos tratamentos (Figura 1) não diferiram estatisticamente.

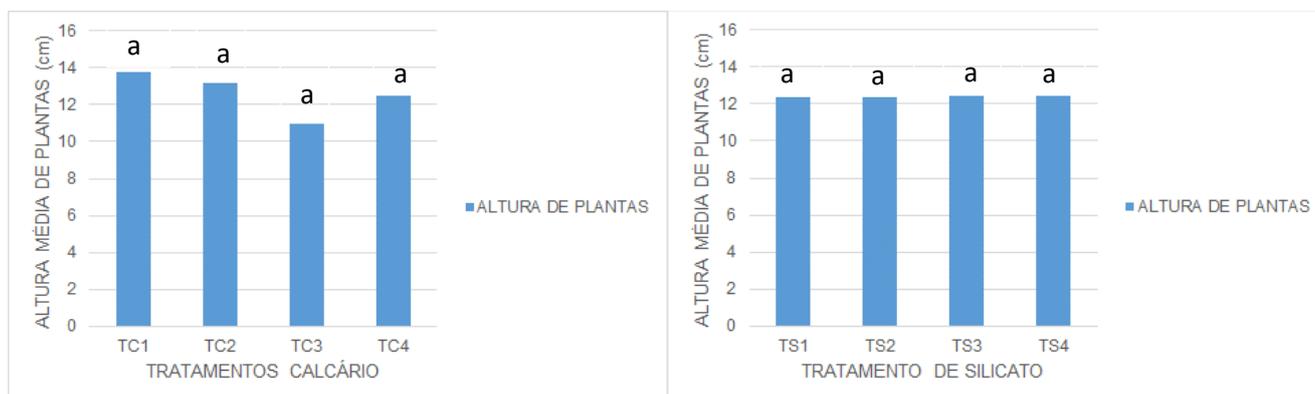


Figura 1 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para alturas de alface Regina.

** As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

De acordo com as observações e análises, é possível notar que o teor de matéria fresca foi maior no experimento I (Tabela 2) com média de 24,16 g, do que no experimento II. Quando avaliados os parâmetros de crescimento das plantas de alface (altura de planta, teor de massa fresca e seca da parte aérea, área foliar média e índice de área foliar), Youssef et al. (2017) observaram que, com o aumento nas aplicações

de cloreto de cálcio, aumentam também os parâmetros de crescimento, quando comparados com o tratamento controle, em ambas estações de cultivo. Já a média de massa fresca no tratamento com silicato foi de 18,59 g. Gallatti et al. (2015), em seu experimento, constataram maior firmeza nas folhas de alface conforme o aumento da proporção de silício. Após o Teste de Tukey realizado para cada tratamento, verificou-se que os resultados não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 2 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para de massa fresca parte aérea das plantas

	Doses			
Calcário	0	1,41	2,83	4,25
Massa fresca parte aérea(g)	21,64 a	20,71 a	24,16 a	18,36 a
	Doses			
Silicato	0	0,425	0,85	1,275
Massa fresca parte aérea(g)	21,64 a	15,77 a	15,01 a	15,58 a

*Para comparação das médias, foram aplicados o teste de Tukey com 0,05% de significância.

** As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

A matéria seca (4,03 g) foi maior no experimento com aplicação de calcário, contra 3,52 g da aplicação com silicato. Kleiber et al. (2015) observaram que a aplicação da solução com silício elevou o teor de água e reduziu a produção de matéria seca em folhas de alface. Ambos os parâmetros foram afetados pelo aumento das doses de silício na zona radicular e nas folhas, sob cultivo hidropônico e estresse de manganês. Quando analisadas (Tabela 3) separadamente as médias para os teores de massa seca dentro de cada um dos tratamentos, notou-se que estas não diferiram estatisticamente entre si.

Tabela 3 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato para material de massa seca da parte aérea das plantas

	Doses			
Calcário	0	1,41	2,83	4,25
Material massa seca parte aérea (g)	3,04 a	5,24 a	4,57 a	3,28 a
	Doses			
Silicato	0	0,425	0,85	1,275
Material massa seca parte aérea (g)	3,04 a	3,28 a	3,29 a	4,39 a

*Para comparação das médias, foram aplicados o teste de Tukey com 0,05% de significância.

** As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

5.4.2 Concentração de carotenoides

Pode-se verificar que o experimento I e II (Figura 2) não diferiram estatisticamente. Por este motivo não foi possível efetuar a análise de Regressão, pois não houve resultado com índice de significância, ou seja, os tratamentos com cálcio e silício não foram eficientes para o aumento da concentração de carotenoides na cultivar de alface. Porém, observa-se no experimento com cálcio que a testemunha (TC4), apresentou concentração de carotenoides maiores que os tratamentos TC1 e TC3, ainda que inferior a TC2. Segundo Ahmad et al. (2015), plantas de mostarda (*Brassica juncea* L.) estressadas por excesso de cádmio (Cd) (S3 – 200 mg L⁻¹ e S5 – 300 mg L⁻¹ de Cd) e tratadas com solução nutritiva de suplemento de cálcio via foliar (S3 – 50 mM e S5- 50 mM de Ca) apresentaram redução no conteúdo de carotenoides nos tratamentos S3 e S4 de 10,20 e 30,61%, respectivamente, quando comparado com o tratamento controle (plantas sem adição de Cd e Ca). Pode-se justificar o fato do baixo teor do pigmento nas plantas de alface, já que estas encontravam-se sob estresse causado por nematoides da espécie *Meloidogyne*.

A mesma situação acontece com relação aos tratamentos com silício, já que estes foram submetidos às mesmas condições climáticas que os tratamentos com cálcio. Ao contrário do experimento I, as aplicações com silicato demonstraram resultados maiores que a testemunha. Pilon et al. (2013) observaram em experimento com aplicação de silício no solo (50 mg dm⁻³ Si, no qual o produto utilizado consistia de 22,4% de Si solúvel) na forma granular e incorporado ao solo juntamente com um fertilizante (este tratamento foi incubado com 80% de umidade em um período de 40 dias) e aplicação de Si foliar (0,8% de Si concentrado solúvel), com pulverizações realizadas aos 10, 20 e 30 dias após a emergência da batata em casa de vegetação, aumentaram os teores de carotenoides significativamente nas folhas da cultivar, quando comparado com o tratamento controle.

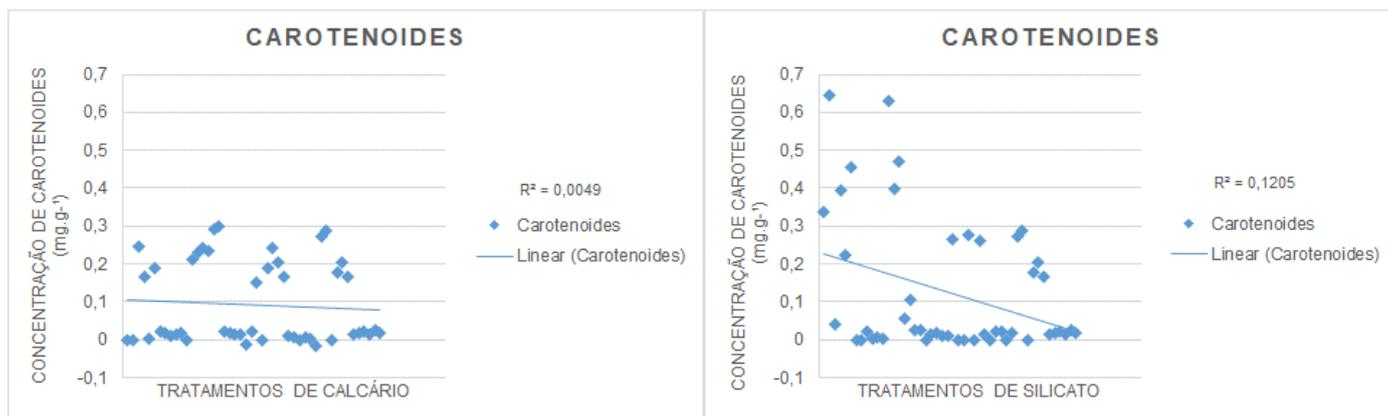


Figura 2 Índice de concentração de carotenoides para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g).

Logo em seguida, realizou-se a análise individual das médias (Figura 3) para cada um dos tratamentos, por meio do teste de Tukey com 0,05% de significância e observou-se que não houve diferença significativa entre eles, para concentração de carotenoides, ou seja, a Testemunha (TC4) não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos, nos quais houve aumento das doses de cálcio. Todavia, Ahmad et al. (2018) verificaram que aplicações de cálcio (cloreto de cálcio – 50 mM) no dossel das plantas de tomate, em dias alternados por 40 dias, após 14 dias de estresse salino, aumentaram a concentração de carotenoides em 5,12% a mais que os tratamentos com cloreto de sódio (52,94%).

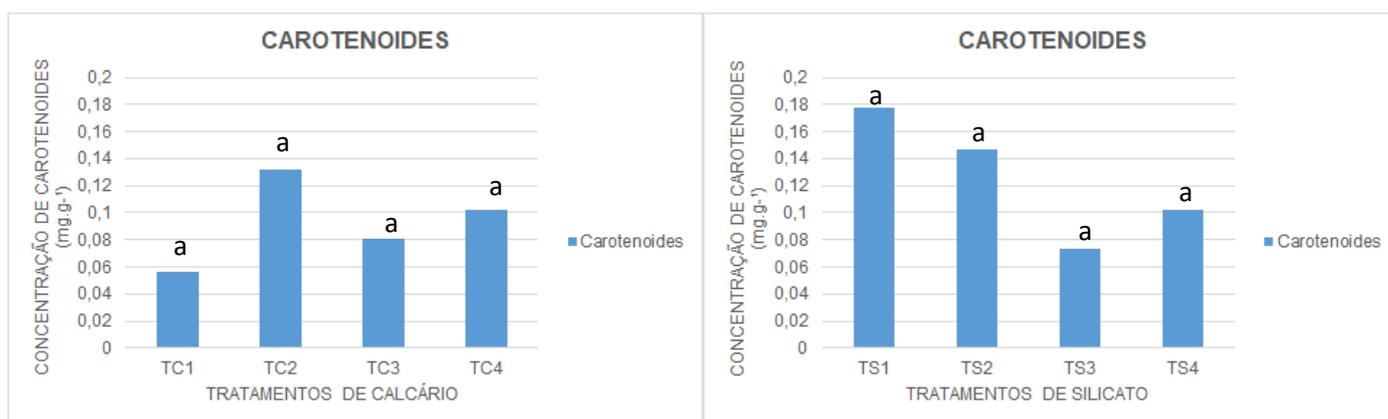


Figura 3 Comparação das médias para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g), por meio do teste de Tukey com 0,05% de significância, para concentrações de carotenoides.

*As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

O tratamento foliar com cálcio em plantas de milho híbrido sob estresse hídrico, conforme verificado por Naeem et al. (2017), resultou em um aumento de 31% no teor de carotenoides totais sobre o tratamento controle. Já os teores máximos de carotenoides ($0,46 \text{ mg.g}^{-1}$) foram encontrados com aplicação de cálcio nos vasos com abastecimento de água normal e mínima. Ambos os trabalhos justificam o fato de os tratamentos com calcário aplicados no solo, 180 dias antes do plantio, apresentarem resultados inferiores à testemunha.

As médias do experimento com silicato (Figura 3) também não diferiram, por isso consideraram-se todos os tratamentos iguais. Porém, notou-se que os tratamentos TS1 e TS2 apresentaram resultados superiores à testemunha. Singh e Roychoudhury (2020) relatam que aplicações exógenas de 2mM de silício (Si) aumentaram o nível de carotenoides em 1,1 vezes em mudas de arroz com a presença de fluoreto de sódio (NaF) (25 mg L^{-1}), quando comparado com as mudas de arroz cultivadas sem a presença do Si. Também houve aumento em 1,3 vezes dos carotenoides com aplicação de Si, quando a dose NaF foi aumentada para 50 mg L^{-1} . O estudo confirma que aplicações de silício no dossel das plantas, bem como seu tratamento nas mudas de plantas, podem aumentar o nível de carotenoides.

5.4.3 Número de ovos de nematoides

Uma das principais características da espécie *M. javanica* é a formação de galhas próximas à raiz principal das plantas, as quais apresentam grande concentração de ovos de nematoides. Observou-se que o experimento com calcário não diferiu estatisticamente, uma vez que seu p-valor foi de 0,90, resultado maior que o nível de significância de 0,05%; por este motivo, não se pôde realizar a análise de regressão dos resultados. Devido a este fato, realizou-se a avaliação das médias em cada tratamento (Tabela 4), por meio do teste de Tukey a 0,05% de significância. Todavia, os resultados avaliados foram considerados iguais para ambos. A mesma situação ocorre com o número de galhas no experimento com silicato, em que o p-valor encontrado foi de 0,95, maior que o nível de significância 0,05%, no qual não se pôde realizar a análise de regressão.

Pelo teste de Tukey, executou-se a avaliação das médias individuais para cada tratamento, constatando que eram iguais. Nem o cálcio e nem o silício apresentaram efeito significativo com relação à redução do número de galhas de nematoides. Isso ocorre pois o melhor e mais eficiente método para controle de *Meloidogyne javanica* seria a utilização de cultivares de alfaces resistentes. Maciel et al. (2020) constaram que

a variedade de minialface biofotificada, além de apresentar características agronômicas potenciais, também demonstrou resistência ao *M. javanica*.

Pinheiro et al. (2020) afirmam que a quantidade de galhas da espécie *Meloidogyne* formadas nas raízes de alface dependem do tipo da cultivar, ou seja, cultivares com o tipo de folha crespa expressão maior grau de resistência a nematoides das galhas, quando comparadas com cultivares com o tipo de folha lisa.

Tabela 4 Médias individuais dos tratamentos com calcário e silicato em relação ao número de galhas por raiz

	Doses			
Calcário	0	1,41	2,83	4,25
Número de galhas por raiz	612,25 a	597,23 a	728,83 a	622,33 a
	Doses			
Silicato	0	0,425	0,85	1,275
Número de galhas por raiz	612,25 a	403,50 a	590,08 a	559,33 a

*Para comparação das médias, foram aplicados o teste de Tukey com 0,05% de significância.

** As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

Com relação ao número de ovos por raiz (Figura 4), no experimento com silicato, não houve resultado significativo; sendo assim, não foi possível realizar a análise de regressão. Por mais que o Si atue na formação de uma barreira física nas plantas, impedindo a penetração de fungos e bactérias, este não apresentou efeito positivo em relação ao controle de *M. javanica*.

Com a finalidade de determinar se o Si tem efeito direto como agente de infecção em nematoides da raiz de arroz, Zhan et al. (2018) monitoraram a penetração e o desenvolvimento de nematoides pré-tratadas com Si ou água incubada nas raízes da cultura, e verificaram que após os 14 dias de incubação houve, na maioria dos nematoides, mudança no desenvolvimento, sendo de J3, para J4 nos machos, e desenvolvimento de fêmeas. Os mesmos autores ainda constataram que não houve diferença significativa entre a incubação com Si e incubação com água, para desenvolvimento e número de nematoides. Deste modo, concluíram que a incubação com Si não inibiu e nem retardou o desenvolvimento de *Meloidogyne graminicola*, no interior das raízes de arroz.

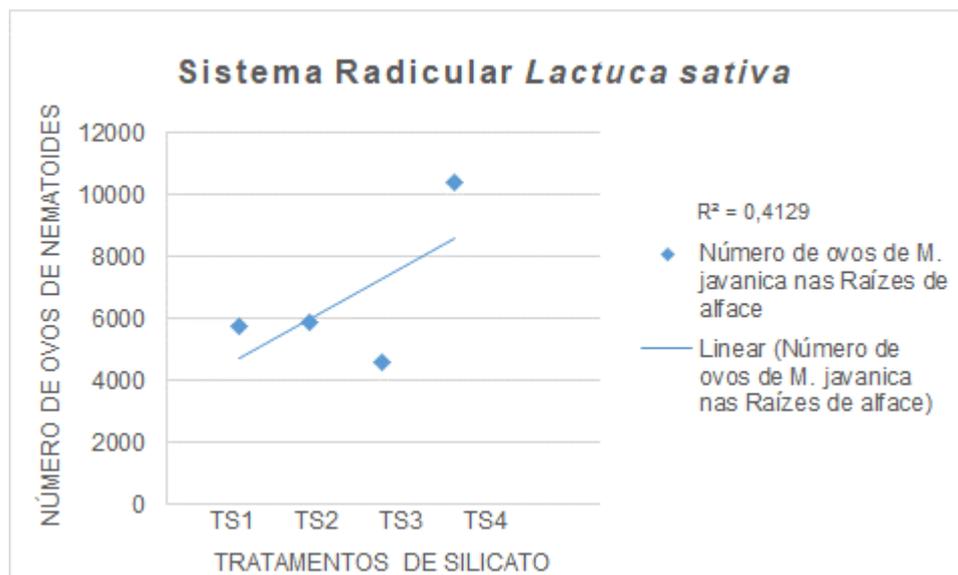


Figura 4 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no sistema radicular da alface com tratamentos de silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1,28 g).

O experimento com calcário (Figura 5) também não apresentou nível de significância; portanto, não foi possível realizar as equações de regressão. Em um experimento na cultura da soja, Silva et al. (2017) concluíram que a deficiência de cálcio nas plantas pode acentuar os danos causados pelo nematoide da espécie *Pratylenchus brachyurus*, já que este reduz o porte do sistema radicular e, conseqüentemente, as raízes ficam mais vulneráveis ao ataque. Por este motivo, a recomendação principal seria a utilização de calcário calcítico, a fim de que ocorra a elevação dos níveis de cálcio no solo, além de garantir um bom fornecimento deste nutriente às plantas. Isso explica o fato de o calcário dolomítico não ter sido eficiente na redução da densidade populacional de nematoides. Um sistema radicular bem desenvolvido auxilia na melhor absorção de nutrientes indispensáveis para o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

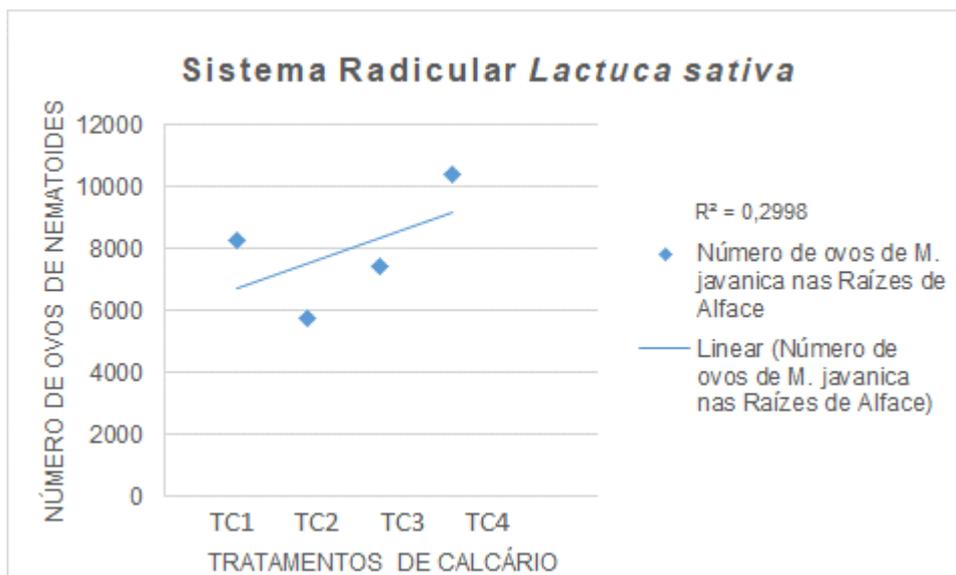


Figura 5 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no sistema radicular da alface com tratamentos de calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g).

Os tratamentos com cálcio e silício não apresentaram efeito significativo para a redução de nematoides. Como consequência, ocorreu o aumento do número de galhas e ovos destes nas raízes de alface, bem como o aumento no número de nematoides no solo. Como pode-se observar, o experimento com silicato não apresentou efeito positivo na redução do número de ovos de nematoides no solo (Figura 6), e por isso não se efetuaram as análises de regressão.

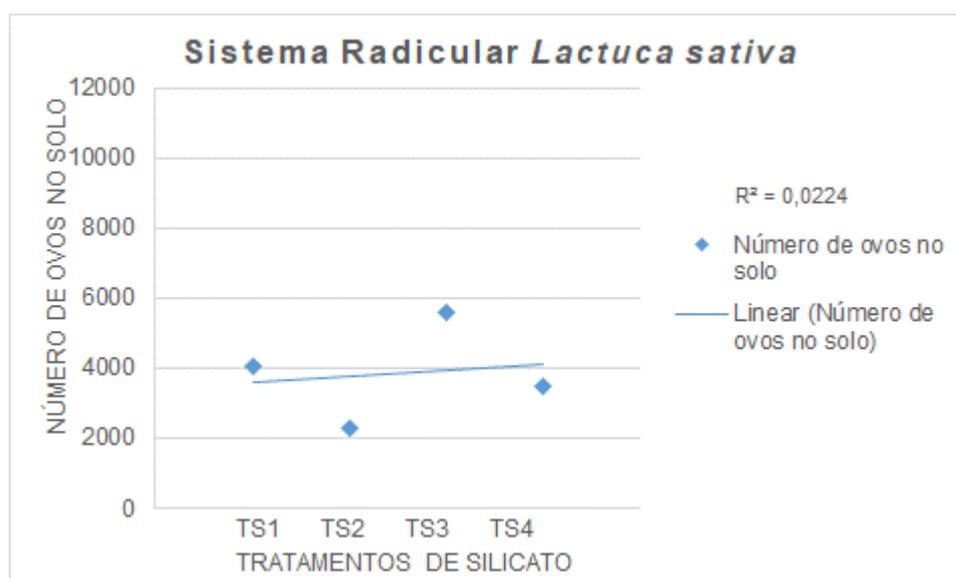


Figura 6 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no solo com tratamentos de silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g).

A mesma situação ocorreu com relação ao experimento com calcário (Figura 7), em que não se executaram as equações de regressão. Os ovos de nematoides no solo são resultados do resíduo do número de galhas e ovos das raízes de alface Regina.

Demesyeux et al. (2020), nos Estados Unidos, observaram que a incidência de nematoides *Pratylenchus* na cultura da banana era menos abundante em histossolos (0 - 0,2%), quando comparado com solos calcariados (1,9 - 17,3%). A espécie *Meloidogyne spp.* foi isolada para cada cultivar de banana e variou de 0 - 204 nematoides por amostra.

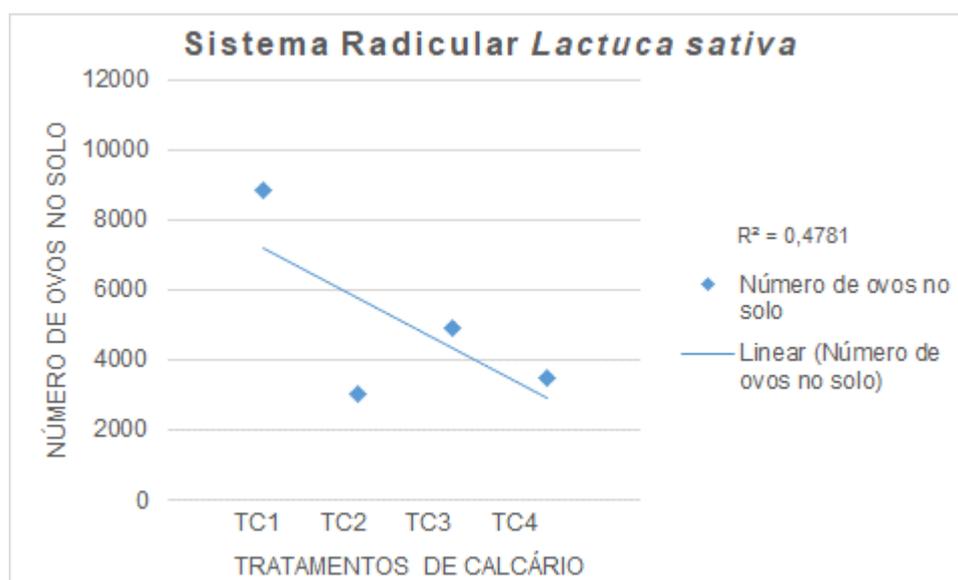


Figura 7 Valores com relação ao número de ovos de nematoides no solo com tratamentos de calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g).

Como nenhum dos tratamentos foi eficiente para controle de nematoides, recomenda-se a utilização de variedades de alface resistentes, bem como a semeadura e o transplante de plantas repelentes destes, também conhecidas como plantas nematicidas, além da realização de rotação de cultura na área infestada. Sobre este assunto, Fileti et al. (2011) afirmam que a rotação de culturas proporciona melhoria na estrutura do solo, além de ser uma boa alternativa para áreas infestadas com nematoides, podendo ser instaladas, tanto em viveiros, quanto em novos pomares, utilizando-se como cultura intercalar ou em consorciação com outras culturas.

Plantas com propriedades nematicidas, como crotalaria, são uma alternativa para o controle de nematoides e, segundo Coltro-Roncato et al. (2015), representa um valor prático e econômico, isso porque as plantas apresentam substâncias advindas do metabolismo secundário, os quais possuem várias funções, sendo que uma delas está ligada à proteção das plantas.

5.5 Conclusões

Pode-se concluir que os tratamentos com calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio não foram efetivos para o controle da colonização de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica* na cultura de alface Regina (*Lactuca sativa*). Todavia, a aplicação com calcário garantiu uma média geral superior à média geral com aplicação de silicato para altura, teor matéria fresca e seca da parte aérea das plantas de alface. Com relação à concentração de carotenoides, observou-se que alguns tratamentos com silicato apresentaram teores superiores quando comparados com os tratamentos com calcário.

5.6 Agradecimentos

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa ao primeiro autor, e pelo apoio financeiro, essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

5.7 Declaration of conflicting interests

We have no conflict of interest to declare.

5.8 Referências

AHMAD, P.; ALLAH, E. F. A.; ALYEMENI, M. N.; WIJAYA, L.; ALAM, P.; BHARDWAJ, R.; SIDDIQUE, K. H. Exogenous application of calcium to 24-epibrassinosteroid pre-treated tomato seedlings mitigates NaCl toxicity by modifying ascorbate–glutathione cycle and secondary metabolites. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-15, 2018. Doi: 10.1038/s41598-018-31917-1.

AHMAD, P.; SARWAT, M.; BHAT, N. A.; WANI, M. R.; KAZI, A. G.; TRAN, L. S. P. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L.(Czern. & Coss.) by calcium application involves various physiological and biochemical strategies. **PLoS one**, v. 10, n. 1, p. e0114571, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114571>.

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

ALVES, R. C.; NICOLAU, M. C. M.; CHECCHIO, M. V.; SOUSA, G. S. J.; OLIVEIRA, F. A.; PRADO, R. M.; GRATÃO, P. L. Salt stress alleviation by seed priming with silicon in lettuce seedlings: an approach based on enhancing antioxidant responses. **Bragantia**, n. 79, v. 1, p. 19-29, 2019.

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 1, 1949.

COLTRO-RONCATO, S.; GONÇALVES, E. D. V.; DILDEY, O. D. F.; KUHN, O. J.; STANGARLIN, J. R. Fitoquímicos como controle alternativo de nematoides. In: KUHN, O. J. **Tecnologias e perspectivas**. Marechal Cândido Rondon: Ciências Agrárias, 2015. p. 188-206.

DALCIN, G.; PICCOLI, L.; STRASSBURGER, S. A.; STRASSBURGER, K. S. Efeitos da aplicação do pó de rocha em argissolo sobre o crescimento de alface. In: XVIII Mostra de Iniciação Científica, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão. **Anais...** 2018.

DALGAARD, P. **Estatísticas introdutórias com R**. Springer, 2008.

DEMESYEUX, L.; MENDES, M. L.; CROW, W. T.; CHAMBERS, A. H. Plant-parasitic nematodes associated with eight banana cultivars in Southern Florida. **Nematopica**, v. 50, n. 1, p. 19-28, 2020.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO, S. E. N.; MENDONÇA, V.; WADT, P. G. S. Evaluation of lettuce cultivars fertilized with calcium silicate in greenhouse. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1093-1101, 2010.

FILETI, M. S.; SIGNORI, G.; BARBIERI, M.; GIROTO, M.; FELIPE, A. L. S.; JUNIOR, C. E. I.; SILVA, D. P.; EPIPHANIO, P. D.; LIMA, F. C. C. Controle de nematoides utilizando adubos verdes. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 10, p. 1-8, 2011.

GALATI, V. C.; GUIMARÃES, J. E. R.; MARQUES, K. M.; FERNANDES, J. D. R.; BERNARDES, A. C. F.; MATTIUZ, B. H. Silicon, in hydroponics, in postharvest American'Lucy Brown'lettuce minimally processed. **Ciência Rural**, v. 45, n. 11, p. 1932-1938, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20140334>.

KALCSITS, L. A. Non-destructive measurement of calcium and potassium in apple and pear using handheld X-ray fluorescence. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 442, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00442>.

KLEIBER, T.; KRZESINSKI, W.; PRZYGOCKA-CYNA, K.; SPIZEWSKI, T. The response of hydroponically grown lettuce under Mn stress to differentiated application of silica sol. **Journal of Elementology**, v. 20, n. 3, 2015.

KUMAR, A.; SINGH, U. M.; MANOHAR, M.; GAUR, V. S. Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism(s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n. 1, p. 1722, 2015. DOI: 10.1007/s11738-014-1722-6.

LUYCKX, M.; HAUSMAN, J. F.; LUTTS, S.; GUERRIERO, G. Silicon and plants: current knowledge and technological perspectives. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 411, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00411>.

MACIEL, G. M.; VIEIRA, B. S.; SOUZA, A. P.; FINZI, R. R.; JACINTO, A. C. P.; BELOTI, I. F. Linhagens avançadas de mini alface biofortificadas com resistência ao nematóide-das-galhas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 15, n. 2, p. 6412, 2020. DOI: 10.5039/agraria.v15i2a6412.

NAEEM, M.; NAEEM, M. S.; AHMAD, R.; IHSAN, M. Z.; ASHRAF, M. Y.; HUSSAIN, Y.; FAHAD, S. Foliar calcium spray confers drought stress tolerance in maize via modulation of plant growth, water relations, proline content and hydrogen peroxide activity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 1, p. 116-131, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1327713>.

PILON, C.; SORATTO, R. P.; MORENO, L. A. Effects of soil and foliar application of soluble silicon on mineral nutrition, gas exchange, and growth of potato plants. **Crop Science**, v. 53, n. 4, p. 1605-1614, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2012.10.0580>.

PINHEIRO, J. B.; SILVA, G. O.; BISCAIA, D.; MACEDO, A. G.; SUINAGA, F. A. Caracterização de genótipos de alface quanto à resistência a nematóides das galhas (*Meloidogyne* spp.). **Horticultura Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 239-245, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0102-053620200301>.

PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 4, p. 539-546, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000400016>.

REYNOLDS, O. L.; PADULA, M. P.; ZENG, R.; GURR, G. M. Silicon: potential to promote direct and indirect effects on plant defense against arthropod pests in agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, p. 744, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00744>.

RIBEIRO, A. A.; SIMEÃO, M.; SANTOS, D. P. Crescimento da alface cultivada em solução nutritiva com diferentes concentrações de cálcio. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 4, p. 298-303, 2015.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, L. H. A.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO, J. C. F.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, R. F.; SEABRA, E. J.; POZZO, D. M. D.; SANTOS, R. F.; SOUZA, S. N. M. O cálcio e a tolerância da soja aos danos causados por *Pratylenchus brachyurus* em propriedades de Primavera do Leste-MT. **Acta Iguazu**, v. 6, n. 5, p. 207-216, 2017.

SINGH, A.; ROYCHOUDHURY, A. Silicon-regulated antioxidant and osmolyte defense and methylglyoxal detoxification functions co-ordinately in attenuating fluoride toxicity and conferring protection to rice seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 154, p. 758-769, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.06.023>.

SOUZA, J. P. F.; MARTINS, G. L. M.; PEREIRA, A. C.; BINOTTI, F. F.S.; MARUYAMA, W. I. Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 13-17, 2015.

VIECELLI, C.A.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; ESTRADA, K. R. F. S. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnoporus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, v.36, n.1, p.73-80, 2010.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of botany**, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg164>.

YOUSSEF, S.; ABD EL-HADY, S. A.; NASHWA, A. L.; EL-SHINAWY, M. Z. Foliar application of salicylic acid and calcium chloride enhances growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*). **Egyptian Journal of Horticulture**, v. 44, n. 1, p. 1-16, 2017. DOI: 10.21608/ejoh.2017.892.1000.

ZHAN, L. P.; PENG, D. L.; WANG, X. L.; KONG, L. A.; PENG, H.; LIU, S. M.; LIU, Y.; HUANG, W. K. Priming effect of root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to the root-knot nematode *Meloidogyne graminicola* in rice. **BMC plant biology**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1266-9>.

6 ARTIGO 2 - AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA E DA CONCENTRAÇÃO DE CLOROFILA EM EXPERIMENTOS DE CALCÁRIO E SILICATO EM ALFACE

6.1 Resumo

O objetivo do trabalho foi avaliar a concentração de clorofila por meio do método de NDVI e a concentração de clorofila por espectrofotometria em alface Regina (*Lactuca sativa*), a fim de verificar entre os tratamentos com calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio qual garantirá melhor resultado. Os experimentos foram conduzidos em vasos de cinco litros em estufa. Utilizou-se um Argissolo, com textura franco-arenosa, favorável à multiplicação de nematoides das galhas. Foram desenvolvidos dois experimentos (calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio), ambos com quatro doses (0; 1,41; 2,83 ; 4,25 g; e 0; 0,425; 0,850; e 1,28 g, respectivamente) e doze repetições, totalizando 48 unidades experimentais para cada experimento, em um delineamento inteiramente casualizado. Avaliou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), por meio de um sensor passivo terrestre, equipamento espectroradiômetro de marca FieldSpec®. A concentração de clorofila a, b, totais foram efetuadas com auxílio de um espectrofotômetro, segundo metodologia de Argon (1949). Os dados foram submetidos à análise de variância mediante o Teste de F ($p < 0,05$), já as médias foram comparadas por meio do Teste de Tukey a 5% de significância, sendo que para os resultados significativos realizou-se a análise de Regressão, determinando-se, assim, as equações de regressão. Ao final, verificou-se a correlação entre os diferentes métodos de leituras de clorofila. Nenhum dos experimentos apresentou resultados significativos; porém, em alguns tratamentos, tanto de cálcio como de silício, os valores encontrados foram maiores que a testemunha para os parâmetros avaliados em plantas com estresse, pois seu sistema radicular estava afetado por nematoides, alterando, assim, seu desenvolvimento. Não houve correlação entre os valores de clorofila a, b, totais e clorofila (NDVI). Conclui-se que os experimentos com calcário e silicato não aumentaram significativamente os teores de clorofila, água da planta e reflectância fotoquímica. Ainda verificou-se que não houve correlação dos valores para as diferentes medições de clorofila. Pode-se observar que o estresse no sistema radicular da cultura, provocado por *M. javanica*, afetou significativamente o desenvolvimento destas. Portanto, são necessários mais estudos sobre o tema abordado.

Palavras-chave: Clorofila, Espectrofotometria, Hortaliça.

6 ARTICLE 2 - EVALUATION OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX AND THE CONCENTRATION OF CHLOROPHYLL IN LIMESTONE AND SILICATE EXPERIMENTS IN LETTUCE

6.1.1 Abstract

The objective of this work was to evaluate the concentration of chlorophyll using the NDVI method and the concentration of chlorophyll by spectrophotometry in Regina lettuce (*Lactuca sativa*), in order to understand which of the treatments would yield better results, either with dolomitic limestone and calcium or with magnesium silicate. The experiments were carried out in five-liter pots in a glasshouse. Clayey soil was employed, with sandy loam texture, favorable to the multiplication of gall nematodes. Two experiments were developed (dolomitic limestone and calcium and magnesium silicate), both with four rates (0; 1.41; 2.83; 4.25 g; and 0, 0.425; 0.850; and 1.28 g, respectively) and twelve repetitions, adding up to 48 experimental units for each experiment, in a completely randomized design. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was evaluated, through a passive terrestrial sensor, a FieldSpec® brand spectroradiometer equipment. The concentration of chlorophyll a, b, total was assessed using a spectrophotometer, according to Argon's methodology (1949). The data were submitted to analysis of variance using the F test ($p < 0.05$), the means were compared using the Tukey Test at 5% significance, and for significant results Regression analysis was performed, thus determining the regression equations. Finally, the correlation between the different methods of chlorophyll readings was evaluated. None of the experiments showed significant results; however, in some treatments, both calcium and silicon, the values found were higher than the control, for the parameters evaluated in plants under stress, since their root system was affected by nematodes, thus altering their development. There was no correlation between chlorophyll a, b, total and chlorophyll (NDVI) values. It is concluded that the experiments with limestone and silicate do not significantly increase the levels of chlorophyll, water, or photochemical reflectance. It was also found that there was no correlation connecting the values and the different measurements in chlorophyll. It can be concluded that the stress on the root system of the crop, caused by *M. javanica*, significantly affected their development. Therefore, further studies on the topic addressed are needed.

Keywords: Chlorophyll, Spectrophotometry, Vegetable.

6.2 Introdução

As alfaces (*Lactuca sativa*) são hortaliças consumidas por toda parte do mundo, possuindo uma gama de variedades de cores, tamanhos e formatos. Por este motivo, podem ser agrupadas por tipos, ou seja, por cultivares morfológicamente similares (KIM et al., 2016). O processo de fotossíntese é de extrema importância para o crescimento, o desenvolvimento e a qualidade das plantas, considerando que este, por sua vez, depende da quantidade de luz que atinge os cloroplastos (ZHEN; IERSEL, 2017). Vários são os métodos para medir a concentração de clorofila nas plantas, porém os mais utilizados são a medição da concentração via espectrofotometria e por sensoriamento remoto, via Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).

A clorofila encontra-se armazenada em organelas (Cloroplastos) nas células de plantas e algas. Pigmento de coloração verde natural e com importância comercial, as clorofilas são responsáveis pela absorção de energia da luminosidade solar, convertendo esta em energia química, por meio do processo de fotossíntese (FERREIRA; SANT'ANNA, 2017).

O pigmento responsável pela transformação da energia da luz em estado estável com carga separada no curso da fotossíntese oxigenada chama-se clorofila a. Esta, juntamente com a clorofila b, atua nos complexos de antenas para captação de luz. Por sua vez, a clorofila b não acontece nos fotossintemas; todavia, está presente nos complexos de antenas (VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). A concentração de clorofila pode ser usada para estimar a salubridade no dossel das plantas, bem como a taxa fotossintética. Estes são indicadores de oxigênio, além da produção e o sequestro de carbono (KAMBLE et al., 2015).

Uma das maneiras de quantificar a concentração de clorofila nas plantas é por meio do NDVI, que capta mudanças de densidade de clorofila no dossel destas, do que quando comparado com outros índices de vegetação (ZAITUNAH et al., 2018). O NDVI, no sensoriamento remoto, é um índice que determina a quantidade de vegetação em uma área em que é estimada a diferença entre o infravermelho próximo (NIR) que a vegetação reflete e o vermelho que a vegetação absorve (PEACE; NWAGBARA, 2018).

O objetivo do trabalho foi avaliar a concentração de clorofila por meio dos métodos de NDVI e espectrofotometria em alface Regina (*Lactuca sativa*), a fim de verificar entre os tratamentos com calcário dolomítico e silicato de cálcio e magnésio qual garantirá melhor resultado perante a presença de *Meloidogyne javanica*.

6.3 Material e métodos

O desenvolvimento do trabalho ocorreu em estufa na Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNDETEC), localizada na região do oeste do Paraná, no município de Cascavel, sob as coordenadas geográficas centrais de 25°00'43" S, 53°17'34" O. Segundo a classificação de Köppen - Geiger, o clima é Cfa, com temperatura média em torno de 17 a 19 °C, com altitude de 781 metros e precipitação média anual de 1.500 mm (ALVARES et al., 2013).

Realizaram-se dois experimentos e ambos foram conduzidos em um delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 12 repetições, totalizando assim 48 unidades experimentais em cada experimento. O experimento I consistiu em tratamentos de calcário dolomítico (TC), com doses de: TC4 = 0 g; TC1 = 1,41 g; TC2 = 2,83 g e TC3 = 4,25 g. A composição de calcário contém: 24% de cálcio e 16% de magnésio. Já o experimento II consistiu em tratamentos de silicato de cálcio e magnésio (TS), com doses de: TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g; TS2 = 0, 850 g e TS3 = 1,28 g, com composição de: 9% de silício, 9% de cálcio e 2% de magnésio. Por meio do programa licenciado LAPX, recomendou-se as dosagens de calcário, de acordo com a Tabela 1, que apresenta resultados das características químicas e granulométricas do solo na camada de 0 - 20 cm. Para as dosagens de silicato, utilizou-se 30% da dose total de calcário, conforme recomendação técnica de assistentes técnicos a produtores rurais.

Já a adubação baseou-se na aplicação dos fertilizantes Mono-amônico-fosfato (MAP) e Cloreto de potássio (KCL), ambos na dosagem de 0,95 g, conforme recomendação para a cultura. Logo em seguida, incubaram-se as amostras por um período de 180 dias segundo a metodologia de Souza et al. (2015).

Tabela 1 Características químicas e granulométricas do solo na camada de 0 – 20

Camada	P	MO	Ph	H+ Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	V
cm	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂	----- cmol _c dm ⁻³ -----							
0-20	49,68	12,99	4,75	3,2 1	0,05	0,59	1,07	0,91	2,57	5,78	44,49
Camada	Argila		Silte			Areia					
cm	----- g kg ⁻¹ -----										
0-20	200		150			650					

P e K – Extrator MEHLICH⁻¹; Al, Ca e Mg – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; H+Al – pH SMP (7,5).

Os experimentos foram conduzidos em vasos de cinco litros com a cultura de alface Regina, em um Argissolo de textura arenosa (esterizados em autoclave a 120 °C por 2 horas), pois este facilita o desenvolvimento e a reprodução de nematoides da espécie *Meloidogyne javanica*. A irrigação consistiu em 120 mL a cada dois dias e, ao final de 60 dias após a inoculação, houve a retirada das plantas dos vasos. Em

laboratório, avaliou-se o NDVI, por meio do registro da Radiação Eletromagnética (REM) com um sensor passivo terrestre, o equipamento espectrorradiômetro de marca FieldSpec® de modelo 4 Hi-Res, operando com comprimento de onda de 350 a 2500 nm. Na amostra, foi coletada a terceira folha do ápice para a base, a 1 cm de altura em cada um dos experimentos. Realizou-se o cálculo de NDVI, conforme Equação 1.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,

IVP - Infravermelho próximo (Banda 4);

V - Vermelho (Banda 3).

Posteriormente, para a determinação dos teores de clorofila por meio de espectrofotometria, recorreu-se à metodologia de Arnon (1949), adaptada por Viecelli et al. (2010), segundo a qual utilizou-se de 0,1 g de tecido vegetal pesado em balança de precisão (1 mg).

A quantificação dos teores de clorofila a, b e totais (mg g^{-1}) das folhas das plantas ocorreu utilizando-se amostras de tecido vegetal acondicionadas em frasco de vidro de 10 mL de acetona 80%, em um período de sete dias. Ao final do processo, foi realizada a leitura em um espectrofotômetro a 663 e 645 nm para clorofila a e b, respectivamente (Equação 2):

$$Ca = (0,0127 * A663) - (0,00269 * A645) \quad (1)$$

$$Cb = (0,0229 * A645) - (0,00468 * A663) \quad (2) \quad \text{Eq. (2)}$$

$$CT = Ca + Cb \quad (3)$$

$$Ca = (0,0127 * A663) - (0,00269 * A645) \\ (0,00468 * A663)$$

$$Cb = (0,0229 * A645) -$$

Em que:

Ca - Concentração de clorofila a (mg g^{-1});

Cb - Concentração de Clorofila b (mg g^{-1});

A663 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 663 nm;

A645 - Absorbância da amostra no comprimento de onda 645 nm;

CT - Concentração de clorofila total (mg g^{-1}).

Com o auxílio do programa estatístico R (DALGAARD, 2008), os dados foram submetidos à análise de variância mediante o Teste de F ($p < 0,05$); já as médias foram comparadas por meio do Teste de Tukey a 5% de significância, sendo que para os resultados significativos realizou-se a análise de Regressão, determinando-se, assim, as equações de regressão. Ao final, realizou-se avaliação do coeficiente de correlação entre o conteúdo de clorofila a, b, totais obtidos por meio de espectrofotometria e o índice de clorofila detectado por NDVI com espectrorradiômetro FieldSpec.

6.4 Resultados e discussão

A clorofila encontra-se armazenada nos cloroplastos e é um dos principais pigmentos responsáveis pelo processo de fotossíntese das plantas, por meio da absorção da luz solar que será convertida em energia química. Neste sentido, verificou-se que o experimento I apresentou maiores concentrações de clorofila a, b, totais ($0,00251$, $0,00074$ e $0,00323$ mg.g^{-1}) do que o experimento II ($0,0021$, $0,00028$ e $0,00240$ mg.g^{-1}), respectivamente, perante o estresse no sistema radicular devido ao ataque por nematoide das galhas.

Reich et al. (2018) verificaram que a aplicação de cálcio adicional auxiliou a evitar a redução de clorofila a, b ocasionados por estresse de sais de cloreto e sulfato em plantas de Brassica. Rodríguez et al. (2016) observaram que aplicações de cálcio e potássio aumentaram a concentração de clorofila a, em tratamentos com plantas de tomate irrigadas em concentrações alcalinas, salinas e com excesso de boro. Youssef et al. (2017) analisaram os teores de clorofila conforme a aplicação foliar de cloreto de cálcio, durante as temporadas 2013/2014 e 2014/2015, e verificaram o aumento das concentrações de clorofila a, b, total em plantas de alface quando comparados com o tratamento controle.

Já com relação ao tratamento com silício realizado neste trabalho, verificou-se contradição com os autores Abdelaal et al. (2020) que, em estudos realizados, observaram que em plantas de pimentão tratadas com silício aumentaram significativamente as concentrações de clorofila a ($1,9$ e $1,5$ mg g^{-1} Fw) quando comparados com plantas que não receberam tratamento e apresentavam estresse de sal. O mesmo ocorre em relação à clorofila b, que sofreu um aumento ($0,82$ e $0,63$ mg g^{-1}) em comparação a plantas não tratadas, sob estresse de salinidade.

Sendo assim, executou-se a análise individual das médias dos tratamentos com calcário e silicato (Figura 1), por meio do Teste de Tukey, com 0,05% de significância, já que não foi possível realizar análise de regressão, pois não houve diferença

significativa dos dados. Contudo, observou-se que estas também não diferiram estatisticamente entre si.

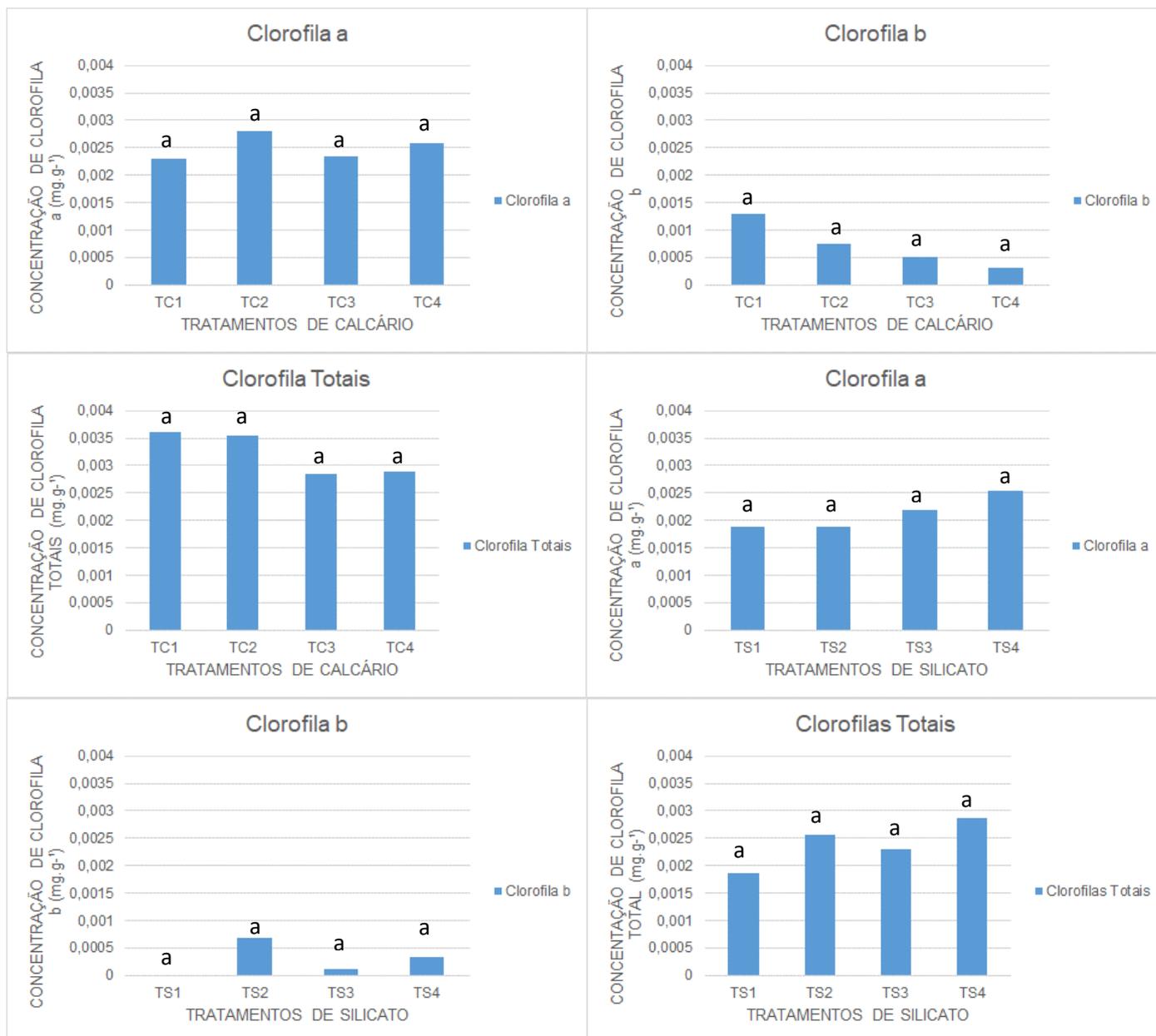


Figura 1 Médias individuais dos tratamentos com calcário (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1, 28 g) para concentrações de clorofila a, b, totais.

* As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

Também executaram-se os índices de clorofila (Chl), de água na folha (WI) e Reflectância Fotoquímica (PRI) nas plantas. Estes foram medidos por meio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, para os experimentos, nos quais utilizou-se um sensor passivo terrestre e observou-se que os experimentos I e II não diferiram estatisticamente para nenhum dos índices avaliados; por este motivo, não foram efetuadas as análises de regressão.

Os tratamentos com cálcio apresentaram uma concentração de clorofila superiores à concentração da testemunha (Figura 2). Ahmad et al. (2015) relatam que a suplementação de cálcio no dossel de plantas de mostarda estressadas com Cd melhorou o teor de clorofila a; todavia, a concentração de clorofila b foi reduzida em 18,18 e 27,27% para os tratamentos S3 e S5 (com 200 e 300 mg L⁻¹ de Cd + 50 mM de Ca, respectivamente), quando comparados com o tratamento controle. Portanto, mesmo os resultados encontrados não sendo significativos, as plantas de alface apresentaram um melhor teor de clorofila nos tratamentos com calcário sob estresse dos fitonematoides no sistema radicular, quando comparadas com a testemunha (TC4). O mesmo ocorre quando analisado o teor de água, em que ocorreu uma melhora dos índices, com aplicação de cálcio. Tanveer et al. (2019) observaram que plantas de tomate cultivadas em áreas salinas obtiveram um aumento no índice de água nas folhas de 8,8 e 14, 2%, quando estas foram tratadas com cálcio, em doses de 5 e 10 mM, respectivamente. Os mesmos autores verificaram que valores acima de 10 mM de cálcio podem reduzir o conteúdo relativo de água nas folhas.

A reflectância Fotoquímica das plantas também apresentou resultado positivo com aplicação de cálcio quando comparada com a testemunha. He et al. (2018) constataram que aplicação de cálcio foi responsável por aumentar em torno de 57,5% os níveis de taxa de fotossíntese, condutância estomática, concentração de gás carbônico intercelular, além do aumento eficiência quântica máxima fotoquímica e eficiência fotoquímica real no fotossistema II, bem como os coeficientes fotoquímica e não fotoquímica em plantas de pepino (*Cucumis sativus L.*) sob estresse hipóxico em situações de alagamento ou em cultivos hidropônicos.

O experimento II também apresentou resultados semelhantes com o experimento I, com relação a concentração de clorofila, teor de água e reflectância fotoquímica. Téllez et al. (2020) observaram que aplicações de silício (silicato de cálcio com solução nutritiva) na faixa de 60 a 125 mg L⁻¹, em plantas de pimenta hidropônicas ocasionaram benefícios com relação ao aumento dos teores de clorofila a, b. Porém, concentrações altas de Si, em torno de 250 mg L⁻¹, resultaram em efeitos negativos para a cultivar. Nesse experimento, observou-se também que o conteúdo de água da folha melhorou com os tratamentos de silicato, quando comparados à testemunha.

Saud et al. (2014) verificaram que com aplicações com Si em plantas de capim – bluegrass (*Poa pratensis L.*) sob estresse hídrico, o conteúdo de água das folhas encontrou-se em torno de 33% quando comparado com tratamento controle. Também obtiveram resultados positivos com relação a conteúdo de água no solo, cor verde da folha e taxa de crescimento relativo, com aumento de 21, 42 e 22%, respectivamente. O silicato também beneficiou o índice de reflectância fotoquímica. Maghsoudi et al.

(2015) verificaram que aplicações foliares de Si aumentaram o rendimento quântico no fotossistema II em plantas de trigo sob estresse hídrico.

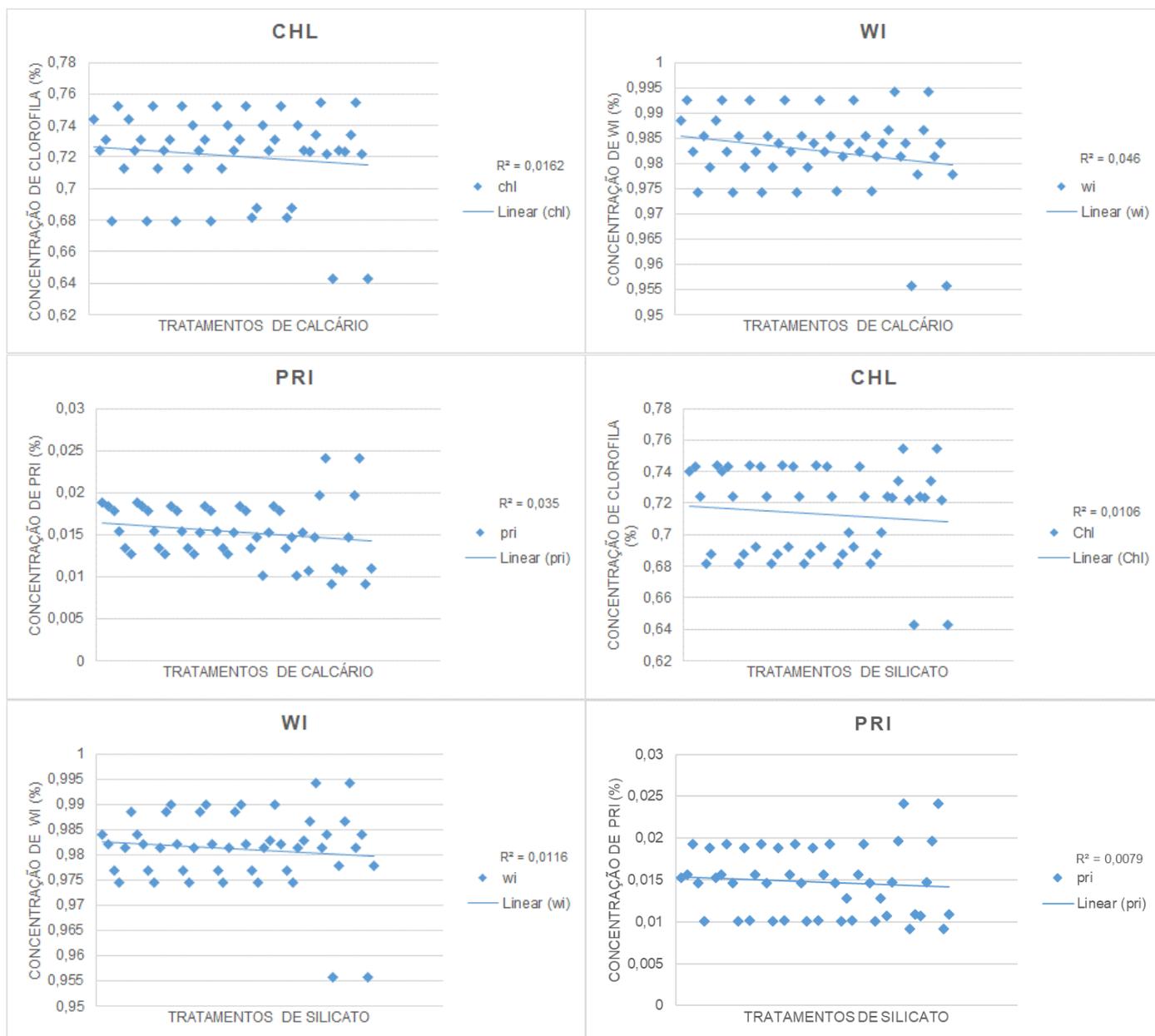


Figura 2 Índices de clorofila, de água na folha e reflectância fotoquímica para os experimentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g) e silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1,28 g).

Executaram-se as análises individuais para as médias diante de cada tratamento (Figura 3), pelo Teste de Tukey, com 0,05% de significância. Verificou-se que para todos os tratamentos com aplicação de calcário, os parâmetros de Chl, PRI e WI, não diferiram estatisticamente, ou seja, quando avaliaram-se as médias para cada parâmetro em cada um dos tratamentos, consideraram-se todos iguais.

Em estudos desenvolvidos por Hollberg e Schellberg (2017), em duas áreas experimentais de pastagens com aplicações de cálcio e fertilizantes a longo prazo (Método Rengen Grassland Experiment), constataram que os índices de vegetação espectrais relacionados aos teores de clorofila e biomassa aumentaram significativamente antes dos índices de água em cada planta. Os índices de vegetação espectrais nos tratamentos com cálcio e cálcio mais nitrogênio apresentaram valores constates. Porém, tratamentos com nitrogênio fósforo e potássio (NPK) obtiveram um decréscimo em seus valores. Já com relação ao conteúdo relativo de água nas pastagens houve redução desta no crescimento inicial, para ambos os tratamentos.

Para os tratamentos com cálcio e cálcio mais nitrogênio, a redução foi mais lenta do que nos tratamentos com NPK, mas permaneceu estável até o final. Os autores ainda observaram que o índice de água foi semelhante ao conteúdo relativo de água, nos tratamentos com NPK.

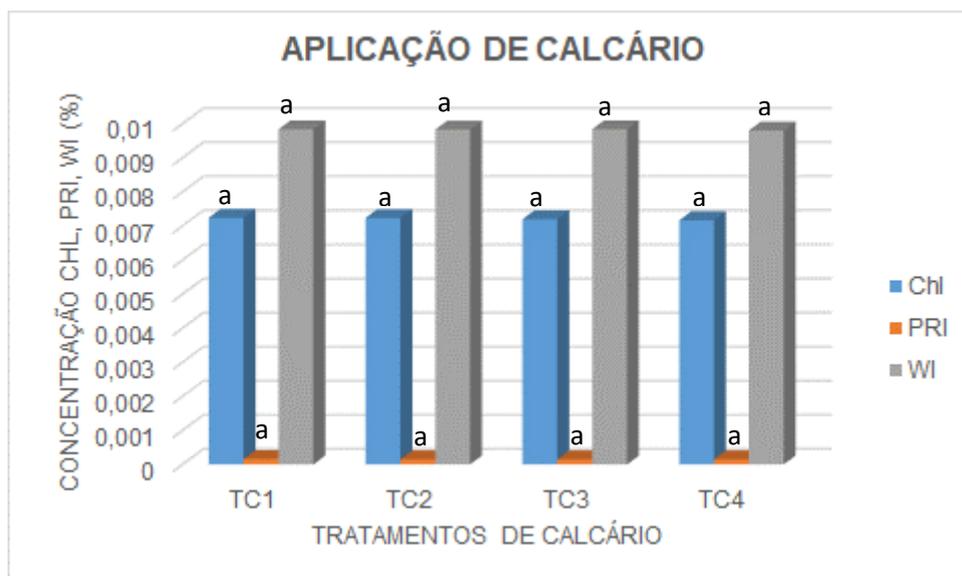


Figura 3 Comparação entre as médias para os tratamentos com calcário dolomítico (TC4 = 0 g, TC1 = 1,41 g, TC2 = 2,83 g, TC3 = 4,25 g), por meio do Teste de Tukey com 0,05% de significância, para os parâmetros concentração de clorofila, teor de água nas folhas, teor de água normalizada nas folhas e reflectância fotoquímica em plantas de alface Regina.

*As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

A mesma situação ocorre para os tratamentos com aplicação de silicato (Figura 4), nos quais a média dos índices avaliados não apresentou diferença significativa. Em experimentos realizados por Santos et al. (2020) com aplicações de silício (dióxido de silício) no sulco de semeadura em plantas de algodão, constaram que houve aumento no índice de cor verde da cultura, o qual influenciou diretamente no aumento de fotossíntese, conforme as avaliações efetuadas por meio de NDVI. Porém, os autores

observaram que a suplementação de Si (ácido monosilícico) via foliar não aumentou significativamente o índice avaliado.

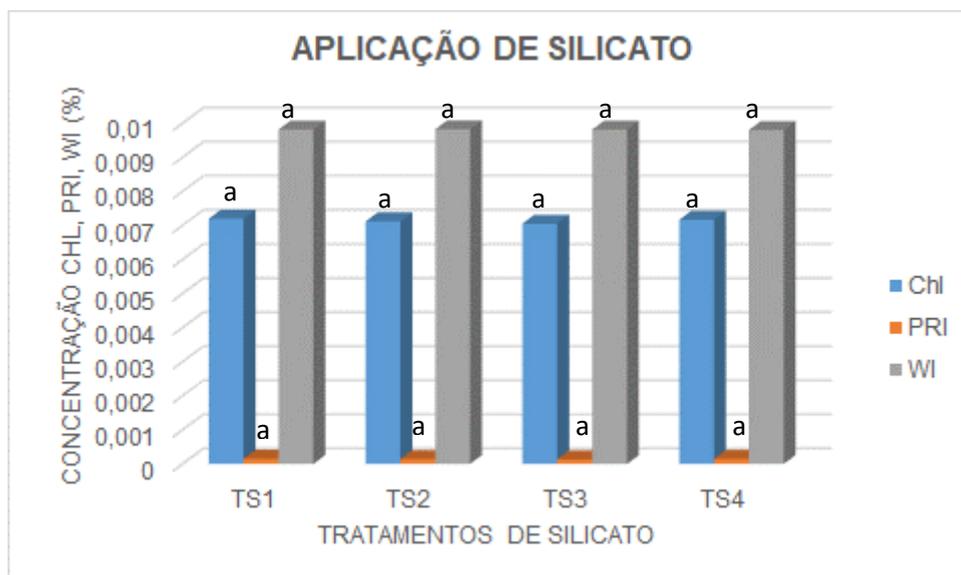


Figura 4 Comparação entre as médias para os tratamentos com silicato de cálcio e magnésio (TS4 = 0 g, TS1 = 0,425 g, TS2 = 0,850 g, TS3 = 1,28 g), por meio do Teste de Tukey com 0,05% de significância, para os parâmetros concentração de clorofila, teor de água nas folhas, teor de água normalizada nas folhas e reflectância fotoquímica em plantas de alface Regina.

*As médias seguidas de mesma letra, conforme o teste aplicado, não diferem entre si.

Por fim, realizou-se a avaliação do coeficiente de correlação dos dados obtidos por meio da leitura do teor de clorofila em espectrofotômetro e NDVI nas folhas de alface. Sendo assim, optou-se por realizar o teste de correlação de Spearman, devido aos parâmetros não apresentarem normalidade nos dados. Com isso, pode-se observar na Tabela 2 que não houve correlação entre os parâmetros de clorofila avaliados, para ambos os tratamentos, pois os valores encontram-se muito próximos de 0. Em estudos desenvolvidos por Cui et al. (2009), os autores observaram que o coeficiente de correlação mais alta ocorreu entre os valores nos quais o NDVI foi medido por meio de dispositivo óptico e o conteúdo de clorofila detectado no dossel das plantas, com auxílio de espectrofotômetro UV-vis, em plantas de tomate, do que quando utilizado o espectralradiômetro FieldSpec.

Tabela 2 Correlação de Spearman entre os parâmetros de Clorofila a + Chl (NDVI), Clorofila b + Chl (NDVI) e Clorofila Totais + Chl (NDVI), para ambos os tratamentos.

TRAMENTOS	CALCÁRIO	SILICATO
	R	R
Clorofila a + Chl (NDVI)	0,1038	-0,0650
Clorofila b + Chl (NDVI)	0,0173	0,0103
Clorofila Totais + Chl (NDVI)	-0,0055	-0,0688

Ambos os resultados encontrados nos experimentos I e II demonstram que o estresse provocado pelos nematoides das galhas no sistema radicular das plantas de alface afetaram o desenvolvimento destas, reduzindo assim o conteúdo de clorofila.

6.5 Conclusão

Conclui-se que os experimentos com calcário e silicato não aumentaram significativamente os teores de clorofila, água da planta e reflectância fotoquímica. Ainda verificou-se que não houve correlação dos valores para as diferentes medições de clorofila. Pode-se observar que o estresse no sistema radicular da cultura, provocado por *M. javanica*, afetou significativamente o desenvolvimento destas. Portanto, são necessários mais estudos sobre o tema abordado.

6.6 Agradecimentos

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa ao primeiro autor, e pelo apoio financeiro, essencial para o desenvolvimento deste trabalho.

6.7 Declaration of conflicting interests

We have no conflict of interest to declare.

6.8 Referências

ABDELAAL, K. A. A.; MAZROU, Y. S. A.; HAFEZ, Y. M. Silicon foliar application mitigates salt stress in sweet pepper plants by enhancing water status, photosynthesis, antioxidant enzyme activity and fruit yield. **Plants**, v. 9, n. 6, p. 733, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants9060733>.

AHMAD, P.; SARWAT, M.; BHAT, N. A.; WANI, M. R.; KAZI, A. G.; TRAN, L. S. P. Alleviation of cadmium toxicity in *Brassica juncea* L.(Czern. & Coss.) by calcium

application involves various physiological and biochemical strategies. **PloS one**, v. 10, n. 1, p. e0114571, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114571>.

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

ARNON, D. I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. **Plant physiology**, v. 24, n. 1, p. 1, 1949.

CUI, D.; LI, M.; ZHANG, Q. Development of an optical sensor for crop leaf chlorophyll content detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 69, n. 2, p. 171-176, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.001>

DALGAARD, P. **Estatísticas introdutórias com R**. Springer, 2008.

FERREIRA, V. S.; SANT'ANNA, C. Impact of culture conditions on the chlorophyll content of microalgae for biotechnological applications. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 1, p. 20, 2017. DOI:10.1007/s11274-016-2181-6.

HE, L.; YU, L.; LI, B.; DU, N.; GUO, S. The effect of exogenous calcium on cucumber fruit quality, photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and fast chlorophyll fluorescence during the fruiting period under hypoxic stress. **BMC plant biology**, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1393-3>.

HOLLBERG, J. L.; SCHELLBERG, J. Distinguishing intensity levels of grassland fertilization using vegetation indices. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 81, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9010081>

KAMBLE, P. N.; GIRI, S. P.; MANE, R. S.; TIWANA, A. Estimation of chlorophyll content in young and adult leaves of some selected plants. **Universal journal of environmental research and technology**, v. 5, n. 6, p. 306-310, 2015. abs

KIM, M. J.; MOON, Y.; TOU, J. C.; MOU, B.; WATERLAND, N. L. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 49, p. 19-34, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>.

MAGHSOUDI, K.; EMAM, Y.; ASHRAF, M. Influence of foliar application of silicon on chlorophyll fluorescence, photosynthetic pigments, and growth in water-stressed wheat cultivars differing in drought tolerance. **Turkish Journal of Botany**, v. 39, n. 4, p. 625-634, 2015. DOI: 10.3906/bot-1407-11.

PEACE, N.; NWAGBARA, M. O. Assessment of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Port Harcourt Metropolis and Environs, from 1986 to 2018: Implication to Urban Greening and Management. **Annals of Geographical Studies**, v. 2, n. 2, p. 25-34, 2019.

REICH, M.; AGHAJANZADEH, T.; PARMARC, S.; HAWKESFORDC, M.; KOK, L. J. Calcium ameliorates the toxicity of sulfate salinity in *Brassica rapa*. **Journal of plant physiology**, v. 231, p. 1-8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.08.014>.

RODRÍGUEZ, R. C.; AGUILAR, L. A. V.; CARTMILL, D. L.; CARTMILL, A. D.; TEJACAL, I. A. Supplementary calcium and potassium improve the response of tomato (*Solanum*

lycopersicum L.) to simultaneous alkalinity, salinity, and boron stress. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 4, p. 505-511, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2016.1141924>.

SANTOS, A. F. B.; TEIXEIRA, G. C. M.; CAMPOS, N. S.; BAIO, F. H. R.; PRADO, R. M.; TEODORO, L. P. R.; VILELA, R. G.; PAIVA, V. B. N.; TEODORO, P. E. Silicon increases chlorophyll and photosynthesis and improves height and NDVI of cotton (*Gossypium hirsutum* L.r.latifolium Hutch). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 548973826, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.3826>.

SAUD, S.; LI, X.; CHEN, Y.; ZHANG, L.; FAHAD, S.; HUSSAIN, S.; SADIQ, A.; CHEN, Y. Silicon application increases drought tolerance of Kentucky bluegrass by improving plant water relations and morphophysiological functions. **The Scientific World Journal**, v. 2014, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/368694>.

SOUZA, J. P. F.; MARTINS, G. L. M.; PEREIRA, A. C.; BINOTTI, F.F.S.; MARUYAMA, W. I. Efeito de silicato de cálcio e magnésio no crescimento inicial de milho transgênico. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 2, n. 3, p. 13-17, 2015.

TANVEER, K.; GILANI, S.; HUSSAIN, Z.; ISHAQ, R.; ADEEL, M.; ILYAS, N. Effect of salt stress on tomato plant and the role of calcium. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 1, p. 28-35, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659324>.

TÉLLEZ, L. I. T.; JIMÉNEZ, A. G.; SEPÚLVEDA, H. F. E.; OLVERA, S. M. R.; BELLO, J. J. B.; MERINO, F. C. G. Silicon induces hormetic dose-response effects on growth and concentrations of chlorophylls, amino acids and sugars in pepper plants during the early developmental stage. **PeerJ**, v. 8, p. e9224, 2020. DOI: 10.7717/peerj.9224.

XAVIER, A. A. O.; MERCADANTE, A. Z.; DOMINGOS, L. D.; VIOTTO, W. H. Desenvolvimento e validação de método espectrofotométrico para determinação de corante à base de luteína adicionado em iogurte desnatado. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2057-2062, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012001000028>.

VIECELLI, C.A.; STANGARLIN, J. R.; KUHN, O. J.; ESTRADA, K. R. F. S. Indução de resistência em feijoeiro a mancha angular por extratos de micélio de *Pycnoporus sanguineus*. **Summa Phytopathologica**, v. 36, n. 1, p. 73-80, 2010.

VOITSEKHOVSKAJA, O. V.; TYUTEREVA, E. V. Chlorophyll b in angiosperms: functions in photosynthesis, signaling and ontogenetic regulation. **Journal of plant physiology**, v. 189, p. 51-64, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.09.013>.

YOUSSEF, S.; ABD EL-HADY, S. A.; NASHWA, A. L.; EL-SHINAWY, M. Z. Foliar application of salicylic acid and calcium chloride enhances growth and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*). **Egyptian Journal of Horticulture**, v. 44, n. 1, p. 1-16, 2017. DOI: 10.21608/ejoh.2017.892.1000.

ZAITUNAH, A.; SAMSURI; AHMAD, A. G; SAFITRI, R. A. Normalized difference vegetation index (ndvi) analysis for land cover types using landsat 8 oli in besitang watershed, Indonesia. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. 2018. p. 1-9. DOI: 10.1088/1755-1315/126/1/012112.

ZHEN, S.; IERSEL, M. W. V. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. **Journal of plant physiology**, v. 209, p. 115-122, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.004>.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se desenvolver dois experimentos que suprissem a necessidade de produtores rurais frente a problemas fitossanitários ocasionados por nematoides na cultura de alface Regina. Porém, no decorrer do trabalho observou-se que nem os tratamentos com calcário e nem os tratamentos com silicato reduziram a colonização da espécie *Meloidogyne javanica* no sistema radicular das plantas.

Portanto, uma das alternativas viáveis para controle de nematoides ainda é a implantação de um sistema sólido de rotação de cultura, com utilização preferencialmente de plantas repelentes, como o caso da crotalaria. Uma outra alternativa a ser utilizada pelos produtores seria a limpeza dos equipamentos, para evitar a disseminação da espécie para outras áreas de cultivo, bem como a semeadura de cultivares resistentes a determinada espécie de nematoide.

Em experimentos futuros, seria interessante trabalhar-se com calcário calcítico, a campo, em vez de calcário dolomítico em vasos, justamente por este apresentar uma concentração maior de cálcio em sua composição. O ideal seria que, além do aumento das doses, também ocorresse aumento no número de dias entre as aplicações e a semeadura.

Quando ao silicato de cálcio e magnésio, sugere-se que também se desenvolva o experimento a campo, com aumento das doses, sendo estas superiores a 500 kg por hectare, com período entre a aplicação e a semeadura de mais de 180 dias.

Outro fato observado foram as baixas concentrações de clorofila a, b, totais e carotenoides em ambos os experimentos, devido ao alto estresse no sistema radicular causado por nematoides.

Portanto, boas concentrações de clorofila e carotenoides, juntamente com uma significativa redução do número de nematoides na área cultivada, garantem ao produtor, uma hortaliça com maior vigor e com boa sanidade vegetal, qualidades que atraem o consumidor e que facilitam a comercialização do produto.