

ADUBAÇÃO SILICATADA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA ALFACE

Henrique Rigo, Emily Cristina Sarmento, Bruno José Dani Rinaldi, Sandro Dan Tatagiba

Instituto Federal Catarinense - Campus Videira/ Rodovia SC 135 KM, 125, Campo Experimental - 89560-000 - Videira-SC, Brasil, autores: henriquerigo1709@gmail.com, emilycristinasarmento7@gmail.com, bruno.rinaldi@ifc.edu.br, sandrodantatagiba@yahoo.com.br

Resumo

O objetivo deste trabalho foi investigar o uso de diferentes doses de silicato de potássio na conservação pós-colheita da alface. Para isso, mudas de alface, variedade crespa, cultivar "Vanda", foram cultivadas em vasos plásticos contendo 5 dm³ de substrato em casa de vegetação, por 45 dias, crescendo com o substrato mantido próximo à capacidade de campo. O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo [0, 3, 6 e 9 dias após a colheita], composto por três doses de adubação silicatada foliar [0, 3 e 6 ml/L de silicato de potássio], com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta de uma planta embalada em sacos de polietileno. As plantas foram condicionadas em uma unidade de refrigeração, por 09 dias. Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), utilizando o software R®. A adubação silicatada contribuiu para a manutenção dos teores de clorofila e da massa fresca das plantas, proporcionando retardo à senescência durante os seis primeiros dias, melhorando a conservação pós-colheita da alface.

Palavras-chave: Fisiologia pós-colheita; Perecibilidade; Silício.

Área do Conhecimento Engenharia Agrônoma - Agronomia.

Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior valor comercial cultivada no Brasil, consumida, preferencialmente, em saladas cruas e sanduíches, sendo apreciada por possuir propriedades ansiolíticas, com alto conteúdo de vitaminas A, B e C, além de cálcio, fósforo, potássio e outros minerais. Além disso, é uma fonte rica em fibra, ferro, folato, ácido ascórbico e outros compostos bioativos. A planta apresenta ciclo curto, sendo o principal órgão consumido, as folhas (Filgueira, 2000).

Um dos principais fatores limitantes na cadeia produtiva dessa hortaliça está relacionado à perda de qualidade durante a comercialização, por apresentar uma rápida deterioração de seus tecidos, podendo ser verificada pela aparência, qualidade sensorial, valor nutricional e microbiológico (Azevedo *et al.*, 2015). Fatores como a temperatura, a umidade e o período de armazenamento na pós-colheita interferem na respiração do vegetal, levando à alteração na coloração verde das folhas e redução da perda de biomassa, os quais são fundamentais para conservação e qualidade na pós-colheita.

Uma alternativa de minimizar as perdas de biomassa, água e coloração das folhas, a fim de propiciar uma melhor conservação na pós-colheita da alface, está à adubação silicatada (Tatagiba *et al.*, 2024). A aplicação de fertilizantes foliares, contendo silício (Si) em formulação está sendo cada vez mais utilizada pelos produtores rurais.

O Si é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo superado apenas pelo oxigênio. No solo, é encontrado apenas em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados, não sendo considerado elemento essencial para as plantas. Entretanto, se destaca como fundamental por contribuir em importantes processos fisiológicos, bioquímicos e físicos de diversas culturas, tornando-se, um nutriente benéfico (Korndorfer; Pereira; Camargo, 2002).

O principal benefício atribuído ao Si é a melhoria na eficiência fotossintética das plantas, através do auxílio na captação da energia luminosa, através da obtenção de folhas mais eretas, na supressão de pragas e microrganismos fitopatogênicos, induzindo reações metabólicas que formam compostos, como fitoalexinas e lignina (Tatagiba *et al.*, 2014). O Si também, potencializa a atividade de enzimas de defesa vegetal, diminuindo aplicações de agroquímicos, melhorando a qualidade do produto

consumido (Silveira *et al.*, 2021). Este elemento atua beneficiando a ação antioxidativa das plantas, em relação ao aumento da temperatura, reduzindo o dano oxidativo causado por moléculas funcionais como o peróxido de hidrogênio (Crusciol *et al.*, 2009). Além disso, o Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal reduzindo o acamamento, pela maior rigidez estrutural dos tecidos (Epstein, 2006).

Nos órgãos vegetais o Si forma uma camada dupla de sílica, fazendo que haja um aumento na rigidez da parede celular, reduzindo a transpiração e conseqüentemente a perda de água pela planta (Tatagiba; DaMatta; Rodrigues, 2016), contribuindo para a qualidade das hortaliças folhosas, como a alface, prolongando o tempo de exposição à prateleira.

Fica evidente que o fornecimento de Si via foliar, através de pequenas quantidades, pode ser uma alternativa viável, suprimindo a necessidade e beneficiando os processos fisiológicos e bioquímicos desejáveis das plantas de alface. Neste sentido, a fim de dar suporte ao agricultor sobre os efeitos da adubação silicatada na qualidade do vegetal, objetiva-se com este trabalho investigar o uso de diferentes doses de silicato de potássio na conservação pós-colheita da alface crespa, cultivar Vanda, cultivadas em ambiente protegido.

Metodologia

O estudo foi realizado no Instituto Federal Catarinense - Campus Videira, localizado na rodovia SC 135, Km 125, bairro Campo Experimental, no município de Videira, estado de Santa Catarina.

Mudas de alface, *Lactuca sativa* L., variedade crespa, cultivar “Vanda”, foram cultivadas no interior de uma casa de vegetação, em vasos plásticos contendo 5 dm³ de substrato, constituído de uma mistura de terra extraída da camada de 0,40 a 0,80 m de profundidade de um Argissolo Vermelho Distrófico e substrato comercial Tropstrato® (Vida Verde, Mogi Mirim, SP) na proporção 3:1, respectivamente. Foi realizada análise granulométrica do substrato, obtendo-se a classificação textural como muito argiloso. Amostras do substrato foram analisadas quimicamente, resultando em boa disponibilidade de bases trocáveis (SB = 28,1 cmolc.dm⁻³), de saturação de bases (V = 88,9%) e de disponibilidade de fósforo (94,8 mg.dm⁻³).

Antes do plantio não foi necessário realizar a correção da acidez do solo (pH = 6,3). As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com o Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC, 2016).

Foi montado um experimento disposto num delineamento inteiramente casualizado, em parcelas subdivididas no tempo [0 (Momento da colheita), 3, 6 e 9 dias após a colheita - período de armazenamento], composto por três doses de adubação silicatada [0 (Tratamento controle), 3 e 6 ml/L de silicato de potássio], com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta de uma planta embalada em sacos de PEBD. As avaliações de conservação pós-colheita foram iniciadas no dia 0 (zero), momento da colheita, e finalizada no dia 09 (nove), sendo realizadas a cada três dias consecutivos, completando 09 dias de armazenamento (tempo de prateleira).

Após ter atingido o crescimento comercial, aos 45 dias, as plantas foram coletadas, identificadas e embaladas individualmente em sacos de polietileno de baixa densidade (PEBD), usado comumente no empacotamento de vegetais processados. Em seguida, foram acondicionadas em uma unidade de refrigeração vertical, mantendo-se a temperatura média de 5°C, por 09 dias.

Para o estabelecimento de água no substrato, foi utilizado o nível de água na capacidade de campo, sendo o controle da irrigação realizado pelo método gravimétrico, adicionando-se água até que a massa do vaso atingisse o valor prévio determinado, considerando-se a massa do solo e de água, conforme metodologia descrita por Freire *et al.* (1980).

A aplicação das doses de Si sobre as folhas foi realizada através de um pulverizador manual com capacidade de 500 mL e um bico tipo leque para aplicação. Plantas controles onde não foram aplicadas o Si, foram pulverizadas com água destilada. Utilizou-se o silicato de potássio, Flex Silício®, nas doses: 0 ml/L (Controle), 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 ml/L em três aplicações realizadas a cada dez DAT das mudas para os vasos (10, 20 e 30 DAT).

Em cada período de armazenamento foi avaliado a matéria fresca da planta obtida através da pesagem da massa (Folhas e caule) utilizando uma balança eletrônica semi analítica (Modelo AD 500S, Marte®).

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

O teor de clorofila *total* foi determinado através de equipamento portátil (ClorofilLOG - Medidor Eletrônico de Teor de Clorofila, modelo CFL1030, Falker®). Os teores de clorofila foram determinados em cada período de coleta, na segunda folha, no sentido de fora para dentro da roseta da planta.

A acidez titulável foi determinada em cada período de coleta, em duplicata utilizando-se a amostra retirada da segunda folha, no sentido de fora para dentro da roseta da planta, as quais foram trituradas com água destilada em liquidificador doméstico na proporção de 1:2 (30g da amostra e 60mL de água destilada). No erlenmeyer, adicionou-se 50 mL de água destilada e três gotas de fenolftaleína alcoólica a 1,0% a 10mL da amostra triturada de alface. Em seguida procedeu-se a titulação com solução de NaOH a 0,1 N, previamente padronizada. Os resultados foram expressos em percentagem (%) de ácido cítrico.

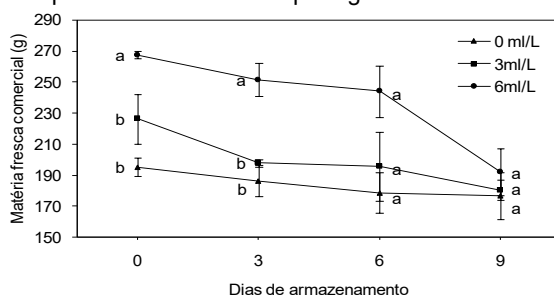
O pH foi determinado através de amostras retiradas da segunda folha, no sentido de fora para dentro da roseta da planta, as quais foram trituradas com água destilada em liquidificador doméstico na proporção de 1:2 (30g da amostra e 60mL de água destilada). Em um becker de 100mL adicionou-se material homogeneizado e realizou-se a leitura em um potenciômetro digital modelo (HI 9321 da Hanna Instruments®) calibrado com soluções tampão de pH 4, 0 e 7,0.

Os dados foram submetidos à análise de variância e os tratamentos comparados pelo teste de Tukey (5% de probabilidade) utilizando o programa o software R®, versão 4.3.2.

Resultados

Para a matéria fresca das plantas, houve diferença significativa entre as doses de adubo silicatado após zero, três e seis dias de armazenamento. No entanto, não foi encontrada diferença após 9 dias de armazenamento (Figura 1). No dia 0 (Zero) de armazenamento, momento da colheita, as doses de 3,0 ml/L e 0 ml/L de silicato de potássio (Controle) apresentaram reduções significativas na média da matéria fresca em 15,4 e 27,1%, em comparação as plantas mantidas sob a dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio. No terceiro dia de armazenamento, as doses de 3,0 e 0,0 ml/L de silicato de potássio, proporcionaram reduções de 21,3 e 25,9%, respectivamente, em relação às plantas mantidas sob a dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio. Após seis dias de armazenamento, as reduções foram de 19,6 e 26,8% para a dose de 3,0 e 0,0 ml/L, respectivamente, em comparação a dose de 6,0ml/L de silicato de potássio, evidenciando que a adubação silicatada, aplicada via foliar, pode contribuir para a conservação pós-colheita da matéria fresca das plantas de alface, levando a uma menor perda de massa, como observado até o sexto dia de armazenamento.

Figura 1. Valores médios da matéria fresca da alface crespa, minimamente processada, submetida a diferentes doses de silicato de potássio em ambiente protegido e armazenadas a 5 °C, por 09 dias.

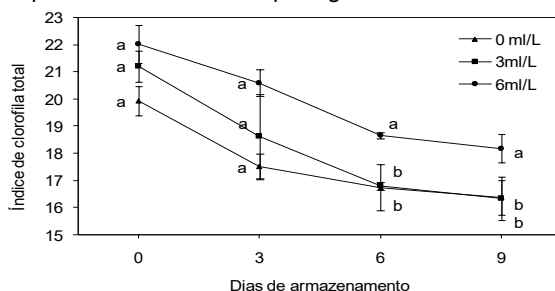


*Médias seguidas por mesma letra em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para o índice de clorofila *total* foi verificada diferenças no sexto e nono dias de armazenamento (Figura 2C). No sexto dia, houve reduções no índice de clorofila total de 7,9 e 10,1% para as doses de 3,0 ml/L e 0,0ml/L de silicato de potássio, respectivamente, em comparação a dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio. Enquanto para o nono dia de armazenamento, houve reduções de 8,6 e 11,6% para as doses de 3,0 ml/L e 0,0ml/L de silicato de potássio, respectivamente em relação à dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio, indicando, dessa forma, que a adubação silicatada beneficiou a conservação pós-colheita dos teores de clorofila total em alface. Fica evidente que a degradação da clorofila, durante os nove dias de armazenamento foi significativa, e que o uso de Si contribuiu para a manutenção da cor verde nas folhas de alface, encontrando-se aptas para o consumo, até o final do armazenamento.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

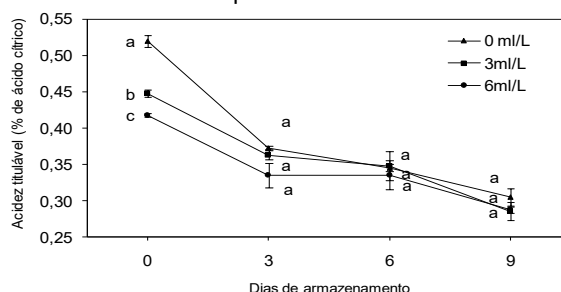
Figura 2. Valores médios do índice de clorofila total em alface crespa, minimamente processada, submetida a diferentes doses de silicato de potássio em ambiente protegido e armazenadas a 50C, por 09 dias.



*Médias seguidas por mesma letra em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Em relação aos valores médios da acidez titulável (Figura 3), no dia 0 de armazenamento, houve diferenças entre as doses, enquanto nos demais dias de armazenamento não foi verificada diferenças significativas.

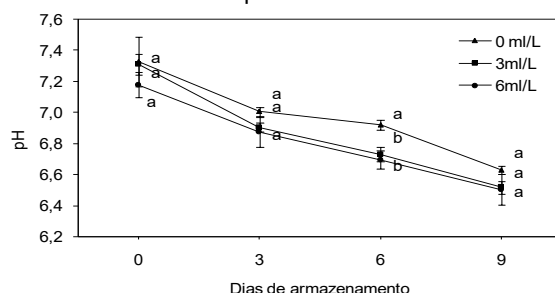
Figura 3. Valores médios da acidez titulável (% de ácido cítrico) em alface crespa, cultivar Vanda, minimamente processada, submetida a diferentes doses de silicato de potássio em ambiente protegido e armazenadas a 50C, por 09 dias.



*Médias seguidas por mesma letra em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Para o potencial hidrogeniônico (pH), verificou-se que apenas no sexto dia de armazenamento houve diferenças significativas. Nos demais períodos, 0, 3 e 9 dias de armazenamento não houveram diferenças significativas para as médias de pH.

Figura 4. Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH) em alface crespa, cultivar Vanda, minimamente processada, submetida a diferentes doses de silicato de potássio em ambiente protegido e armazenadas a 50C, por 09 dias.



*Médias seguidas por mesma letra em cada período de armazenamento, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p < 0,05$). Barras em cada ponto representam o erro padrão da média. Fonte: Elaborado pelo próprio autor.

Discussão

O Si pode acumular nas células epidérmicas e nas paredes dos estômatos na forma de H_4SiO_4 (ácido monossilícico). Ao se polimerizar, o Si diminui a flexibilidade das paredes dos estômatos e a

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

tendência é de permanecerem mais fechados. Com os estômatos mais fechados, a transpiração diminui e também a perda de água (Taiz *et al.*, 2024). Assim, o papel do Si na conservação pós-colheita pode estar ligado ao fato deste elemento participar na estruturação da parede celular em plantas de alface, elevando o conteúdo de hemicelulose e lignina, aumentando assim, a rigidez da célula, regulando a transpiração e fazendo com que a planta perca menos água (Epstein, 2006). Fato observado para a matéria fresca das plantas mantidas na dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio até o sexto dia de armazenamento. Gonzaga *et al.* (2020), usando a adubação silicatada no substrato para produção de mudas de alface, cultivares Mônica SF31 e Rafaela recomendaram mais especificamente, o silicato de cálcio, como uma alternativa para o melhor desempenho na matéria fresca e seca da parte aérea das plantas. A aplicação foliar de Si, também incrementou a matéria fresca e seca da parte aérea das plantas de alface em estudo realizado por Neves *et al.*, (2020), o qual esteve relacionado à função do Si, proporcionando maior rigidez estrutural dos tecidos.

O uso de Si contribuiu para a manutenção da cor verde nas folhas de alface, encontrando-se aptas para o consumo, até o final do armazenamento. Resultados encontrados por Galati *et al.* (2015), estudando a aplicação de adubação silicatada em alface americana 'Lucy Brown', minimamente processada e armazenada por 16 dias, verificaram que os teores de clorofila total mantiveram estáveis durante o período de armazenamento, entretanto, o tratamento controle (0,0 mg/L de silicato de potássio) apresentou as menores médias (60 mg g de matéria fresca), não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos.

As mudanças de pigmentação são muito importantes para a qualidade e conservação pós-colheita da alface. As perdas da clorofila em hortaliças folhosas constituem um fator de relevância na qualidade dos produtos minimamente processados durante o período em que estão expostos ao armazenamento. O teor de clorofila tem sido utilizado como indicativo da vida útil de prateleira em alface, bem como do grau de frescor desses produtos.

Para o potencial hidrogeniônico (pH), verificou-se que apenas no sexto dia de armazenamento houve diferenças significativas. Nos demais períodos, 0, 3 e 9 dias de armazenamento não houveram diferenças significativas para as médias de pH. Bezerra Neto *et al.* (2006) trabalhando com plantas de alface da cultivar 'Tainá' em consórcio com cenoura nas condições de Mossoró, RN, encontrou uma variação no pH de 6,17 a 6,27. O pH em alface pode ser influenciado pelas condições ambientais e nutricionais, podendo variar também de cultivar para cultivar. No presente estudo, o pH, variou muito pouco, apresentando os valores mínimo e máximo de 6,5 a 7,3; encontrados na dose de 6,0 e de 0,0 ml/L de silicato de potássio, respectivamente.

A acidez titulável e o pH são variáveis importantes na avaliação do uso da adubação silicatada foliar em plantas, pois quando se analisa o nível de aceitação de um produto pelo consumidor, se este encontrar excessivamente ácido pode vir a ser rejeitado.

Conclusão

A adubação silicatada contribuiu para a preservação contra os danos oxidativos, na manutenção dos teores de clorofila e da massa fresca das plantas, proporcionando um retardo à senescência e consequentemente uma melhor conservação pós-colheita da alface, podendo prolongar a vida útil na dose de 6,0 ml/L de silicato de potássio. No entanto, a aplicação de silicato de potássio de forma geral, não afetou a acidez titulável e o pH da alface ao longo do período de armazenamento.

Referências

AZEVEDO, A. M.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; PEDROSA, C. E.; OLIVEIRA, C. M. Agrupamento multivariado de curvas na seleção de cultivares de alface quanto à conservação pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 33, p. 362-367, 2015.

BEZERRA NETO, F.; JÚNIOR, A. P. B.; SILVA, E. O.; NEGREIROS, M. Z.; OLIVEIRA, E. Q.; SILVEIRA, L. M.; CÂMARA, M. 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, p. 476-480, 2006.

A Ciência do NANO e seu impacto transformador no MACRO

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 2016. 376p.

CRUSCIOL, C. A. C.; PULZ, A. L.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; LIMA, G. P. P. Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. **Crop Science**, v. 49, p. 949-954, 2009.

EPSTEIN; BLOM, A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas**. Londrina, BR: Planta, p.403, 2006.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV. 2000. 402 p.

FREIRE, J. C.; RIBEIRO, M. V. A.; BAHIA, V. G.; LOPES, A. S.; AQUINO, L. H. Respostas do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 5-8, 1980.

GALATI, V. C.; GUIMARÃES, J. E. R.; MARQUES, K. M.; FERNANDES, J. D. R.; FILHO, A. B. C.; MATTIUZ, B. H. Aplicação de silício, em hidroponia, na conservação pós-colheita de alface americana “Lucy Brown” minimamente processada. **Ciência Rural**, v. 45, p. 1932-1938 2015.

GONZAGA, T. O. D.; ARAÚJO, C.; ANDRADE, A. L.; RIBEIRO-SANTOS, J. M.; SILVA, G. B.; SILVA, V. L. Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa*) submetidas a diferentes doses de silício. **Scientific Eletronic Archives**, v.13, p. 1-7, 2020.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA H. S.; CAMARGO M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 3p (GPSi-ICIG-UFU). Boletim Técnico, nº 01, 2002.

NEVES, M. G.; SILVA JÚNIOR, M. L.; OLIVEIRA NETO, C. F., OKUMURA, R. S. Silicon on growth and development of lettuce plants. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, p. 2330-2337, 2020.

SILVEIRA, P. R.; CRUZ, M. F. A.; PÉREZ, C. E. A.; RODRIGUEZ, F. A. Biochemical and physiological changes in maize plants supplied with silicon and infected by *Exserohilum turcicum*. **Journal of Phytopathology**, v. 169, p. 393-408, 2021.

TATAGIBA, S. D.; RODRIGUES, F. A.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; SILVA, C. S. Physiological responses of Rice plants supplied with silicon to *Monographella Albescens* infection. **Journal of Phytopathology**, v. 27, p. 597-606, 2014.

TATAGIBA, S. D.; DAMATTA, F. M.; RODRIGUES, F. A. Silicon partially preserves the photosynthetic performance of rice plants infected by *Monographella albescens*. **Annals of Applied Biology**, v. 168, p. 111-122, 2016.

TATAGIBA, S. D.; RIGO, H.; SARMENTO, E. C.; RINALDI, B. J. D.; GONÇALVES, A. C. Aspectos físico-químicos da adubação silicatada foliar em alface. **Scientific electronic archives**, v. 17, p. 1-9, 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, MOLLER, I. M; MURPHY, A. E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 7ª Edição. Porto Alegre. Artmed, 2024, 864p.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal Catarinense - Campus Videira, concedendo bolsas de iniciação científica, através do Edital nº 8 / 2023 - Gabinete/Videira, aos alunos Emilly Cristina Sarmento e Henrique Rigo.