



GIULIA NAYARA DUARTE

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E/OU
SILÍCIO NO MORANGUEIRO**

**LAVRAS-MG
2023**

GIULIA NAYARA DUARTE

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E/OU SILÍCIO NO
MORANGUEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Prof^ª Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora
Prof^ª Dra. Maria Lígia de Souza Silva
Coorientador

**LAVRAS - MG
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Duarte, Giulia Nayara.

Efeito da aplicação foliar de cálcio e/ou silício no morangueiro
/ Giulia Nayara Duarte. - 2023.
73 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Coorientador(a): Maria Ligia de Souza Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Rede neural artificial. 2. Kohonen. 3. Fragaria x ananassa. I.
Resende, Luciane Vilela. II. Silva, Maria Ligia de Souza. III. Título.

GIULIA NAYARA DUARTE

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE CÁLCIO E/OU SILÍCIO NO
MORANGUEIRO**

**EFFECT OF THE FOLIAR APPLICATION OF CALCIUM AND/OR SILICON ON
STRAWBERRY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 30 de março de 2023.

| | |
|---------------------------------|--------|
| Dr. Luis Felipe Lima e Silva | UFLA |
| Dr. Lenilton Santos Soares | UFLA |
| Dr. Sebastião Marcio de Azevedo | UFLA |
| Dra. Daniela da Hora Farias | EMATER |

Dra. Luciane Vilela Resende
Orientadora

Dra. Maria Ligia de Souza Silva
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

A todos que me ajudaram ao longo dessa jornada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força e coragem para superar as dificuldades, ânimo diante do cansaço e sabedoria para enfrentar este desafio.

À minha família que me inspira a realizar meus sonhos e apoia em todas as dificuldades.

A meus pais José Francisco (Chiquinho) e Lusimeire (Lucinha) que mesmo diante das dificuldades possibilitaram minha chegada até aqui, pois acreditam e me ensinaram que “a única coisa que ninguém nos tira é o conhecimento”.

Aos meus irmãos Roger, Ruan e Giuliana pelo carinho, apoio e incentivo nas minhas conquistas.

Ao Léo pelo amor, paciência, companheirismo e parceria em mais essa conquista.

À Luciane e a Maria Ligia pela orientação, confiança, oportunidade e disponibilidade.

Ao Paulo Ossani e Luis Felipe pelo apoio na consolidação da tese.

Aos anjos da Horta Stefany, Valdeci, Marcelinho, Natalie, Raiane, Fabiana, Jussara, Lissa e Jandeilson pelo IMENSO AUXÍLIO na execução do experimento.

Aos amigos do Horto medicinal pelo carinho, parceria e motivação, em especial ao Leandro Simão (Dico), por não deixar eu desistir diante das dificuldades e ao Paulo Vitor (*in memoria*).

À Hanna, Caio, Ana Beatriz, Elídio, Alexandre, Gilson, Elisângela e Eduardo do Departamento de Ciências dos Alimentos pela disponibilidade e confiança.

A Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia pela oportunidade de cursar o doutorado e contribuir na minha formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à pesquisa do estado de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Empresa Valagro pela concessão dos fertilizantes utilizados.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho.

RESUMO GERAL

O morango (*Fragaria x ananassa*) é uma fruta de cor, aroma e sabor muito atraentes aos consumidores, no entanto, é altamente perecível, pois apresenta elevada taxa transpiratória e curta vida útil. Neste sentido, objetivou-se avaliar a influência da aplicação foliar de cálcio e/ou silício em três genótipos de morango (Albion, Pircinque e Clone-23) sobre as características agronômicas, fisiológicas, minerais e na qualidade pós-colheita. Para isto foram conduzidos dois experimentos onde se avaliaram: produção total, produção/planta, nº de frutos/planta, peso médio geral, peso médio comercial, peso médio não comercial, % frutos comerciais, % de frutos comerciais deformados, % de frutos não comerciais deformados, % frutos podres, % umidade, pigmentos fotossintéticos, macro e micronutrientes, assim como parâmetros relacionados a pós-colheita. Observou-se que os tratamentos que receberam adubação suplementar com Ca e/ou Si aumentaram a produção total, o nº de frutos/planta, a produção/planta e reduziram a % de frutos podres, a % umidade e a % de frutos deformados. Sendo que a cultivar Pircinque se destaca pelos melhores resultados de produção total, produção/planta, nº de frutos/planta, menor % de umidade, menor % de frutos deformados e menor % frutos podres comparado ao Albion e ao Clone-23. A adubação suplementar não surtiu efeito nas variáveis fotossintéticas de clorofila A, clorofila B, clorofila total, carotenoides e SPAD. Quanto aos minerais observou que o Ca foliar pode potencializar a absorção de Si pelas folhas, no entanto, a aplicação foliar de Si pode prejudicar a absorção de Ca, inclusive da solução de fertirrigação. Observou-se na pós-colheita efeito mais pronunciado dos genótipos sobre os atributos de qualidade dos frutos, em função do tempo de armazenamento. A cultivar Pircinque apresentou melhores atributos de aparência, menor perda de massa, maior firmeza, maior teor de sólidos solúveis, sendo externamente menos vermelhos e internamente mais avermelhado do que o Albion e o Clone-23. Conclui-se que a aplicação foliar com Ca e/ou Si influencia de forma positiva nas características agronômicas e minerais do morangueiro, embora o uso do Si necessite de cautela pois pode afetar a absorção de nutrientes como o Ca. A qualidade pós-colheita reduz com o tempo de armazenamento, entretanto, a adubação suplementar contribuiu na manutenção das características físico-químicas dos frutos ao longo do tempo de armazenamento.

Palavras chave: Pircinque. Albion. Rede neural artificial. Kohonen. *Fragaria x ananassa*.

ABSTRACT

The strawberry (*Fragaria x ananassa*) It is a fruit whose color, aroma and flavor are very attractive to consumers. However, it is highly perishable, as it has a high transpiration rate and a short shelf life. In this sense, the objective was to evaluate the influence of foliar application of calcium and/or silicon in three strawberry genotypes (Albion, Pircinque and Clone-23) on the agronomic, physiological, mineral and post-harvest quality characteristics. For this, two experiments were carried out where the following were evaluated: total production, production/plant, number of fruits/plant, general average weight, commercial average weight, non-commercial average weight, % commercial fruits, % deformed commercial fruits, % non-commercial fruits deformed commercials, % rotten fruit, % moisture, photosynthetic pigments, macro and micronutrients, as well as parameters related to post-harvest. It was observed that the treatments that received additional fertilization with Ca and/or Si increased the total production, the number of fruits/plant, the production/plant and reduced the % of rotten fruits, the % humidity and the % of deformed fruits. Since the Pircinque cultivar stands out for the best results of total production, production/plant, number of fruits/plant, lower % moisture, lower % deformed fruit and lower % rotten fruit compared to Albion and Clone-23. Supplementary fertilization had no effect on the photosynthetic variables of chlorophyll A, chlorophyll B, total chlorophyll, carotenoids and SPAD. As for the minerals, it was observed that foliar Ca can enhance the absorption of Si by the leaves, however, the foliar application of Si can impair the absorption of Ca, including from the fertirrigation solution. It was observed in the post-harvest more pronounced effect of genotypes on fruit quality attributes as a function of storage time. The Pircinque cultivar showed better appearance attributes, less mass loss, greater firmness, higher soluble solids content, being externally less red and internally more reddish than Albion and Clone-23. It is concluded that the foliar application with Ca and/or Si positively influences the agronomic and mineral characteristics of the strawberry plant, although the use of Si requires caution as it can affect the absorption of nutrients such as Ca. The post-harvest quality decreases with storage time, however, supplementary fertilization contributed to the maintenance of the physicochemical characteristics of the fruits throughout the storage period.

Keywords: Pircinque. Albion. Artificial neural network. Kohonen. *Fragaria x ananassa*.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| PRIMEIRA PARTE | 9 |
| 1 INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 10 |
| 2.1 Origem e botânica do morangueiro | 10 |
| 2.2 Importância socioeconômica do morangueiro | 11 |
| 2.3 Nutrição do morangueiro..... | 12 |
| 2.4 Cultivo semi-hidropônico..... | 13 |
| 2.5 Qualidade pós-colheita dos morangos | 14 |
| 2.6 Cálcio no morangueiro..... | 14 |
| 2.7 Silício no morangueiro | 16 |
| 2.8 Demanda de cálcio e silício pelo ser humano | 17 |
| 2.9 Biofortificação..... | 18 |
| 2.10Melhoramento genético..... | 19 |
| 2.11Inteligência artificial | 21 |
| REFERÊNCIAS | 23 |
| SEGUNDA PARTE – ARTIGOS | 29 |
| ARTIGO 1 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS E MINERAIS DE MORANGOS ADUBADOS COM CÁLCIO E/OU SILÍCIO FOLIAR | 29 |
| 1 INTRODUÇÃO | 30 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 31 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 4 CONCLUSÕES | 45 |
| REFERÊNCIAS | 46 |
| APÊNDICE | 50 |
| ARTIGO 2 - REDES NEURAIS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MORANGOS ADUBADOS COM CÁLCIO E/OU SILÍCIO FOLIAR | 51 |
| 1 INTRODUÇÃO | 52 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 53 |
| 3 RESULTADOS..... | 56 |
| 4 DISCUSSÃO..... | 62 |
| 5 CONCLUSÕES | 65 |
| REFERÊNCIAS | 66 |
| APÊNDICE | 70 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de frutas, ficando atrás da China e da Índia. Dentre as frutas cultivadas encontram-se o grupo de pequenas frutas, no qual está inserida a cultura do morango, sendo esta a espécie de maior expressão em área cultivada e volume produzido. O morango é cultivado no Brasil nas regiões de clima subtropical e temperado, sendo que os maiores produtores se concentram nos estados de Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul e São Paulo (ANTUNES; BONOW; REISSER JUNIOR, 2020; ANTUNES et al., 2013).

O morango é uma fruta de cor, aroma e sabor muito atraente aos consumidores, além do que tem alto valor nutricional, pois apresentam compostos promotores de saúde, como macro e micronutrientes, vitaminas, com destaque para a vitamina C e alta capacidade antioxidante (MULEY et al., 2022; ROSA et al., 2013; TEMPERADO, 2016). A fruta é altamente perecível, pois apresenta elevada taxa transpiratória e curta vida útil, a qual pode ser ainda menor se as frutas sofrerem impactos durante a colheita, transporte e comercialização. Os ferimentos causados permitem a entrada de microrganismos que deterioram e diminuem a qualidade dos morangos (TEMPERADO, 2016).

A fragilidade do morango faz com que a vida útil seja muito curta, em torno de cinco dias após a colheita, sendo que as perdas pós-colheita ficam em torno de 30-45% (HENZ, 2017). Sabe-se que após a colheita a qualidade não pode ser melhorada, por isso cuidados na pré-colheita devem ser adotados. No manejo da cultura a nutrição dos morangueiros é uma das principais práticas responsáveis pelo aumento da produtividade, qualidade e conservação pós-colheita, sendo que elementos como cálcio e silício têm despertado interesse (FREIRE JUNIOR; SOARES, 2014).

O silício é um elemento benéfico que melhora a arquitetura das folhas, reduz o acamamento, reduz incidência de pragas e doenças, reduz a transpiração e melhora a eficiência fotossintética. Sendo que o aumento da taxa fotossintética das plantas contribui para aumentar a quantidade de fotoassimilados, culminando em maior desenvolvimento e crescimento das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; FAQUIN, 2005; SILVA et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

O cálcio está envolvido na divisão celular, é responsável pela estabilidade estrutural e fisiológica dos tecidos das plantas, regula processos de permeabilidade das células e atua como ativador enzimático. No morango a deficiência de cálcio reduz a produtividade, diminui a

qualidade dos frutos, reduz a capacidade de conservação, reduz o teor de açúcar e acidez (PASSOS; TRANI, 2013).

Diante da importância do Ca e efeito benéfico do Si, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da adubação foliar de cálcio e/ou silício nas características agrônômicas, fisiológicas, minerais e de pós-colheita de cultivares de morango.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e botânica do morangueiro

O morango (*Fragaria x ananassa*) originou-se na França em 1750 através da hibridização entre *Fragaria chiloensis* Mill e *Fragaria virginiana* Duch espécies naturais das américas (RONQUE, 1998; VAUGHAM; GEISSLER, 1997). O morango é uma angiosperma dicotiledônea pertencente à família Rosaceae e ao gênero *Fragaria* (BRINGHURST; GALLETA, 1990). As espécies de morango possuem número básico de cromossomos $x=7$, tendo espécies diploides, tetraploides, hexaploides, octaploides e decaploides, sendo a espécie comercial *Fragaria ananassa* Duchesne um híbrido octaploide, a qual recebeu este nome em homenagem ao primeiro pesquisador a trabalhar com melhoramento do morangueiro em 1766, o botânico Antonie Nicolas Duchesne (DARROW, 1966; SMARTT; SIMMONDS, 1995).

A planta do morango é constituída por rizoma/coroa, sistema radicular e o foliar. A coroa (caule) é o principal órgão de reserva da planta, sendo que a partir dela originam-se raízes, folhas, estolões e inflorescências. A planta apresenta raízes primárias que originam da coroa e raízes secundárias que originam das raízes primárias, sendo as raízes secundárias responsáveis pela absorção de água e nutrientes. As folhas são constituídas por três folíolos que são inseridas no pecíolo, sendo que nas gemas axilares das folhas dependendo do fotoperíodo e da temperatura originam-se os estolões, as coroas secundárias e as inflorescências (BUCCI, 2010).

Os estolões são estruturas flexíveis, que se desenvolvem em contato com o solo, a partir da roseta foliar crescem as raízes, originando novas plantas independentes. A produção de estolões começa quando o comprimento do dia é maior que 12 horas e a temperatura está entre 22 e 24°C. Os estolhos desenvolvem de forma intensa após a frutificação e durante o verão, sendo que a retirada destes estolhos favorece a ramificação do caule, aumentando assim a superfície foliar e a fotossíntese, além de poupar o gasto de energia da planta (RONQUE, 1998).

As flores do morango são no geral hermafroditas, no entanto pode existir flores unissexuais masculinas ou femininas em algumas cultivares (RONQUE, 1998). As flores apresentam cinco sépalas, cinco pétalas, são mais de 20 estames localizados ao redor do

receptáculo, podendo as anteras serem férteis ou não, e apresentam de 200 e 400 pistilos (BORTOLOZZO; VALDEBENITO SANHUEZA; et al., 2007).

As flores são agrupadas em inflorescência do tipo cimeira, quando os pistilos são fecundados originam-se os frutos (aquênios), desta forma o morango é considerado uma infrutescência, onde a parte comestível é o receptáculo floral carnoso, de polpa vermelha chamado de pseudofruto (BUCCI, 2010). Os pseudofrutos do morango são considerados não climatéricos, o que indica que a colheita deve ser realizada próximo da maturação para que tenha as características organolépticas desejáveis para o consumo (FLORES CANTILLANO; DA SILVA, 2010).

Atualmente são plantadas dois tipos de cultivares de morango, as cultivares de dias neutros que são insensíveis ao fotoperíodo e florescem em temperaturas entre 10 e 28 °C e as cultivares de dias curtos que precisam de fotoperíodo com menos de 14 h e florescem em temperaturas menor que 15 °C (DURNER, 2015; TEMPERADO, 2016).

No Brasil ainda predomina o cultivo de morango de dia curto, no entanto estas cultivares em condições de temperatura elevada e dias longos tem sua produção reduzida, isto faz com que tenha menor oferta de morango no mercado. Entretanto, cultivares de dia neutro garantem maior produção nos períodos mais quentes, uma vez que são menos sensíveis aos estímulos de fotoperíodo e temperatura. Produzir morango na entressafra é uma das vantagens de se utilizar cultivares de dia neutro (STRASSBURGER et al., 2010).

Dentre as principais cultivares de morango usadas no Brasil encontra-se a Pircinque, Oso Grande, Camarosa, Camino Real, Ventana, Festival e Palomar que são de dia curto e Aromas, Diamante, Albion, Portola, San Andreas e Monterey que são cultivares de dia neutro (TEMPERADO, 2016).

2.2 Importância socioeconômica do morangueiro

A cultura do morangueiro tem uma importância social muito grande, pois mobiliza produtores em diversas escalas produtivas, que oferecem vários empregos no campo. No Brasil há indícios que a introdução do morango ocorreu por volta de 1950, no sul de Minas Gerais, no município de Estiva (TEMPERADO, 2016).

As propriedades que destinam ao cultivo de morango no Brasil possuem área cultivada em torno de 0,5 a 1,0 hectare, podendo também ser encontradas áreas maiores em torno de 15 ha, as quais pertencem a grandes empresas (ANTUNES; BONOW; REISSER JUNIOR, 2020).

A cultura do morango assume importância econômica e social, pois muitas das vezes é a principal fonte de renda gerada pelas famílias nas pequenas propriedades.

Na classificação dos pequenos frutos o morango é a espécie de maior expressão em área cultivada e volume produzido, diante disso tem se tornado uma opção para o agronegócio (ROSA et al., 2013; TEMPERADO, 2016).

O Brasil é o 8º maior produtor de morango com 218881 toneladas, com produtividade média em torno de 41,5 t/ha. Entretanto, apesar dos avanços nos últimos anos, a produtividade nacional ainda se encontra abaixo de países como Estados Unidos e Holanda, que apresentam produtividade média de 60,7 e 51,0 t/ha, respectivamente. No entanto, o Brasil apresenta produtividade superior a China (26,2 t/ha) que lidera o ranking de área cultivada com 127171 ha de morango (FAO, 2020).

Cerca de 90 % da produção brasileira é comercializada no mercado interno, na forma *in natura*, entretanto, existe uma demanda reprimida de consumo, o que significa que a cultura ganhará maior importância econômica, indicando uma necessidade de maior eficiência no manejo da cultura (TEMPERADO, 2016).

Minas Gerais é o maior estado produtor, com 50,77% do total produzido no país (ANTUNES; BONOW; REISSER JUNIOR, 2020). Sendo que nos municípios de Pouso Alegre, Bom Repouso e Estiva se concentram a maior produção mineira, o restante da produção advém de mais outros 40 municípios, que juntamente aos maiores produtores envolvem em torno de 5,9 mil produtores que geram 15 mil empregos diretos e outros 24 mil indiretos (TEMPERADO, 2016).

2.3 Nutrição do morangueiro

A adubação é uma das práticas mais importantes para a cultura do morango, pois visa suprir as carências nutricionais dos substratos a fim de garantir produtividade satisfatória. As recomendações de adubação para morango no Brasil ocorrem de forma regionalizadas, baseadas em manuais de interpretação e recomendação para os principais estados produtores (ANTUNES et al., 2013).

O potássio é o nutriente mais exigido pelo morangueiro, seguido pelo nitrogênio, cálcio, fósforo, magnésio e enxofre (ANTUNES et al., 2013; PASSOS; TRANI, 2013). A adubação pode ser realizada no plantio, no momento de preparo dos canteiros ou após o plantio das mudas, por meio da fertirrigação ou adubações foliares (ANTUNES et al., 2013).

Em lavouras de alta produtividade, nos picos de produção, podem aparecer sintomas de deficiências nutricionais nas folhas em razão da redistribuição dos nutrientes para os frutos, o que evidencia a necessidade da complementação nutricional, seja via solo, fertirrigação e/ou via foliar (PASSOS; TRANI, 2013).

Para que as plantas tenham bom desenvolvimento, os nutrientes devem ser fornecidos de forma equilibrada e balanceada. Não obstante, os nutrientes devem estar disponíveis para a absorção radicular das plantas. Fatores externos como o teor do elemento no solo, pH, aeração, umidade, matéria orgânica, temperatura e presença de outros íons afetam a disponibilidade dos nutrientes. Já o potencial genético, o nível de carboidrato na raiz, a intensidade transpiratória e a morfologia das raízes são fatores internos que influenciam na capacidade de absorção das plantas (FAQUIN, 2005).

A adubação foliar deve ser vista como complementação à adubação radicular principalmente para os macronutrientes. Sendo a maior vantagem da adubação foliar, o alto índice de aproveitamento dos nutrientes, pois nas folhas os nutrientes estão prontos para serem absorvidos, já no solo os nutrientes podem ser lixiviados ou estarem insolúveis, contudo, o efeito residual das adubações via solo são maiores que da via foliar (FAQUIN, 2005).

2.4 Cultivo semi-hidropônico

O cultivo convencional em solo vem sendo substituído pelo cultivo do morango em sistema semi-hidropônico, pois esta forma de cultivo proporciona facilidade do manejo em função da ergonomia, reduz problemas fitossanitários, possibilita estender o período de cultivo, já que favorece fatores ligados a produção e qualidade dos frutos (PIOVESAN et al., 2019) (DUARTE et al., 2022).

No sistema semi-hidropônico pode se aumentar a produtividade em virtude da otimização da área de cultivo com maior número de plantas por m² e suprimento das demandas nutricionais por meio da fertirrigação. Dentre as vantagens do cultivo semi-hidropônico destaca-se o cultivo protegido, aonde minimiza efeitos climáticos como geadas e granizos, reduz a incidência de pragas, doenças e patógenos de solo já que utiliza substrato inerte, além do que sem o contato com a terra, os frutos são mais bonitos, uniformes e de boa qualidade. Como desvantagem, o plantio semi-hidropônico requer profissionais mais capacitados e com conhecimento da tecnologia empregada e o custo de implantação, que costuma ser mais caro que o cultivo no chão em função de toda estrutura a ser construída (DIEL et al., 2017; SANHUEZA, 2007).

As adubações no sistema semi-hidropônico são realizadas por meio de soluções nutritivas adquiridas prontas ou formuladas por técnicos, que são incorporadas às fertirrigações. As aplicações dos nutrientes são realizadas semanalmente baseadas na condutividade elétrica devendo ficar entre 1,4 – 1,5 mS/cm (BORTOLOZZO; VALDEBENITO-SANHUEZA; et al., 2007).

2.5 Qualidade pós-colheita dos morangos

A qualidade envolve um conjunto de atributos presentes nos frutos que determinam sua aceitação pelo consumidor, dentre eles aparência, durabilidade, sabor, aroma, textura, valor nutricional e inocuidade que proporcionam desejo aos consumidores (MDITSHWA et al., 2017).

A qualidade dos morangos está condicionada a fatores da pré-colheita como práticas culturais, adubação, tratamento fitossanitário, qualidade da muda, condições climáticas e disponibilidade de água. Os fatores ligados a pós-colheita são o ponto de colheita, o manuseio dos frutos, a temperatura e umidade relativa nas quais os frutos são armazenados, sendo que todos estes fatores influenciam na obtenção de frutos de qualidade (TEMPERADO, 2016).

Dos atributos de qualidade, a textura do morango é um dos mais crítico para os produtores e comerciantes. Em função da alta fragilidade aos danos, os morangos rapidamente perdem a firmeza dos frutos, aumentando a susceptibilidade ao ataque por microrganismos, reduzindo então a vida útil dos frutos (TUFIK, 2017).

A firmeza do morango é afetada pela turgidez das células, pela estrutura e composição da parede celular. O amolecimento do morango está associado à degradação da lamela média, devido a ação de enzimas tais como poligalacturonase, celulase, pectina metil esterase e pectato liase, que aumentam a solubilização da pectina (PAYASI et al., 2009).

Sabe-se que após a colheita a qualidade não pode ser melhorada, por isso investir em técnicas pré-colheita podem ser atraentes. Plantas nutricionalmente equilibradas aumentam a produtividade, a qualidade dos frutos e reduzem as perdas pós-colheita (FREIRE JUNIOR; SOARES, 2014).

A relação entre nutrição e qualidade pode ser observada no trabalho de Yamamoto et al. (2011) aonde a aplicação de cálcio preservou a firmeza dos frutos, reduziu a taxa transpiratória e a produção de etileno, prolongando assim a vida útil dos frutos. No trabalho de Silva et al. (2013) foi observado que o silício no morangueiro aumentou produção e o teor de antocianinas.

2.6 Cálcio no morangueiro

No morangueiro o cálcio é o terceiro nutriente mais exigido pela cultura, ficando atrás apenas do potássio e nitrogênio (ANTUNES et al., 2013). O cálcio é absorvido, da solução do solo, pelas raízes na forma de Ca^{2+} , sendo transportado via xilema das raízes para a parte aérea bombeado pela transpiração das plantas (HOCKING et al., 2016).

Como os frutos apresentam menor transpiração comparada ao restante da planta, a deposição de cálcio (via xilema) pode ser insuficiente, levando a distúrbios que afetam o desenvolvimento e reduzem a qualidade dos frutos (HOCKING et al., 2016), deixando claro a importância da aplicação de cálcio nas folhas e frutos do morango.

A deficiência de cálcio promove necrose nas regiões meristemáticas (ápices de raízes e folhas jovens), crescimento radicular insuficiente e na maioria das vezes as raízes ficam escuras e apodrecem (TAIZ et al., 2017). O cálcio não é redistribuído dentro da planta devido ao transporte unidirecional do Ca no xilema. Fato que pode ser observado quando notamos teores de cálcio normais nas folhas e deficiência do mesmo elemento nos frutos (LOPES, 1998).

No morango a deficiência de cálcio impacta na produtividade e na qualidade dos frutos, pois reduz a capacidade de conservação, o teor de açúcar e a acidez (PASSOS; TRANI, 2013). A deficiência de cálcio pode também estar ligada a fatores climáticos como falta de água ou falta de umidade do ar que diminuem o fluxo transpiratório e a absorção de cálcio pelas plantas.

O cálcio possui função estrutural, no qual o Ca^{2+} se liga a grupos ácidos de lipídeos da membrana e as ligações cruzadas entre pectinas na lamela média (TAIZ et al., 2017), onde protege as membranas e compõe a parede celular (LOPES, 1998; YAMAMOTO et al., 2011).

Íons como Ca^{2+} e Mg^{2+} conectam os componentes da pectina, a qual é parte estrutural da parede celular, sendo que na ausência destes íons a pectina se torna solúvel. O Ca^{2+} também atua como sinalizador, como mensageiro às respostas vegetais aos estresses bióticos e abióticos causadas pelo meio, ativa sistemas enzimáticos e regula a liberação de sinais químicos (DAYOD et al., 2010; LOPES, 1998; TAIZ et al., 2017; YAMAMOTO et al., 2011).

O cálcio aplicado via solo ou foliar vem sendo estudado por pesquisadores que sugerem que o uso deste elemento melhora a integridade das membranas, contribui na firmeza dos frutos, reduz a taxa respiratória, reduz a produção de etileno, diminui a atividade da β -galactosidase, aumenta a hemicelulose, as pectinas e o teor de cálcio na polpa (MANGANARIS et al., 2005; YAMAMOTO et al., 2011).

Observa-se que a aplicação de cálcio além de contribuir para o bom desenvolvimento da cultura, retarda a maturação e senescência dos frutos, prolongando assim a vida útil e o tempo de prateleira (HOCKING et al., 2016; YAMAMOTO et al., 2011).

2.7 Silício no morangueiro

O silício faz parte do grupo de elementos minerais benéficos, os quais não são considerados essenciais à sobrevivência das plantas, no entanto sua presença ao meio é capaz de contribuir no crescimento dos vegetais (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; FAQUIN, 2005; LOPES, 1998).

A capacidade de absorção e acúmulo de silício pelas plantas é variável. Existem plantas acumuladoras e não acumuladoras de silício. As acumuladoras incluem as gramíneas, as quais contém de 10 a 15% de SiO_2 na matéria seca, alguns cereais, cana de açúcar e poucas dicotiledôneas com teores de 1 a 3 %. As não acumuladoras são dicotiledôneas com teores inferiores a 0,5% de SiO_2 (ARTYSZAK, 2018; FAQUIN, 2005).

De acordo com Ouellette et al. (2017) o morango é uma espécie competente em absorver o ácido silícico, pois possui os transportadores funcionais de influxo (Lsi1) e efluxo (Lsi2) para absorção deste elemento. Sendo que o morango pode acumular até 3% de silício baseado no peso seco, a maior concentração já relatada para esta espécie, o que indica que o morango pode se beneficiar da fertilização com silício. As seis cultivares (Charlotte, Seascape, Monterey, Albion, Amandine e Verity) testadas acumularam aproximadamente a mesma concentração de silício, admitindo a limitada variabilidade genética nos genótipos avaliados (OUELLETTE et al., 2017).

O silício é transportado até as raízes por fluxo de massa e na planta é transportado via xilema na forma H_4SiO_4 . O transporte de silício ocorre no mesmo sentido do fluxo da água, assim ocorre maior deposição onde ocorre maior perda de água, ou seja, na epiderme foliar. Como o silício é depositado principalmente no retículo endoplasmático, nos espaços intercelulares e nas paredes celulares na forma de sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; TAIZ et al., 2017), uma vez depositado torna-se imóvel e não se redistribui na planta (FAQUIN, 2005).

O ácido monossilícico sofre adsorção com óxidos de Fe, Al e Mn fato semelhante ao que ocorre com o fosfato (FAQUIN, 2005). O H_2PO_4^- e o H_3SiO_4^- competem entre si pelo mesmo sítio de adsorção no solo, podendo o radical SiO_4^- deslocar o PO_4^- da fase sólida para a fase líquida do solo, aumentando a disponibilidade de fósforo para as plantas (REIS et al., 2007).

O silício melhora a arquitetura das folhas, reduz o acamamento, reduz incidência de patógeno, aumenta a proteção contra insetos fitófagos, reduz a transpiração diminuindo assim o consumo de água pelas plantas e melhora a eficiência fotossintética. Na solução do solo forma

complexos com alumínio, na rizosfera como sílica amorfa amenizando o estresse por excesso de manganês (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; FAQUIN, 2005; TAIZ et al., 2017).

O Si forma complexos com polifenóis, atuando assim como alternativa à lignina no reforço das paredes celulares. A camada de sílica depositada na parede celular inibe ou dificulta a penetração das hifas dos esporos e dos insetos sugadores (TAIZ et al., 2017).

O silício via foliar tem apresentado efeito bioestimulante em plantas em condições de estresses como ambientes salinos, com deficiência ou excesso de água, altas e baixas temperaturas, sob ataque de pragas e doenças e na presença de metais pesados (ARTYSZAK, 2018).

Os efeitos do silício no morangueiro ainda são confusos, pois, segundo Ouellette et al. (2017) o silício aplicado via fertirrigação, não foi translocado para os frutos do morango, descartando seu potencial efeito na firmeza e na qualidade das frutas. No entanto, em outros trabalhos têm se observado efeito positivo do silício no aumento da produção, na manutenção da firmeza dos frutos e na ampliação da vida útil do morango (FIGUEIREDO et al., 2010; MUNARETTO et al., 2018; SILVA et al., 2013).

2.8 Demanda de cálcio e silício pelo ser humano

O cálcio é um dos nutrientes mais abundantes no corpo humano, sendo requerido em grandes quantidades, cerca de 98 % do cálcio fica armazenado no esqueleto, sendo depositado ou liberado de acordo com a necessidade do corpo (LATHAM, 2002).

O cálcio entra na composição dos ossos, dos dentes e é responsável pela regulação de processos intracelulares. Sua deficiência causa baixa densidade e fragilidade óssea podendo causar osteoporose e raquitismo, hipertensão e câncer colorretal (COELHO, 2019; DAYOD et al., 2010).

Segundo a Fundação Internacional de Osteoporose (IOF), o Brasil está no 47º lugar no ranking de ingestão de cálcio, com consumo de 505 mg/dia, valor abaixo do ideal, que fica em torno de 1000 mg/dia, necessidade esta que pode variar de acordo com a idade e o sexo (BALK et al., 2017; HEALTH, 2016; IBGE, 2011; IOF, 2017; PRICE; LANGFORD; LIPORACE, 2012).

O silício é benéfico para a saúde humana, pois melhora a formação e diminui a fragilidade óssea (VALENTINUZZI et al., 2018), está ligado a biossíntese de colágeno, unhas e cabelos, mantem os tecidos saudáveis, prevenindo o envelhecimento da pele e articulações. Sua deficiência pode causar o enfraquecimento dos tendões, ossos, unhas, pele e cabelo, além de predispor doenças como artrose e arteriosclerose (SOUZA; JUNIOR, 2013).

A ingestão diária de silício por um adulto fica em torno de 21 mg/dia, sendo que a ingestão adequada capaz de melhorar a saúde óssea é estimada em 40 mg/dia (PRICE; LANGFORD; LIPORACE, 2012).

A biofortificação dos alimentos com cálcio e silício tem sido uma alternativa para aumentar a ingestão destes elementos, podendo colaborar no aumento da assimilação e acúmulo de cálcio e silício no organismo (COELHO, 2019; DAYOD et al., 2010; MONTESANO et al., 2016), sendo que o morango pode favorecer nesse sentido, pois é uma fruta muito atrativa e de grande aceitação pelos consumidores.

2.9 Biofortificação

Em pleno século XXI ainda é possível ver pessoas que passam fome e muitas estão desnutridas mesmo se alimentando, o que nos faz questionar sobre a quantidade e a qualidade nutricional dos alimentos. A preocupação com a desnutrição mundial e o crescimento populacional fizeram com que em 1993 estudos na área de biofortificação se iniciassem (LOUREIRO et al., 2018).

As carências nutricionais podem ser decorrentes da desnutrição, da fome, da pobreza, do consumo de alimentos pobres em minerais e vitaminas, do cultivo em áreas com baixo teor de nutrientes, do consumo de alimentos processados, da presença de compostos antinutricionais que afetam na absorção e falta de diversificação alimentar (MORAES et al., 2012). O ideal é que todas as demandas nutricionais sejam supridas pelo próprio alimento e não por suplementos alimentares (OLIVEIRA; FAQUIN, 2015).

A biofortificação busca melhorar a qualidade dos alimentos por meio do melhoramento convencional, empregos de técnicas agronômicas e/ou transgenia/biotecnologia (BOUIS et al., 2013; WHITE; BROADLEY, 2005). A biofortificação agronômica visa fornecer os nutrientes essenciais do alimento via adubação das plantas. A biofortificação genética (convencional ou transgenia) busca genótipos que exibem maior eficiência na absorção e assimilação dos elementos (OLIVEIRA; FAQUIN, 2015). A biofortificação genética é um processo mais caro e de longo prazo, já a biofortificação agronômica é mais barata, de implantação mais acessível, pois modifica apenas o manejo da cultura em especial a adubação (PRASAD; SHIVAY, 2020; VERGÜTZ et al., 2016).

Práticas como adubação via solo/foliar, tratamento de sementes, uso de biofertilizantes, rotação de cultura e irrigação podem ser utilizadas pela biofortificação agronômica para aumentar o teor mineral dos alimentos. No entanto, para que a biofortificação agronômica seja

viável, ela depende da composição do solo, da mobilidade dos nutrientes no solo e da capacidade de armazenamento pelas plantas (LOUREIRO et al., 2018; MORAES et al., 2009; VERGÜTZ et al., 2016).

De acordo com Bouis et al. (2013) o sucesso da biofortificação depende de três fatores: atingir a concentração nutricional necessária de forma viável, a absorção e biodisponibilidade dos nutrientes devem atingir níveis desejáveis quando consumidos em condições controladas. Sendo que os alimentos biofortificados devem ter aceitação dos produtores e consumidores para que estes sejam capazes de produzir e consumir em quantidades suficientes.

Embora a biofortificação melhore o teor de determinados nutrientes dos alimentos, ela pode trazer impactos negativos como desestímulo a adoção a hábitos saudáveis, impactos na agrobiodiversidade, dependência das sementes produzidas, exposição a superdoses de nutrientes que podem causar danos à saúde, além de que o enriquecimento de um nutriente pode reduzir o teor de outro e o uso desordenado de fertilizantes podem causar danos ambientais (LOUREIRO et al., 2018; PRASAD; SHIVAY, 2020; ZIMMERMANN et al., 2010).

A biofortificação tem sido bastante estimulada nos últimos anos, devido à busca por alternativas para o suprimento nutricional (OLIVEIRA; FAQUIN, 2015). Sendo de grande interesse a biofortificação com aumento nos teores de betacaroteno (pró vitamina A), ferro e zinco, os quais são as principais carências que afetam a população (GONÇALVES et al., 2015). No entanto, tem-se observado também biofortificação com selênio, cálcio, silício, em culturas como repolho, soja, trigo, batata, morango e tomate (COELHO, 2019; INOCENCIO, 2014; PRASAD; SHIVAY, 2020; SANTOS, 2018; VALENTINUZZI et al., 2018).

2.10 Melhoramento genético

Os primeiros trabalhos de melhoramento genético com morango foram iniciados em 1817, por Thomas A. Knight, na Inglaterra, a partir de clones nativos e alguns já cultivados. Já em 1929, Harold Thomas e Earl Goldsmit na Califórnia, iniciaram um programa de melhoramento que tinha objetivo obter frutos firmes, grandes e que tolerassem o transporte de pós-colheita (DARROW, 1966).

No Brasil, os trabalhos com melhoramento genético iniciaram em 1941, desenvolvidos pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Graças ao cultivo de clones melhorados a produção de morango de São Paulo aumentou cerca de seis vezes no fim da década de 60, sendo que matrizes isentas de vírus intensificaram o cultivo de morango (CASTRO, 2004). Atualmente, algumas instituições têm liderado a busca por novas cultivares brasileiras, como Embrapa,

UFLA-MG, UDESC-SC e UNICENTRO-PR (ANTUNES; BONOW; REISSER JUNIOR, 2020).

O programa de melhoramento do morangueiro da Universidade Federal de Lavras (UFLA) iniciou-se em 2011, desde onde vem desenvolvendo trabalhos a fim de obter e selecionar plantas com potencial produtivo superior às cultivares já plantadas e mais adaptadas às condições da região. Dentre os genótipos experimentais têm se destacado o MDA01, MDA23, MDA19, MCA89 e MFA443 pelo potencial produtivo e pela qualidade pós colheita (GALVÃO, 2014; PEREIRA et al., 2022; SOUZA et al., 2017; SOUZA et al., 2022; SOUZA, 2019).

Segundo Pereira et al. (2022) e Souza et al. (2022), o genótipo experimental MDA23, que neste trabalho foi denominado como Clone-23, é um híbrido oriundo do cruzamento entre as cultivares Dover e Aromas, o qual apresenta bons índices de produtividade. Diante disto e da disponibilidade de material vegetal para a execução do experimento foi escolhido o Clone-23 como híbrido experimental, a Pircinque como cultivar de dia curto e o Albion como cultivar de dia neutro para avaliar o efeito da adubação foliar com Ca e/ou Si (PEREIRA; FLORESTI; DA SILVA GOMES, 2021).

Dentre as características buscadas pelos programas de melhoramento estão a produtividade, uniformidade de maturação, tolerância a pragas e doenças, sabor, cor, tamanho, formato, teor de vitaminas e firmeza (OLIVEIRA; BONOW, 2012). Sendo que características ligadas ao “flavor”, resistência e firmeza são complexas, em razão da herança quantitativa e do grau de ploidia envolvido nas hibridações (SANTOS, 1999).

Existe limitações para que o cultivo de morango no Brasil seja ainda maior, há falta de manejo e cultivares adaptadas para as nossas condições de cultivos. A grande maioria dos produtores cultivam mudas oriundas do programa genético norte americano, as quais são adquiridas principalmente da Argentina e do Chile (CERUTTI et al., 2018). As mudas de morango produzidas no Brasil não suprem a demanda interna, pois não atingem a qualidade e quantidade necessária, o que torna a aquisição de mudas um dos maiores desafios dos produtores (GONÇALVES; ANTUNES, 2016).

Sabe-se que o genótipo cultivado em um ambiente com temperatura e fotoperíodo diferente para o qual foi desenvolvido tem respostas bioquímicas, transpiratórias e de floração afetadas, causando limitação do desempenho produtivo do morangueiro (CERUTTI et al., 2018; RESENDE et al., 2010). Desta forma, programas de melhoramento buscam desenvolver cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas do Brasil e aos diferentes sistemas de produção, com frutos grandes, doces, firmes, com período de colheita estendido e maior vida útil (TEMPERADO, 2016).

2.11 Inteligência artificial

A inteligência artificial (IA) é um ramo da ciência da computação em que as máquinas executam tarefas como aprender e pensar imitando a mente humana. A IA pode ser uma ferramenta muito útil para empresas e pesquisadores que geram grande volume de dados e precisam processá-los de forma mais eficiente (AZEVEDO; PAUCAR, 2016).

O volume de dados e a capacidade de armazenamento já ultrapassou a capacidade humana de analisar e obter informações dos grandes bancos de dados. Sendo assim, se faz necessário o uso de métodos e ferramentas capazes de operar os dados multidimensionais a fim de comparar, classificar e simplificar, deixando evidente aspectos relevantes de um conjunto de dados.

Os avanços tecnológicos dos últimos tempos possibilitaram grande geração de dados, no entanto nos deparamos com um problema complexo, a mineração de dados (*data mining*). A qual envolve técnicas sobre um conjunto de dados afim de identificar padrões, similaridade e diferenças (FAYYAD; PIATETSKY-SHAPIRO; SMYTH, 1996).

De acordo com Ossani et al. (2020), *machine learning* é uma subárea da inteligência artificial, intimamente ligada a ciência da computação, a matemática e a estatística, relacionada diretamente com a mineração de dados. A qual busca criar algoritmos capazes de aprender com os dados, podendo reconhecer estruturas adjacentes aos dados utilizados no aprendizado.

As redes neurais artificiais são técnicas de *Machine learning*, capazes de compreender os dados. São técnicas multivariadas aplicadas para reconhecer e adivinhar padrões por meio de treinamento e aprendizado (BARROS et al., 2020; KONDAKCI; ZHOU, 2017). Entre os tipos de redes neurais artificiais, está o mapa auto-organizável de Kohonen (KSOM), desenvolvido por Teuvo Kohonen em 1982. Considera-se um instrumento da estatística multivariada, baseada em aprendizado competitivo e não supervisionado, capaz de mapear um conjunto de dados, em um conjunto finito de neurônios organizados em um arranjo normalmente unidimensional ou bidimensional, aonde por meio de algoritmos organizam os dados em grupos de acordo com a semelhança (BARROS et al., 2020; KOHONEN, 1982; KOHONEN; KASKI; LAPPALAINEN, 1997; MOREIRA et al., 2019; SANTOS SILVA et al., 2019).

A inteligência artificial tem sido usada na cultura do morangueiro em diferentes áreas. Existem trabalhos com imagens na área de fitopatologia, que através do molhamento foliar conseguem prever o aparecimento de doenças e a necessidade de fungicidas (PATEL; LEE; PERES, 2022), na pós-colheita com identificação do grau de maturidade, qualidade dos morangos, caracterização de atributos como forma, presença de injúrias e anomalias

(CONSTANTE et al., 2016; SU et al., 2021; ZHOU et al., 2022), na identificação do teor foliar de fósforo em diferentes estádios de crescimento do morangueiro (SIEDLISKA et al., 2021), uso da rede neural de Kohonen para classificação de genótipos quanto a composição aromática (URRUTY et al., 2002).

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, L.; BONOW, S.; REISSER JUNIOR, C. Morango: crescimento constante em área e produção. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.
- ANTUNES, L. *et al.* Morango nutrido. **Embrapa Clima Temperado-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2013.
- ARTYSZAK, A. Effect of silicon fertilization on crop yield quantity and quality—A literature review in Europe. **Plants**, 7, n. 3, p. 54, 2018.
- AZEVEDO, M. O. d.; PAUCAR, V. L., 2016, Buenos Aires, ARGENTINA. **Performance Analysis of Algorithms Based on Intelligence of Plants**. 2016.
- BALK, E. *et al.* Global dietary calcium intake among adults: a systematic review. **Osteoporosis International**, 28, n. 12, p. 3315-3324, 2017.
- BARROS, H. E. A. d. *et al.* Nutritional clustering of cookies developed with cocoa shell, soy, and green banana flours using exploratory methods. **Food and Bioprocess Technology**, 13, n. 9, p. 1566-1578, 2020.
- BORTOLOZZO, A. R. *et al.* Produção de morangos no sistema semihidropônico. 2007.
- BORTOLOZZO, A. R. *et al.* Produção de morangos no sistema semihidropônico. **Embrapa Uva e Vinho-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.
- BOUIS, H. *et al.* Biofortification: evidence and lessons learned linking agriculture and nutrition. **The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the World Health Organization (WHO)**, 2013.
- BRINGHURST, R.; GALLETA, G. Strawberry management. **Small Fruit Crop Management**. Prentice-Hall, USA, 1990.
- BUCCI, A. F., W.; BARUZZI, G. Botanica-origem e evolução. In. FAEDI, W.; ANGELINI, R. (Ed.). La fragola. Bologna: Bayer CropScience: Ed. Script. p. 1-11. 2010.
- CASTRO, R. L. d. Melhoramento genético do morangueiro: avanços no Brasil. **2º Simpósio Nacional do Morango 1º Encontro de Pequenas Frutas e Frutas Nativas**, p. 22, 2004.
- CERUTTI, P. H. *et al.* DESAFIOS DO CULTIVO DE MORANGUEIRO NO BRASIL. **Revista Científica Rural**, 20, n. 2, p. 236-252, 2018.
- COELHO, A. R. F. **Delineamento e Implementação do Itinerário Técnico de Biofortificação em Cálcio nos tubérculos de Solanum tuberosum L. variedade Agria**. 2019. Dissertação -, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.
- CONSTANTE, P. *et al.* Artificial Vision Techniques for Strawberry's Industrial Classification. **Ieee Latin America Transactions**, 14, n. 6, p. 2576-2581, Jun 2016.

- DARROW, G. Holt, Rinehart and Winston: the strawberry history breeding and physiology. **New York: The New England Institute for Medical Research**, 1966.
- DAYOD, M. *et al.* Calcium storage in plants and the implications for calcium biofortification. **Protoplasma**, 247, n. 3, p. 215-231, 2010. Review.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- DIEL, M. I. *et al.* Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substrates. **Scientia Horticulturae**, 220, p. 226-232, Jun 2017. Article.
- DUARTE, A. D. *et al.* Bradysia aff. impatiens and Bradysia aff. ocellaris in the semi-hydroponic strawberry production system in Southern Brazil. **Ciencia Rural**, 52, n. 7, p. 8, 2022. Article.
- DURNER, E. F. Photoperiod affects floral ontogeny in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) plug plants. **Scientia Horticulturae**, 194, p. 154-159, 2015.
- FAO. **FAO STAT: Crops**. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 03 de dez 2022.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. 2005.
- FAYYAD, U.; PIATETSKY-SHAPIRO, G.; SMYTH, P. From data mining to knowledge discovery in databases. **AI magazine**, 17, n. 3, p. 37-37, 1996.
- FIGUEIREDO, A. *et al.* Produtividade do morangueiro em função de diferentes doses de silício aplicadas via solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, 29, n. 2, p. 870-876, 2010.
- FLORES CANTILLANO, R.; DA SILVA, M. M. Manuseio pós-colheita de morangos. **Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E)**, 2010.
- FREIRE JUNIOR, M.; SOARES, A. G. Orientações quanto ao manuseio pré e pós-colheita de frutas e hortaliças visando a redução de suas perdas. **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014.
- GALVÃO, A. **Hibridação de morangueiro e seleção de clones com potencial para cultivo no sul de Minas Gerais**. 2014. 77 f. -, Tese (Doutorado)–Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- GONÇALVES, A. *et al.* Uso da biofortificação vegetal: uma revisão. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas**, 6, p. 75-87, 2015.
- GONÇALVES, M.; ANTUNES, L. Mudanças Sadias: o início do sucesso no cultivo de morango. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2016.
- HEALTH, N. I. o. Office of Dietary Supplements. Calcium: dietary supplement fact sheet. 2016.

HENZ, G. P. Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far? **Horticultura Brasileira**, 35, n. 1, p. 6-13, 2017.

HOCKING, B. *et al.* Fruit Calcium: Transport and Physiology. **Frontiers in Plant Science**, 7, p. 17, Apr 2016. Review.

IBGE. **POF 2008-2009: mais de 90% da população comem poucas frutas, legumes e verduras**. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2011. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/14059-asi-pof-2008-2009-mais-de-90-da-populacao-comem-poucas-frutas-legumes-e-verduras>. Acesso em: 19 de jun de 2020.

INOCENCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo**. 2014. Tese de Doutorado -, Universidade Federal de Lavras–UFLA, Lavras, 2014.

IOF. **Ingestão de cálcio na dieta de adultos ao redor do mundo**. . International Osteoporosis Foundation, 2017. Disponível em: <http://share.iofbonehealth.org/Calcium-Map/Calcium-Fact-Sheet-PT.pdf>. Acesso em: 19 de jun de 2020.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological cybernetics**, 43, n. 1, p. 59-69, 1982.

KOHONEN, T.; KASKI, S.; LAPPALAINEN, H. Self-organized formation of various invariant-feature filters in the adaptive-subspace SOM. **Neural computation**, 9, n. 6, p. 1321-1344, 1997.

KONDAKCI, T.; ZHOU, W. Recent applications of advanced control techniques in food industry. **Food and Bioprocess Technology**, 10, p. 522-542, 2017.

LATHAM, M. C. **Nutrición humana: en el mundo en desarrollo**. Fao Roma, Italia, 2002.

LOPES, A. S. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. Tradução e Adaptação de Alfredo Scheid Lopes. **Potafos, Piracicaba**, p. 177, 1998.

LOUREIRO, M. P. *et al.* Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar E Nutricional**, 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

MANGANARIS, G. A. *et al.* The effect of preharvest calcium sprays on quality attributes, physicochemical aspects of cell wall components and susceptibility to brown rot of peach fruits (*Prunus persica* L. cv. Andross). **Scientia Horticulturae**, 107, n. 1, p. 43-50, 2005/12/01/ 2005.

MDITSHWA, A. *et al.* Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, 216, p. 148-159, 2017.

MONTESANO, F. F. *et al.* Green bean biofortification for Si through soilless cultivation: Plant response and Si bioaccessibility in pods. **Scientific reports**, 6, n. 1, p. 1-9, 2016.

MORAES, M. *et al.* Biofortificação alternativa à segurança nutricional. **Informações Agrônômicas**, 140, p. 09-15, 2012.

MORAES, M. F. *et al.* Práticas agrônômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. **I Simpósio Brasileiro de Aprovecuária Sustentável, Viçosa. Anais, UFV**, p. 299-312, 2009.

MOREIRA, L. S. *et al.* Development of procedure for sample preparation of cashew nuts using mixture design and evaluation of nutrient profiles by Kohonen neural network. **Food chemistry**, 273, p. 136-143, 2019.

MULEY, A. B. *et al.* Analyzing the physical and biochemical changes in strawberries during storage at different temperatures and the development of kinetic models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 16, n. 1, p. 222-247, 2022.

MUNARETTO, L. M. *et al.* Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. **Horticultura Brasileira**, 36, n. 1, p. 40-46, 2018.

OLIVEIRA, A. C. d. B.; BONOW, S. Novos desafios para o melhoramento genético da cultura do morangueiro no Brasil. **Embrapa Clima Temperado-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012.

OLIVEIRA, V. C. d.; FAQUIN, V. BIOFORTIFICAÇÃO E SEGURANÇA ALIMENTAR. **TERRA–Saúde Ambiental e Soberania Alimentar**, p. 13, 2015.

OSSANI, P. C. *et al.* Machine learning in classification and identification of nonconventional vegetables. **Journal of Food Science**, 85, n. 12, p. 4194-4200, 2020.

OUELLETTE, S. *et al.* Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. **Frontiers in Plant Science**, 8, 2017. Article.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. Calagem e adubação do morangueiro. **Campinas, SP: Instituto Agrônômico de Campinas**, p. 16, 2013.

PATEL, A. M.; LEE, W. S.; PERES, N. A. Imaging and Deep Learning Based Approach to Leaf Wetness Detection in Strawberry. **Sensors**, 22, n. 21, p. 12, Nov 2022. Article.

PAYASI, A. *et al.* Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, 15, n. 2, p. 103-113, 2009.

PEREIRA, E. H.; FLORESTI, A. P.; DA SILVA GOMES, H. A. Elaboração do Processo de Beneficiamento do Cultivo Morango Pircinque. **Revista Engenho**, 13, n. 1, p. 4-17, 2021.

PEREIRA, M. A. *et al.* Productivity of strawberry genotypes in the south and southwest mesoregion of Minas Gerais. **Colloquium Agrariae**, 18, n. 1, p. 46-52, 2022.

PIOVESAN, B. *et al.* Entomofauna and potential pollinators of strawberry crop under semi-hydroponic conditions. **Horticultura Brasileira**, 37, n. 3, p. 324-330, Jul-Sep 2019. Article.

- PRASAD, R.; SHIVAY, Y. S. Agronomic biofortification of plant foods with minerals, vitamins and metabolites with chemical fertilizers and liming. **Journal of Plant Nutrition**, 43, n. 10, p. 1534-1554, Jun 2020.
- PRICE, C. T.; LANGFORD, J. R.; LIPORACE, F. A. Essential nutrients for bone health and a review of their availability in the average North American diet. **The open orthopaedics journal**, 6, p. 143, 2012.
- REIS, T. *et al.* **O silício na nutrição e defesa de plantas**. EPAMIG Belo Horizonte, 2007.
- RESENDE, J. T. V. d. *et al.* Produtividade e teor de sólidos solúveis de frutos de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, 28, n. 2, p. 185-189, 2010.
- RONQUE, E. **Cultura do morangueiro: revisão e prática**. EMATER/PR Curitiba, 1998.
- ROSA, H. T. *et al.* Crescimento vegetativo e produtivo de duas cultivares de morango sob épocas de plantio em ambiente subtropical. **Revista Ciência Agronômica**, 44, n. 3, p. 604-613, 2013.
- SANHUEZA, R. M. V. Produção de morangos no sistema semi-hidropônico. **IV Seminário Brasileiro sobre Pequenas Frutas**, p. 61, 2007.
- SANTOS, A. d. Melhoramento genético do morangueiro. **Informe Agropecuário**, 20, n. 198, p. 24-29, 1999.
- SANTOS, M. M. M. d. **Biofortificação do tomateiro com silício via foliar pulverização foliar com diferentes fontes**. 2018. Mestrado -, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp, Jaboticabal, 2018.
- SANTOS SILVA, E. d. *et al.* Evaluation of macro and micronutrient elements content from soft drinks using principal component analysis and Kohonen self-organizing maps. **Food chemistry**, 273, p. 9-14, 2019.
- SIEDLISKA, A. *et al.* Identification of plant leaf phosphorus content at different growth stages based on hyperspectral reflectance. **Bmc Plant Biology**, 21, n. 1, p. 17, Jan 2021. Article.
- SILVA, M. L. S. *et al.* Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. **Semina: Ciências Agrárias**, 34, n. 6 SUPPL. 1, p. 3411-3424, 2013.
- SMARTT, J.; SIMMONDS, N. W. **Evolution of crop plants.. ed. 2**. Longman Scientific and Technical, 1995.
- SOUZA, D. C. *et al.* Propriedades físico-químicas em frutos de híbridos experimentais de morangueiro. **Agrotropica**, 29, n. 1, p. 85-96, 2017.
- SOUZA, D. C. d. *et al.* Selection of experimental strawberry clones for fruit appearance attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 56, 2022.

- SOUZA, D. C. e. a. Genetic variability between commercial cultivars and experimental strawberry hybrids with emphasis on multi-factor analysis. . **Magistra**, 30, p. 48-59, 2019.
- SOUZA, V. M. d.; JUNIOR, D. A. Ativos dermatológicos: Dermocosméticos e nutracêuticos. **São Paulo: Pharmabooks**, 10, 2013.
- STRASSBURGER, A. S. *et al.* Crescimento e produtividade de cultivares de morangueiro de "dia neutro" em diferentes densidades de plantio em sistema de cultivo orgânico. **Bragantia**, 69, n. 3, p. 623-630, 2010.
- SU, Z. Z. *et al.* Application of Hyperspectral Imaging for Maturity and Soluble Solids Content Determination of Strawberry With Deep Learning Approaches. **Frontiers in Plant Science**, 12, p. 13, Sep 2021. Article.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TEMPERADO, E. C. **Luis Eduardo Corrêa Antunes Carlos Reisser Júnior José Ernani Schwengber**. 2016.
- TUFIK, C. B. A. **A nutrição do morangueiro (Fragaria x ananassa Dutch.): efeito na fisiologia e qualidade dos frutos**. 2017. Tese Doutorado -, Universidade de Évora, Évora, 2017.
- URRUTY, L. *et al.* Assessment of strawberry aroma through SPME/GC and ANN methods. Classification and discrimination of varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 50, n. 11, p. 3129-3136, May 2002. Article.
- VALENTINUZZI, F. *et al.* Assessment of silicon biofortification and its effect on the content of bioactive compounds in strawberry (Fragaria x ananassa 'Elsanta') fruits. *In*: MIMMO, T.;PII, Y., *et al* (Ed.). **Viii International Symposium on Mineral Nutrition of Fruit Crops**. Leuven 1: Int Soc Horticultural Science, 2018. v. 1217, p. 307-312. (Acta Horticulturae).
- VAUGHAM, J. G.; GEISSLER, C. A. **The New Oxford Book of Food Plants**. Oxford University Press, 1997. 0198548257.
- VERGÜTZ, L. *et al.* Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. **Boletim Informativo da SBCS**, 42, n. 2, p. 20-23, 2016.
- WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, 10, n. 12, p. 586-593, Dec 2005.
- YAMAMOTO, E. L. *et al.* Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 6, n. 2, p. 49-55, 2011.
- ZHOU, X. *et al.* Deep learning-based postharvest strawberry bruise detection under UV and incandescent light. **Computers and Electronics in Agriculture**, 202, Nov 2022.
- ZIMMERMANN, M. B. *et al.* The effects of iron fortification on the gut microbiota in African children: a randomized controlled trial in Cote d'Ivoire. **The American journal of clinical nutrition**, 92, n. 6, p. 1406-1415, 2010.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS, FISIOLÓGICAS E MINERAIS DE MORANGOS ADUBADOS COM CÁLCIO E/OU SILÍCIO FOLIAR.

RESUMO

A nutrição dos morangueiros é uma das principais práticas responsáveis pelo aumento da produtividade, qualidade e conservação pós-colheita dos frutos, sendo que elementos como cálcio e silício têm despertado interesse. O objetivo foi avaliar a aplicação foliar de cálcio e/ou silício nas características agronômicas, fisiológicas e minerais do morango. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas (adubação foliar nas parcelas e os genótipos nas subparcelas), sob esquema fatorial 4x3, que corresponderam a quatro adubações foliares (testemunha, cálcio, silício, cálcio + silício) e três genótipos (Albion, Pircinque e Clone-23), com três repetições. Foram avaliadas características agronômicas (produção total, produção/planta, n° de frutos/planta, massa média geral, massa média comercial, massa média não comercial, % frutos comerciais, % de frutos comerciais deformados, % de frutos não comerciais deformados, % frutos podres, % Umidade), características fisiológicas (Índice SPAD, clorofila A, clorofila B, clorofila total, carotenoides das folhas) e minerais (P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Si das folhas e frutos). A adubação suplementar com cálcio e/ou silício via foliar influenciou positivamente nas características agronômicas do morangueiro, sendo que as características fisiológicas não foram influenciadas. O cálcio e/ou silício aumentaram a produção/planta, a produção total, o n° de frutos/planta e reduziram a porcentagem de frutos podres, a umidade e os frutos deformados das cultivares Albion, Pircinque e do Clone-23. Sendo que a Pircinque se destacou pela produção e qualidade dos frutos comparada ao Albion e ao Clone-23. O cálcio foliar potencializou a absorção de silício pelas folhas, no entanto, o silício foliar prejudicou a absorção de cálcio, inclusive da solução nutritiva.

Palavras chave: Pircinque. Albion. Nutrição vegetal. Rede neural artificial. *Fragaria x ananassa*.

1 INTRODUÇÃO

O morango (*Fragaria x ananassa*) é uma hortaliça-fruta de cor, aroma e sabor muito atraente aos consumidores, além de apresentar elevado valor nutricional, pois apresenta compostos promotores de saúde, como nutrientes e vitaminas, com destaque para a vitamina C e elevada capacidade antioxidante. Na classificação de pequenos frutos o morango é a espécie de maior expressão em área cultivada e volume produzido (MULEY et al., 2022; ROSA et al., 2013; TEMPERADO, 2016).

O Brasil é o 8º maior produtor de morango com 218881 toneladas, com produtividade média em torno de 41,5 t.ha⁻¹. Mesmo com os avanços dos últimos anos a produtividade nacional ainda se encontra abaixo de países como Estados Unidos e Holanda que apresentam produtividade média de 60,7 e 51,0 t.ha⁻¹ respectivamente. No entanto, o Brasil apresenta produtividade superior a China (26,2 t.ha⁻¹) que lidera o ranking de área cultivada com 127171 ha de morango (FAO, 2020).

Cerca de 90 % da produção brasileira é comercializada no mercado interno, na forma *in natura*, entretanto, existe uma demanda reprimida de consumo, o que indica que a cultura ganhará maior importância econômica, ou seja, teremos que ser mais eficientes no manejo e na produção da cultura (TEMPERADO, 2016).

No manejo da cultura a nutrição dos morangueiros é uma das principais práticas responsáveis pelo aumento da produtividade, qualidade e conservação pós-colheita, sendo que elementos como cálcio e silício tem despertado interesse (FREIRE JUNIOR; SOARES, 2014).

O cálcio está envolvido na divisão celular, é responsável pela estabilidade estrutural e fisiológica dos tecidos das plantas, regula processos de permeabilidade das células e atua como ativador enzimático. No morango a deficiência de cálcio reduz a produtividade, diminui a qualidade dos frutos, reduz a capacidade de conservação e reduz o teor de açúcar e acidez (PASSOS; TRANI, 2013).

O silício é um elemento benéfico que melhora a arquitetura das folhas, reduz o acamamento, reduz incidência de pragas e doenças, reduz a transpiração e melhora a eficiência fotossintética. O aumento da taxa fotossintética das plantas contribui para aumentar a quantidade de fotoassimilados, culminando em maior desenvolvimento e crescimento das plantas (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; FAQUIN, 2005; SILVA et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

Diante da importância do Ca e do efeito benéfico do Si, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da adubação foliar de cálcio e/ou silício nas características agrônômicas, fisiológicas e minerais de cultivares de morango.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no setor de Olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O cultivo foi realizado em calhas semi-hidropônicas contendo a mistura de substrato comercial e composto orgânico vegetal na proporção de 1:1, onde as plantas recebiam fertirrigação com solução nutritiva para morango semi-hidropônico desenvolvida pela empresa Valagro.

Neste trabalho foram escolhidos três genótipos: a cultivar Pircinque de dia curto, a cultivar Albion de dia neutro e um clone experimental. O genótipo experimental MDA23, denominado aqui como Clone-23, um híbrido oriundo do cruzamento entre as cultivares Dover e Aromas, desenvolvido pelo Programa de Melhoramento do Morangueiro da Universidade Federal de Lavras que se destacou por ter bons índices produtivos (PEREIRA; FLORESTI; DA SILVA GOMES, 2021; PEREIRA et al., 2022; SOUZA et al., 2022).

Conduziu o experimento em blocos casualizados, com parcelas subdivididas (adubação foliar nas parcelas e os genótipos nas subparcelas), no esquema fatorial 4x3, com quatro adubações foliares (testemunha, cálcio, silício, cálcio + silício) e três genótipos (Albion, Pircinque e Clone-23), com três repetições; 21 plantas nas parcelas e 7 plantas nas subparcelas, totalizando 252 plantas.

As mudas do Albion, Pircinque e do Clone-23 foram transplantadas em 17 de maio de 2021, sendo os tratamentos com as adubações foliares com Ca e/ou Si realizadas a cada 15 dias, a partir do início da floração (43 dias após o transplante-DAT), totalizando-se 13 pulverizações ao longo do experimento. A fonte de cálcio utilizada nas aplicações continha 5,23% de cálcio = 60,7 g/L e 6,45% de carbono orgânico total = 74,8 g/L, preparada em 200 mL/100L de água. A fonte de silício continha 98% de SiO₂ e 6,5% de Si solúvel, preparada em 100 g/100L de água. Foi utilizado o adjuvante HiperFixx em todos os tratamentos.

As avaliações começaram no início da frutificação aos 74 DAT. Os morangos foram colhidos semanalmente quando apresentavam mais de 70% de coloração vermelha, e posteriormente foram quantificados e pesados. Sendo classificados em frutos comerciais aqueles com 10 g ou mais e em frutos deformados aqueles com a presença de má formação.

Para quantificar a umidade, os frutos foram fracionados em tamanhos menores colocados em estufa de secagem com circulação de ar à ± 50 °C até atingirem massa constante, sendo o resultado expresso em porcentagem (%).

A avaliação do índice SPAD foi feita pelo medidor portátil de clorofila SPAD-502 Plus, sendo realizadas cinco leituras por subparcela, uma por planta em um folíolo jovem totalmente

expandido. A análise de pigmentos foi realizada no Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais do Departamento de Agricultura (DAG) da UFLA, utilizou-se para análise as mesmas folhas usadas no índice SPAD, sendo ambas as análises realizadas aos 142 dias após o transplante.

Folhas frescas (0,1 g) de morango foram transferidas para frascos âmbar contendo 10 mL de acetona 80 % para extração dos pigmentos. Após 24 horas no escuro, mensurou-se a absorvidade das amostras em espectrofotômetro Elisa Multiskan GO (Thermo Fisher Scientific) nos comprimentos de onda 470, 645 e 663 nm segundo metodologia de Lichtenthaler e Buschmann (2001).

Para a determinação dos teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides foram utilizadas equações propostas por Lichtenthaler e Buschmann (2001). As leituras dos comprimentos de onda foram realizadas em triplicada. A análise foi realizada por meio do programa Skanit Software 5.0 for Microplate Readers RE versão 5.0.0.42.

As análises nutricionais de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn e Zn foram realizadas segundo Malavolta; Vitti e Oliveira (1997) e o Si pelo método de Korndörfer-UFU e Nolla-UFU (2004), sendo que o K foi quantificado por espectrofotômetro de chama.

As análises de componentes principais (PCA) foram realizadas pelo software PAST versão 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Os dados relativos às análises minerais das folhas e dos frutos dos morangos foram utilizados para a obtenção do mapa auto-organizável de Kohonen (KSOM), um tipo de Rede Neural Artificial, baseada em aprendizado competitivo e não supervisionado usado para classificar as amostras em clusters, de acordo com a semelhança de suas propriedades, onde os neurônios são organizados em um arranjo normalmente unidimensional ou bidimensional (KOHONEN, 1982; KOHONEN; KASKI; LAPPALAINEN, 1997).

Utilizou-se dos KSOM para avaliação de possíveis grupos, onde o método mais comum é a matriz de distâncias unificadas ou matriz-U, a qual é composta pelas distâncias entre todos os neurônios vizinhos no arranjo. As distâncias são associadas com a ocorrência de um agrupamento, quanto maior a distância, mais distintos são os agrupamentos (ULTSCH, 1990; ULTSCH; SIEMON, 1989).

Mapas com diferentes dimensões foram gerados visando obter o arranjo com os melhores índices de validação de clusters, juntamente com menores erros de medição. O índice Davies-Bouldin (DB) representa o grau de similaridade entre os clusters, independentemente do número de clusters e o método de partição utilizado, sendo que quanto mais próximo de zero melhor. O índice de silhueta (*S*), refere-se à qualidade do agrupamento baseado na proximidade entre os tratamentos de um certo grupo e a proximidade deles com o grupo mais próximo, sendo

que quanto mais próximo de um, melhor o agrupamento realizado (BARROS et al., 2020; DAVIES; BOULDIN, 1979; MOREIRA et al., 2019; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977). O mapa escolhido apresenta o erro de quantização (QE), erro topográfico (TE) e o erro combinado, que são medidas de precisão, continuidade e as duas medidas combinadas respectivamente (SERRIEN; GOOSSENS; BAEYENS, 2017), quanto mais próximas de zero, melhores serão os erros de medida, embora não tenham um valor padrão (BARROS et al., 2020).

O pacote SOM Toolbox 2.1 (VATANEN et al., 2015) foi utilizado no programa Matlab R2018b, juntamente com as devidas modificações para melhorar a obtenção e validação dos clusters, por meio dos índices de Davies-Bouldin e de Silhueta.

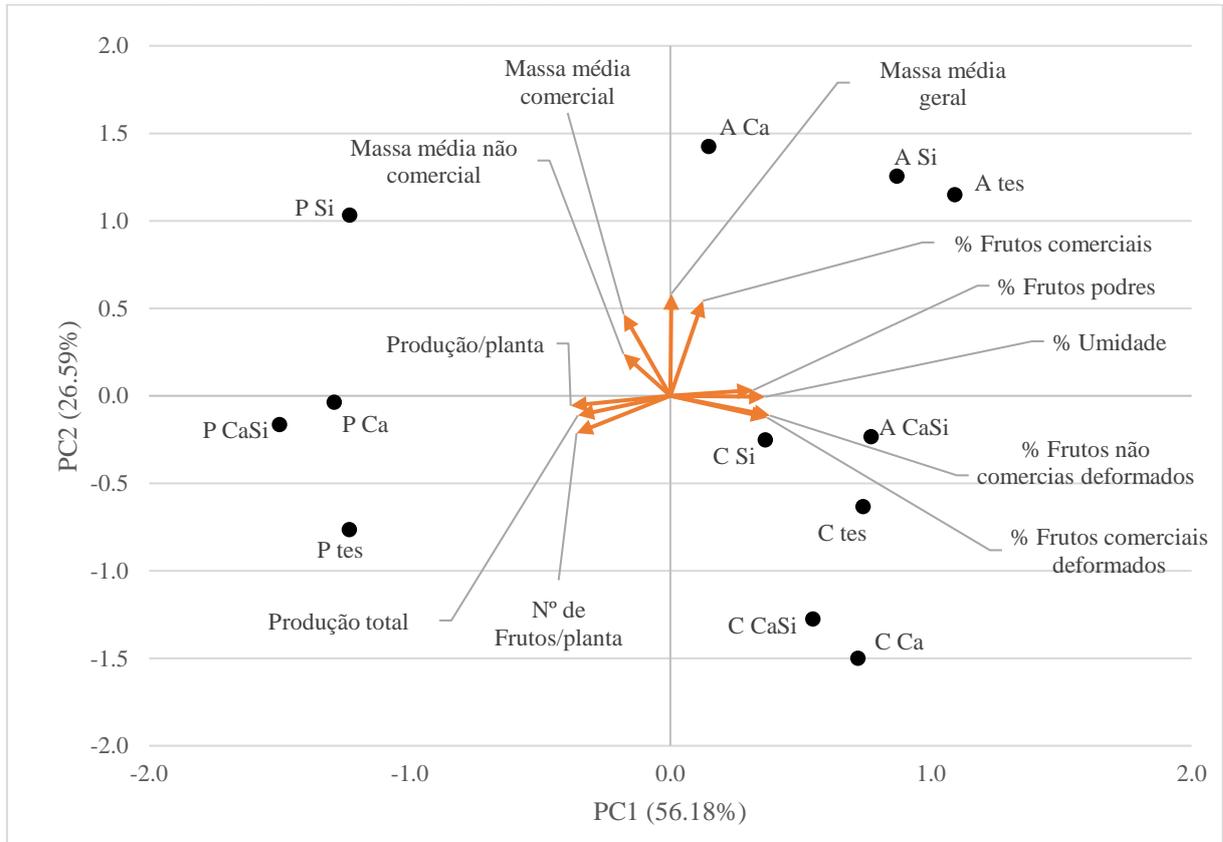
O mapa neural bidimensional de cluster demonstrou a formação dos clusters com seus respectivos tratamentos de acordo com sua semelhança. Os mapas de componentes através do gradiente de cor nas barras laterais demonstraram a variação dos resultados das determinações analíticas, com exceção da matriz-U, onde a escala de cor indica a distância entre neurônios. A posição de cada hexágono no mapa neural bidimensional de cluster corresponde ao hexágono do mapa de componentes (BARROS et al., 2020).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira e a segunda componentes foram capazes de explicar respectivamente 56,18% e 26,59% da variância total dos dados. De acordo com a PCA os tratamentos se agruparam pelos genótipos, onde se observa que a adubação suplementar com Ca e/ou Si contribui para aumentar a produção/planta, a produção total e nº de frutos/planta, reduzindo a porcentagem de frutos podres, a umidade e os frutos deformados. A cultivar Pircinque se destaca nas características agrônômicas, sendo que o Albion e o Clone-23 possuem maior semelhança entre si (FIGURA 1).

A cultivar Pircinque demonstrou resultados mais promissores de produção total (média 10,9 Kg), produção por planta (média 1,6 kg/planta) e nº de frutos/planta (média 144,2) comparado ao Albion e ao Clone-23 (Tabela 1). Sendo que o Albion e o Clone-23 apresentaram maior % de frutos podres (média 4,5 %), maior % de umidade (média 91,5 %), maior % de frutos não comerciais deformados (média 13,0 %) e maior % de frutos comerciais deformados (média 14,1 %) comparado a cultivar Pircinque. Sendo que os tratamentos A Tes, A Ca, A Si e P Si tenderam a apresentar de forma geral as maiores % de frutos comerciais, maior massa média geral, maior massa média comercial e maior massa média não comercial (TABELA 1 e FIGURA 1).

Figura 1 - Análise de Componentes Principais (PCA) de cultivares de morangueiro adubadas com cálcio e/ou silício via foliar.



Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício.

Tabela 1 - Produção total, produção/planta , nº de frutos/planta, massa média geral, massa média comercial, massa média não comercial, % frutos comerciais, % frutos comerciais deformados, % frutos não comerciais deformados, % frutos podres, % umidade, índice SPAD, clorofila A, clorofila B, clorofila total e carotenoides de morangueiros adubados com cálcio e/ou silício via foliar. Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício (Continua).

| Tratamento | Produção total (kg) | Produção/planta (kg.planta) | Nº de frutos/planta | % Frutos comerciais | Massa média geral(g) | Massa média comercial(g) | Massa média não comercial (g) | % Frutos comerciais deformados |
|------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| A tes | 6.3 | 1.0 | 80.7 | 78.6 | 12.2 | 16.2 | 6.2 | 11.9 |
| A Ca | 7.8 | 1.4 | 112.1 | 76.6 | 12.4 | 16.4 | 6.7 | 11.5 |
| A Si | 6.7 | 1.0 | 85.9 | 76.0 | 12.2 | 16.2 | 6.6 | 12.9 |
| A CaSi | 6.6 | 1.1 | 98.2 | 72.7 | 11.1 | 15.3 | 6.4 | 14.3 |
| P tes | 9.4 | 1.6 | 147.9 | 68.1 | 10.8 | 15.7 | 6.4 | 3.1 |
| P Ca | 11.6 | 1.7 | 146.6 | 70.6 | 11.3 | 16.3 | 6.5 | 4.2 |
| P Si | 11.1 | 1.6 | 132.9 | 74.6 | 12.0 | 16.7 | 6.6 | 3.1 |
| P CaSi | 11.8 | 1.7 | 149.5 | 69.0 | 11.2 | 16.2 | 6.6 | 2.9 |
| C tes | 7.2 | 1.1 | 98.2 | 71.0 | 10.8 | 15.2 | 6.4 | 16.1 |
| C Ca | 8.3 | 1.2 | 115.7 | 67.3 | 10.3 | 14.7 | 6.4 | 14.2 |
| C Si | 9.5 | 1.4 | 122.0 | 70.4 | 11.1 | 16.4 | 6.4 | 16.1 |
| C CaSi | 9.3 | 1.3 | 125.9 | 67.9 | 10.5 | 15.1 | 6.4 | 16.1 |

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 1 - Produção total, produção/planta , nº de frutos/planta, massa média geral, massa média comercial, massa média não comercial, % frutos comerciais, % de frutos comerciais deformados, % de frutos não comerciais deformados, % frutos podres, % umidade, índice SPAD, clorofila A, clorofila B, clorofila total e carotenoides de morangueiros adubados com cálcio e/ou silício via foliar. Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício (Conclusão).

| Tratamento | % Frutos não comerciais deformados | % Frutos podres | Índice SPAD | Clorofila A (µg.g MF) | Clorofila B (µg.g MF) | Clorofila total (µg.g MF) | Carotenoides (µg.g MF) | % Umidade |
|------------|------------------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------------------------|-----------|
| A tes | 11.8 | 5.1 | 32.6 | 819.3 | 214.5 | 1033.7 | 192.7 | 90.9 |
| A Ca | 9.9 | 4.3 | 29.9 | 761.1 | 202.1 | 963.1 | 213.3 | 91.8 |
| A Si | 13.3 | 4.6 | 30.3 | 776.1 | 206.5 | 982.7 | 223.8 | 91.8 |
| A CaSi | 13.0 | 4.0 | 29.7 | 748.7 | 197.0 | 945.7 | 202.6 | 90.7 |
| P tes | 3.8 | 2.2 | 30.2 | 716.5 | 196.9 | 913.4 | 169.9 | 87.1 |
| P Ca | 4.1 | 3.3 | 29.7 | 709.2 | 192.1 | 901.2 | 169.2 | 87.9 |
| P Si | 3.2 | 3.1 | 28.5 | 747.0 | 201.3 | 948.3 | 193.6 | 88.0 |
| P CaSi | 3.1 | 2.6 | 29.2 | 687.5 | 189.9 | 877.4 | 164.7 | 88.4 |
| C tes | 13.5 | 3.1 | 29.4 | 691.1 | 179.9 | 871.0 | 188.8 | 91.6 |
| C Ca | 15.0 | 4.9 | 29.0 | 710.8 | 185.4 | 896.2 | 200.2 | 91.6 |
| C Si | 14.6 | 4.8 | 28.8 | 716.2 | 187.6 | 903.8 | 192.6 | 91.7 |
| C CaSi | 13.0 | 5.2 | 29.3 | 700.3 | 180.6 | 880.8 | 185.8 | 92.0 |

Fonte: Do autor (2023).

Embora a adubação suplementar com Ca e/ou Si foliar tenha sido positiva, nota-se que o efeito foi sutil devido à proximidade dos tratamentos na PCA (Figura 1), no entanto, alguns trabalhos apontam a importância destes elementos para as características agrônomicas do morangueiro (FIGUEIREDO et al., 2010; MUNARETTO et al., 2018; PASSOS; TRANI, 2013; SILVA et al., 2013).

O cálcio é um nutriente de extrema importância, pois está envolvido na divisão celular, promovendo o crescimento das plantas; participa da germinação do pólen e crescimento do tubo polínico, ou seja, está envolvido na formação dos frutos. Além do que é um nutriente que desempenha importante função no fornecimento de resistência mecânica da parede celular. Sendo que no morango a deficiência de cálcio reduz a produtividade e diminui a qualidade dos frutos, pois reduz a capacidade de conservação (PASSOS; TRANI, 2013; TAIZ et al., 2017). Nota-se que os tratamentos que receberam Ca foliar obtiveram redução da % de frutos podres, da % de frutos deformados e aumentaram a produção, variáveis estas ligadas a resistência mecânica, germinação do pólen e divisão celular respectivamente.

O efeito benéfico do silício no morangueiro está relacionado a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças; e ao acúmulo de Si nos órgãos de transpiração. Pois a dupla camada de sílica acumulada diminui a abertura estomática, reduzindo a transpiração e a perda de água, conseqüentemente eleva a produção (KORNDÖRFER; VIDAL; KORNDÖRFER, 2010).

Tem-se visto que a adubação com silício foliar (86,2 mg Si/kg) aumentou a produção do morangueiro da cultivar Milsei Tudla, sendo que o silício via solo alcança maior produtividade que o aplicado via foliar, possivelmente pela influência do silício na disponibilidade de fósforo no solo (SILVA et al., 2013). Wurz et al. (2020) com aplicação foliar de silício, inclusive com a mesma fonte e doses maiores do que a usada neste experimento, observou-se que o silício não influenciou nas variáveis produtivas da cultivar Pircinque, no entanto, aumentou o percentual de frutos comerciais e na firmeza.

Inferindo pelos trabalhos de Silva et al. (2013) e Wurz et al. (2020) nota-se que cada genótipo possui uma resposta diferente a adubação, sendo que as variáveis agrônomicas podem ser influenciadas pelo genótipo, mas deixa evidente que o Si traz efeitos benéficos ao morangueiro, assim como foi comprovado neste trabalho, aonde a presença do Si trouxe efeitos positivos na produção, na redução de frutos podres e frutos deformados.

O Pircinque tem se destacado pelas suas características produtivas e qualidade dos frutos não somente neste trabalho, mas tem notado seu potencial comparado a outros genótipos e em outras regiões, como no trabalho de Wurz et al. (2021) na região do Planalto Norte Catarinense.

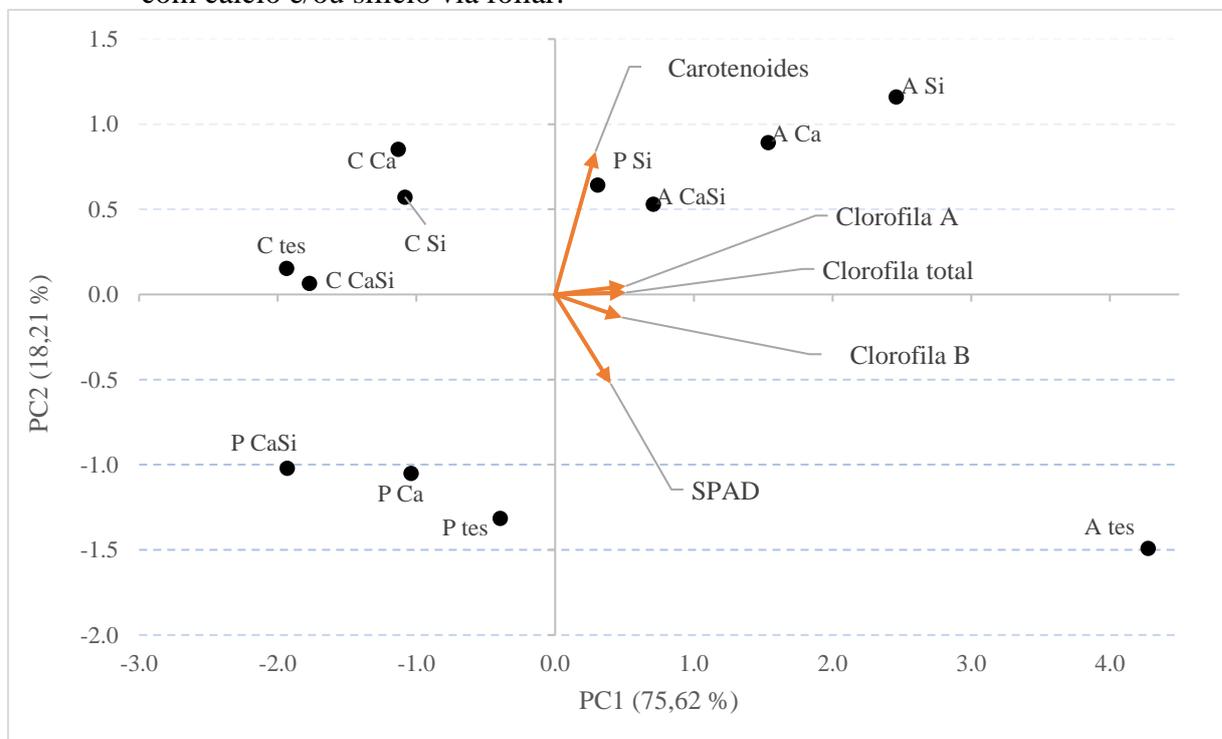
Embora o Clone-23 não tenha sido o mais produtivo, no trabalho de Pereira et al. (2022) ele foi evidenciado como um dos clones experimentais da UFLA mais promissores para o programa de melhoramento genético do morangueiro devido a maior produtividade e massa dos frutos comparado a materiais comerciais como Albion e Pircinque.

Tem se visto que a umidade varia com os genótipos como notado na tabela 1 e na figura 1, assim como no trabalho de Jeong et al. (2016). Nota-se que os tratamentos que receberam adubação com Ca e/ou Si tenderam a ter frutos com menor umidade, o que indica que a disponibilização desses elementos implica no aumento da matéria seca.

A umidade e a firmeza nos morangos possuem relação inversa, o que evidencia que frutos com menor umidade como os da Pircinque (média 87,9 %) apresentam maior resistência aos danos quando manuseados do que o Albion (média 91,3 %) e o Clone-23 (média 91,7 %) (JEONG et al., 2016).

De acordo com análise de componentes principais (PCA) da Figura 2, a primeira e a segunda componentes foram capazes de explicar respectivamente 75,62 % e 18,21 % da variância total dos dados de pigmentos fotossintéticos do morangueiro.

Figura 2 - Análise de Componentes Principais (PCA) de cultivares de morangueiro adubadas com cálcio e/ou silício via foliar.



Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício.

De acordo com a PCA, nota-se, principalmente, o agrupamento dos tratamentos em função do genótipo, onde os maiores teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total são encontrados na cultivar Albion, sendo que o Pircinque e o Clone-23 são mais semelhantes entre si para estas variáveis. Sendo os maiores teores de carotenoides encontrados no A Si, A Ca, A CaSi e C Ca (Figura 2 e Tabela 1). Como o índice SPAD foi explicado pela PC1 (0,40) e PC2 (-0,52) por valores muito próximos, não fica evidente o comportamento dessa variável na PCA da figura 2, mas pela tabela 1 observa-se que o índice SPAD variou de 32,6 no A Tes até 28,5 no P Si.

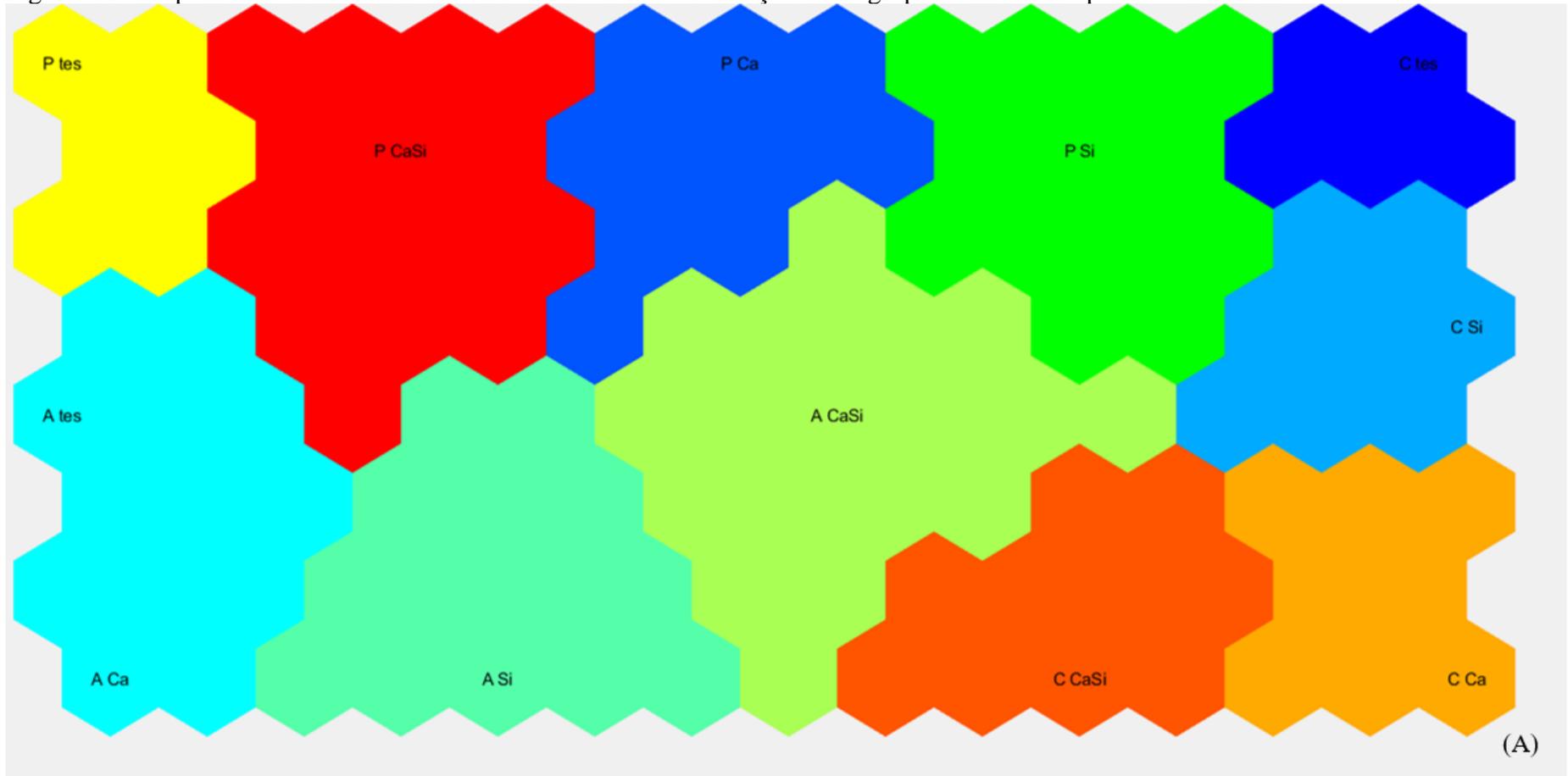
Embora não tenhamos notado efeito da adubação foliar nas variáveis fotossintéticas, alguns autores Dechen e Nachtigall (2007), Faquin (2005), Silva et al. (2013) e Taiz et al. (2017) relataram aumento da taxa fotossintética com uso de Si. Sendo que a forma de aplicação pode influenciar nas características fotossintéticas, pois de acordo com Silva et al. (2013) maior teor de clorofila total foram observados quando utilizou Si via foliar do que Si via solo, já no trabalho de Felipo; Gil e Apaolaza (2020) relataram o oposto.

O aumento do teor da clorofila está ligado ao acúmulo de sílica nas células, que ocasiona mudança na arquitetura das plantas, deixando as folhas mais eretas acarretando melhoria da interceptação da luz solar (RAVEN, 1983; SANTOS et al., 2021), no entanto, vemos por este trabalho que a aplicação foliar de Si não proporcionou tais efeitos no morangueiro para aumentar o teor de clorofila.

Quanto ao cálcio, Kaya et al. (2002) relataram que pulverizações foliares com $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ não alteraram o teor de clorofila de morangueiros das cultivares Camarosa e Oso Grande, o que corrobora com os resultados deste trabalho, já que o cálcio não está ligado diretamente ao processo de fotossíntese.

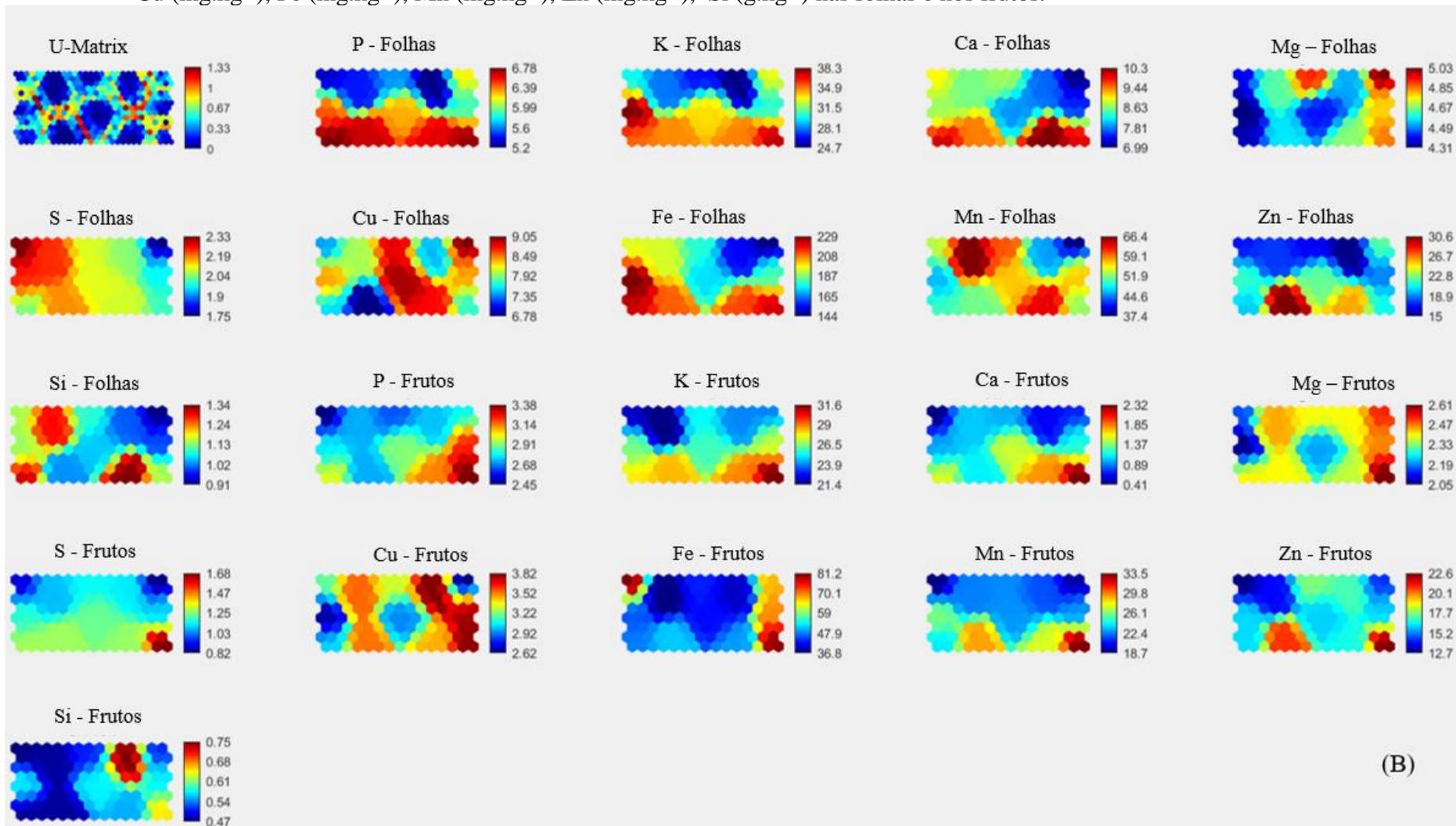
Partindo dos pressupostos, a rede neural escolhida neste estudo foi hexagonal 8x15 (Figura 3A) com índices de DB e S iguais a 0.56969 e 0.75608, respectivamente. Os menores valores encontrados para os erros de quantização (QE), erro topográfico (TE) e erro combinado foram 0.012067, 0.00 e 0.030161, respectivamente. Isto indica que os dados usados para gerar a rede eram distintos, sendo a rede neural escolhida capaz de identificar as diferenças entre os tratamentos, a qual apresentou um agrupamento dos tratamentos com qualidade e baixos valores de erros (BARROS et al., 2020; DAVIES; BOULDIN, 1979; MOREIRA et al., 2019; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977; SERRIEN; GOOSSENS; BAEYENS, 2017).

Figura 3A - Mapa neural bidimensional de cluster mostrando a formação de 11 grupos com seus respectivos tratamentos.



Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício.

Figura 3 B - Mapas de componentes e matriz de distância (matriz de U) dos elementos P (g.kg⁻¹), K (g.kg⁻¹), Ca (g.kg⁻¹), Mg (g.kg⁻¹), S (g.kg⁻¹), Cu (mg.kg⁻¹), Fe (mg.kg⁻¹), Mn (mg.kg⁻¹), Zn (mg.kg⁻¹), Si (g.kg⁻¹) nas folhas e nos frutos.



(B)

Cada hexágono presente no mapa neural bidimensional de KSOM representa um neurônio, cujos tratamentos estudados estão alocados de acordo com suas similaridades. Dessa forma, foi possível identificar a divisão das amostras em 11 grupos (Figura 3A).

A princípio observa-se que a capacidade de extração dos nutrientes do meio em que o morango foi cultivado se diferencia entre as cultivares, pois sob a mesma fertirrigação as testemunhas de cada cultivar apresentaram teores diferentes dos elementos, sendo que os teores minerais das folhas foram maiores do que nos frutos (Figura 3A e 3B).

Dominguez et al. (2020) também observou maiores teores de macro e micronutrientes nas folhas do que nos frutos, sendo que isso pode ser influenciado pela época de produção, órgão e cultivar do morangueiro.

Observa-se que o A tes e P tes possuem maior teor de Ca e Si nas folhas do que C tes, sendo que nos frutos o teor de Ca e Si foi indiferente nas testemunhas das cultivares (Figura 3A e 3B). Isto demonstra que ao realizar adubações foliares com cálcio e silício existe uma necessidade com que a calda tenha cobertura ainda melhor das folhas do Clone-23 e dos frutos das cultivares estudadas, a fim de garantir maior disponibilidade de Ca e Si para absorção.

De modo geral, observou-se que os menores teores de cálcio nas folhas coincidiram com P Si, C Tes, C Si e A CaSi; nos frutos os maiores teores de cálcio foram obtidos no C CaSi e C Ca. Quanto ao silício, nota-se que os maiores teores foliares foram encontrados no P CaSi, A Ca e C CaSi, nos frutos o maior teor foi obtido no P Si (Figura 3A e 3B).

Nota-se que o Clone-23 foi responsivo a adubação com Ca e Si, pois o teor de cálcio das folhas foi maior no C CaSi e C Ca do que C Si e C Tes. Nos frutos observa-se que o maior teor de cálcio ocorre no C Ca. Quanto ao silício, o maior teor foliar encontrado foi no C CaSi, sendo que nos frutos a adubação com cálcio (C Ca) contribuiu para o aumento do teor de silício do Clone-23 (Figura 3A e 3B).

Quanto a cultivar Albion, observa-se que a adubação com cálcio e silício (A CaSi) reduziu o teor foliar de cálcio comparado ao A Tes, A Ca e A Si, sendo o maior teor foliar encontrado no A Ca, o que corrobora com o trabalho de Ma e Takahashi (1993), no qual observou que o Si interfere de forma negativa na absorção de Ca. Quanto aos frutos observou que A Ca e A CaSi aumentaram ligeiramente o teor de cálcio nos frutos. Em relação ao Si, o maior teor nas folhas foi observado no A Ca, já nos frutos as adubações suplementares não elevaram o teor de silício (Figura 3A e 3B).

Em relação ao Pircinque, o maior teor foliar de cálcio foi encontrado na P Tes, não havendo diferença entre P CaSi e P Ca, sendo que ao utilizar silício (P Si) observou-se uma queda no teor de cálcio foliar. Quanto ao cálcio nos frutos observa-se que P CaSi e P Ca

apresentaram um ligeiro aumento no teor de cálcio comparado ao P Tes e P Si. Nas folhas podemos observar maior teor de silício no P CaSi e maior teor nos frutos no P Si (Figura 3A e 3B).

Observou-se que alguns tratamentos que associaram cálcio e silício (P CaSi e C CaSi) apresentaram maior teor de silício nas folhas do que quando aplicado isoladamente (P Si e C Si), o que evidencia que o cálcio pode potencializar a absorção de silício pelas folhas. No entanto, observa-se que a aplicação foliar de silício pode prejudicar a absorção de cálcio inclusive da solução da fertirrigação, como no caso de P Si que apresentou menor teor de cálcio das folhas do que P Tes (Figura 3A e 3B). Este comportamento corrobora com o observado no trabalho de Ma e Takahashi (1993) no qual estudou a interação de cálcio e silício na cultura do arroz.

De acordo com Ma e Takahashi (1993) a absorção de cálcio da solução reduziu em 20% devido a presença do silício e a taxa de transpiração foi 30 % maior nas plantas que não receberam silício. Sendo que o teor de cálcio na parte aérea aumentou com o acréscimo de cálcio da solução sob o mesmo nível de silício e diminuiu quando aumentou de 0,33 para 1,66 mM de silício da solução.

Ouellette et al. (2017) provaram geneticamente que o morango possui transportadores de Si de influxo (Lsi1) e efluxo (Lsi2), demonstrando que o morangueiro é uma planta responsiva a adubação com Si. De seis cultivares testadas, dentre elas o Albion, observaram que as cultivares acumularam aproximadamente a mesma concentração de Si, inferindo uma limitada variabilidade genética para essa característica nos genótipos avaliados.

Tendo visto que o morangueiro é uma planta responsiva a adubação com silício (OUELLETTE et al., 2017), que o silício diminui a taxa transpiratória das plantas (GAO et al., 2006; MA; TAKAHASHI, 1993; SANTOS et al., 2021) e o cálcio é absorvido em função do fluxo transpiratório, fica evidente que a adubação foliar com silício pode comprometer a absorção de cálcio pelas cultivares de morango.

Greger; Landberg e Vaculík (2018) relataram que o Si promove a absorção de Ca em condições ótimas ou em plantas sob alguma forma de estresse. Por outro lado, alguns estudos sugerem que o Si não afeta (COOKE; LEISHMAN, 2016) ou mesmo diminui o acúmulo de Ca (MA; TAKAHASHI, 1993).

Ouellette et al. (2017) aplicando silício via solo observaram que as cultivares testadas acumularam silício nas folhas. No entanto os frutos não atingiram o nível de detecção de silício, indicando que o silício não transloca para os frutos. Lana et al. (2006) relataram que o acúmulo

de silício foi maior nas regiões que ocorrem maior perda de água, sendo as folhas as mais susceptíveis a esta perda.

Levando em consideração Lana et al. (2006) e Ouellette et al. (2017), podem-se inferir que os baixos teores de silício nos frutos encontrados neste trabalho (Figura 3B) devem-se a menor taxa de transpiração dos frutos comparado às folhas, a sobreposição das folhas aos frutos que impedem com que a calda de pulverização atinja os frutos, a falta de redistribuição do silício para os frutos e a quantidade aplicada que pode ter sido insuficientes.

Nota-se que o teor de cálcio nos frutos foi baixo, inclusive fazendo adubação foliar de cálcio. Isto indica que é imprescindível atingir melhor os frutos com as pulverizações, escolher fontes de adubos melhor assimiladas pela planta, aumentar a quantidade aplicadas e que a resposta a adubação com cálcio varia de uma cultivar para outra. Observa-se que a adubação foliar com cálcio no Clone-23 (C Ca) contribuiu para aumentar o teor de cálcio nos frutos, entretanto não observa o mesmo no P Ca e A Ca (Figura 3A e 3B).

De modo geral observa-se que o Pircinque apresenta menores teores dos macronutrientes P, K e Ca nas folhas e frutos do que o Albion e o Clone-23 (Figura 3A e 3B). Assim, o Pircinque apresenta maior demanda nutricional desses nutrientes para expressar seu potencial produtivo, já que pode haver um esgotamento prematuro dos nutrientes da solução. A cultivar Pircinque apresentou melhores características agronômicas, apontando que esta cultivar possui melhor conversão dos nutrientes absorvidos em produção de frutos e conversão de matéria seca, já que apresenta o menor teor de umidade (TABELA 1, FIGURA 1).

Quanto ao Mg, S e aos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn podemos observar que o Mg apresentou maiores teores foliares no P Ca, C Tes, C Si e C Ca e nos frutos C Tes, C Si e C Ca. O enxofre apresentou maiores teores foliares no P Tes, P CaSi, A Tes e A Si e nos frutos no C Ca. O cobre apresentou maiores teores foliares no P Ca, A CaSi, C CaSi e C Tes; nos frutos nos P CaSi, A Si, P Si, C Si e C Ca. O ferro apresentou maiores teores foliares no A Tes, A Ca, A Si, C CaSi e C Ca, nos frutos P Tes, C Tes, C Ca e C Si. O manganês apresentou maiores teores foliares no P CaSi, P Ca e C CaSi, nos frutos no C Ca. O zinco apresentou maiores teores foliares no A Si e nos frutos nos A Si e C Ca.

De acordo com os resultados do Mg, S e aos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn não foi possível identificar um padrão em função das cultivares ou adubações foliares aplicadas. No entanto, podemos observar que o C Ca foi o único tratamento que apresentou aumento nos teores de todos esses nutrientes seja nas folhas e/ou frutos. Mas, como já demonstrado por Rodrigues (2019) a presença de Ca e/ou Si induz genes relacionados com a absorção e

transporte de nutrientes e ao estresse oxidativo, sendo que o mix (Ca + Si) induz um número ainda maior de genes (CAM, MYB59, NRT1, MOT1, PHO1 e FaNIP2-1).

Segundo Pavlovic et al. (2021), a interação do silício com os elementos minerais são em grande parte específicas da plantas e dependentes do estado nutricional (deficiência ou excesso), sendo que a aplicação de Si pode aumentar a disponibilidade de nutrientes e amenizar toxidez de outros. Sendo que diferentes efeitos do Si na absorção e acumulação de nutrientes são relatados, dependendo de espécies, condições experimentais, tipo de estresse e quantidade de silício aplicado.

4 CONCLUSÕES

A adubação suplementar com cálcio e/ou silício via foliar melhorou as características agronômicas do morangueiro, tais como a produção/planta, a produção total, o nº de frutos/planta e reduziu a porcentagem de frutos podres, de umidade e de frutos deformados das cultivares Albion, Pircinque e do Clone-23. Sendo que a Pircinque se destacou pela produção e qualidade dos frutos comparada ao Albion e ao Clone-23.

A adubação foliar não influenciou as características fotossintéticas do morangueiro. O cálcio aplicado foliar potencializou a absorção de silício pelas folhas. No entanto, a aplicação foliar de silício prejudicou a absorção de cálcio, inclusive da solução da fertirrigação.

A adubação foliar com silício traz efeitos benéficos, mas deve ser usada com cautela, já que pode comprometer a absorção de cálcio pelas cultivares de morango.

REFERÊNCIAS

- BARROS, H. E. A. d. *et al.* Nutritional clustering of cookies developed with cocoa shell, soy, and green banana flours using exploratory methods. **Food and Bioprocess Technology**, 13, n. 9, p. 1566-1578, 2020.
- COOKE, J.; LEISHMAN, M. R. Consistent alleviation of abiotic stress with silicon addition: a meta-analysis. **Functional Ecology**, 30, n. 8, p. 1340-1357, 2016.
- DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A cluster separation measure. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, n. 2, p. 224-227, 1979.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- DOMINGUEZ, A. *et al.* EVALUATION OF THE NUTRITIONAL STATUS OF STRAWBERRY DURING THE PRODUCTION SEASON. **Environmental Engineering and Management Journal**, 19, n. 4, p. 599-607, Apr 2020. Article.
- FAO. **FAO STAT: Crops**. 2020. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 03 de dez 2022.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. 2005.
- FELIPO, F. J. P.; GIL, Y. B.; APAOLAZA, L. H. Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. **Plant physiology and biochemistry**, 152, p. 23-31, 2020.
- FIGUEIREDO, A. *et al.* Produtividade do morangueiro em função de diferentes doses de silício aplicadas via solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, 29, n. 2, p. 870-876, 2010.
- FREIRE JUNIOR, M.; SOARES, A. G. Orientações quanto ao manuseio pré e pós-colheita de frutas e hortaliças visando a redução de suas perdas. **Embrapa Agroindústria de Alimentos- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014.
- GAO, X. *et al.* Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, 29, n. 9, p. 1637-1647, 2006.
- GREGER, M.; LANDBERG, T.; VACULÍK, M. Silicon influences soil availability and accumulation of mineral nutrients in various plant species. **Plants**, 7, n. 2, p. 41, 2018.
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia electronica**, 4, n. 1, p. 9, 2001.
- JEONG, H. J. *et al.* Comparative Analysis of the Fruit Characteristics of Four Strawberry Cultivars Commonly Grown in South Korea. **Korean Journal of Horticultural Science & Technology**, 34, n. 3, p. 396-404, Jun 2016. Article.
- KAYA, C. *et al.* Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, 42, n. 5, p. 631-636, 2002. Article.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological cybernetics**, 43, n. 1, p. 59-69, 1982.

KOHONEN, T.; KASKI, S.; LAPPALAINEN, H. Self-organized formation of various invariant-feature filters in the adaptive-subspace SOM. **Neural computation**, 9, n. 6, p. 1321-1344, 1997.

KORNDÖRFER-UFU, G. H.; NOLLA-UFU, A. CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO COM A SILICATAGEM. 2004.

KORNDÖRFER, G. H.; VIDAL, A. A.; KORNDÖRFER, P. H. Elemento benéfico: silício na nutrição de plantas. **Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas. Jaboticabal: FCAV**, 309, p. 327, 2010.

LANA, R. M. Q. *et al.* Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, 2006.

LICHTENTHALER, H. K.; BUSCHMANN, C. Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. **Current protocols in food analytical chemistry**, 1, n. 1, p. F4. 3.1-F4. 3.8, 2001.

MA, J. F.; TAKAHASHI, E. INTERACTION BETWEEN CALCIUM AND SILICON IN WATER-CULTURED RICE PLANTS. **Plant and Soil**, 148, n. 1, p. 107-113, Jan 1993.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. d. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS: 1997.

MOREIRA, L. S. *et al.* Development of procedure for sample preparation of cashew nuts using mixture design and evaluation of nutrient profiles by Kohonen neural network. **Food chemistry**, 273, p. 136-143, 2019.

MULEY, A. B. *et al.* Analyzing the physical and biochemical changes in strawberries during storage at different temperatures and the development of kinetic models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 16, n. 1, p. 222-247, 2022.

MUNARETTO, L. M. *et al.* Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. **Horticultura Brasileira**, 36, n. 1, p. 40-46, Jan-Mar 2018. Article.

OUELLETTE, S. *et al.* Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. **Frontiers in Plant Science**, 8, 2017. Article.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. Calagem e adubação do morangueiro. **Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas**, p. 16, 2013.

PAVLOVIC, J. *et al.* Interactions of Silicon With Essential and Beneficial Elements in Plants. **Frontiers in Plant Science**, 12, p. 19, Jun 2021. Review.

PEARCE, J. G.; SHAAR, Z.; CROSBIE, R. E. Scattering of energetic ions by solids—a simulation. **Simulation**, 29, n. 4, p. 97-104, 1977.

- PEREIRA, E. H.; FLORESTI, A. P.; DA SILVA GOMES, H. A. Elaboração do Processo de Beneficiamento do Cultivo Morango Pircinque. **Revista Engenho**, 13, n. 1, p. 4-17, 2021.
- PEREIRA, M. A. *et al.* Productivity of strawberry genotypes in the south and southwest mesoregion of Minas Gerais. **Colloquium Agrariae**, 18, n. 1, p. 46-52, 2022.
- RAVEN, J. A. The transport and function of silicon in plants. **Biological reviews**, 58, n. 2, p. 179-207, 1983.
- RODRIGUES, A. L. d. S. **Estudo do efeito da nutrição em *Fragaria x ananassa* Duch. cv. Portola: análise das respostas moleculares**. 2019. Dissertação -, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto.
- ROSA, H. T. *et al.* Crescimento vegetativo e produtivo de duas cultivares de morango sob épocas de plantio em ambiente subtropical. **Revista Ciência Agronômica**, 44, n. 3, p. 604-613, 2013.
- SANTOS, L. C. d. *et al.* O papel do silício nas plantas. **Research, Society and Development**, 10, n. 7, p. e3810716247, 2021.
- SERRIEN, B.; GOOSSENS, M.; BAEYENS, J. Issues in using self-organizing maps in human movement and sport science. **Journal homepage: <http://iacss.org/index.php?id>**, 16, n. 1, 2017.
- SILVA, M. L. S. *et al.* Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. **Semina: Ciências Agrárias**, 34, n. 6 SUPPL. 1, p. 3411-3424, 2013.
- SOUZA, D. C. d. *et al.* Selection of experimental strawberry clones for fruit appearance attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 56, 2022.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TEMPERADO, E. C. **Luis Eduardo Corrêa Antunes Carlos Reisser Júnior José Ernani Schwengber**. 2016.
- ULTSCH, A. Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis. **Proceedings INNC'90, International Neural Network Conference**, p. 305-308, 1990.
- ULTSCH, A.; SIEMON, H. Exploratory data analysis: Using Kohonen's topology preserving maps. **Technical Report 329**, 1989.
- VATANEN, T. *et al.* Self-organization and missing values in SOM and GTM. **Neurocomputing**, 147, p. 60-70, 2015.
- WURZ, D. A. *et al.* DESEMPENHO AGRONÔMICO DE GENÓTIPOS DE MORANGUEIRO CULTIVADOS NO PLANALTO NORTE CATARINENSE. **Revista Ciência Agrícola**, 19, n. 3, p. 211-218, 2021.

WURZ, D. A. *et al.* Efeito da aplicação foliar de silício nos aspectos produtivos e de qualidade de frutos de morangueiro. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, 6, n. 2, p. 144-149, 2020.

APÊNDICE

Dados dos macronutrientes e micronutrientes em folhas e frutos de *Fragaria x ananassa* adubados com cálcio e silício foliar usados para gerar a rede neural. Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio + Silício.

| | P | K | Ca | Mg | S | Cu | Fe | Mn | Zn | Si |
|------------|--------------------------------|-------|-------|------|------|---------------------------------|--------|-------|-------|------|
| Folhas | | | | | | | | | | |
| Tratamento | ----- g.kg ⁻¹ ----- | | | | | ----- mg.kg ⁻¹ ----- | | | | |
| A tes | 6.44 | 38.40 | 8.70 | 4.31 | 2.24 | 8.42 | 229.73 | 46.23 | 21.62 | 1.14 |
| A Ca | 6.79 | 35.12 | 10.01 | 4.36 | 2.04 | 7.55 | 222.13 | 50.10 | 19.98 | 1.31 |
| A Si | 6.66 | 34.68 | 9.44 | 4.56 | 2.18 | 6.78 | 210.42 | 51.48 | 30.58 | 1.03 |
| A CaSi | 6.31 | 33.58 | 7.86 | 4.41 | 2.10 | 8.96 | 173.62 | 56.94 | 22.39 | 1.05 |
| P tes | 5.30 | 29.96 | 9.03 | 4.39 | 2.33 | 7.42 | 194.99 | 53.48 | 17.20 | 1.15 |
| P Ca | 5.62 | 26.58 | 8.73 | 4.92 | 2.09 | 8.82 | 179.12 | 60.25 | 16.81 | 1.09 |
| P Si | 5.20 | 24.69 | 7.73 | 4.52 | 2.05 | 7.47 | 154.27 | 45.59 | 14.94 | 1.00 |
| P CaSi | 5.43 | 27.98 | 8.60 | 4.64 | 2.23 | 8.00 | 193.89 | 66.41 | 17.74 | 1.29 |
| C tes | 6.21 | 33.02 | 6.97 | 5.04 | 1.74 | 9.08 | 142.45 | 36.23 | 22.35 | 0.91 |
| C Ca | 6.74 | 37.36 | 9.92 | 4.85 | 2.00 | 7.74 | 222.16 | 52.62 | 21.03 | 1.15 |
| C Si | 5.89 | 30.29 | 7.51 | 4.78 | 1.97 | 8.39 | 182.19 | 57.11 | 18.87 | 1.00 |
| C CaSi | 6.62 | 34.82 | 10.26 | 4.68 | 2.09 | 8.75 | 212.69 | 63.35 | 26.04 | 1.35 |
| Frutos | | | | | | | | | | |
| Tratamento | ----- g.kg ⁻¹ ----- | | | | | ----- mg.kg ⁻¹ ----- | | | | |
| A tes | 2.78 | 26.37 | 0.96 | 2.04 | 1.18 | 2.64 | 46.01 | 26.09 | 16.07 | 0.57 |
| A Ca | 3.01 | 27.96 | 1.55 | 2.41 | 1.29 | 3.02 | 47.99 | 23.90 | 16.11 | 0.48 |
| A Si | 2.72 | 28.40 | 1.11 | 2.40 | 1.28 | 3.53 | 51.15 | 29.27 | 20.89 | 0.48 |
| A CaSi | 2.92 | 25.82 | 1.51 | 2.21 | 1.23 | 2.93 | 42.66 | 22.68 | 15.97 | 0.57 |
| P tes | 2.45 | 22.02 | 0.41 | 2.16 | 0.89 | 3.18 | 81.49 | 18.64 | 12.72 | 0.47 |
| P Ca | 2.65 | 25.22 | 0.98 | 2.40 | 1.15 | 3.31 | 43.69 | 22.56 | 17.69 | 0.51 |
| P Si | 2.74 | 23.99 | 0.64 | 2.40 | 1.13 | 3.83 | 39.80 | 21.65 | 17.12 | 0.75 |
| P CaSi | 2.73 | 21.36 | 1.03 | 2.44 | 1.09 | 3.55 | 36.79 | 22.37 | 13.99 | 0.48 |
| C tes | 2.80 | 23.93 | 0.70 | 2.52 | 0.80 | 2.56 | 67.42 | 19.01 | 14.35 | 0.51 |
| C Ca | 3.38 | 31.60 | 2.33 | 2.61 | 1.69 | 3.80 | 80.38 | 33.60 | 22.66 | 0.65 |
| C Si | 3.23 | 27.18 | 1.18 | 2.46 | 1.11 | 3.78 | 69.32 | 22.72 | 15.96 | 0.57 |
| C CaSi | 3.14 | 28.93 | 1.80 | 2.37 | 1.27 | 3.46 | 49.27 | 27.45 | 16.63 | 0.55 |

ARTIGO 2 - REDES NEURAIIS NA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MORANGOS ADUBADOS COM CÁLCIO E/OU SILÍCIO FOLIAR

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicação foliar de cálcio e/ou silício na qualidade pós-colheita de frutos de morangueiro sob condições de armazenamento. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sob esquema fatorial 4x3x4, que corresponderam a quatro adubações foliares (testemunha, cálcio, silício e cálcio + silício), três genótipos (Albion, Pircinque e o Clone-23) e quatro tempos de armazenamento (0, 4, 8 e 12 dias), com três repetições. Os resultados de aparência, % incidência de doença, % perda de massa, firmeza, *hue* externo, *chroma* externo, *lightness* externo, *hue* interno, *chroma* interno, *lightness* interno, pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), SS/AT, antocianinas e pectina solúvel foram submetidos à análise pelos mapas auto-organizáveis de Kohonen (KSOM). Observou-se a formação de cinco grupos, onde verificou-se o efeito apenas dos genótipos nos atributos de qualidade dos frutos, em função do tempo de armazenamento. A cultivar Pircinque independentemente do tempo de armazenamento e o Albion e o Clone-23 no menor tempo de armazenamento apresentaram melhores atributos de aparência, perda de massa, firmeza e incidência de doenças. Sendo que, os frutos da Pircinque são externamente menos vermelhos, internamente mais vermelho e mais doces pelo elevado teor de sólidos solúveis. Conclui-se que os atributos de qualidade tendem a diminuir com o tempo de armazenamento, no entanto, a adubação suplementar com cálcio e/ou silício contribuem na manutenção das características físico-químicas dos frutos ao longo do tempo de armazenamento.

Keywords: Pircinque. Albion. Inteligência artificial. Kohonen. *Fragaria x ananassa*.

1 INTRODUÇÃO

O morango é um fruto muito apreciado pelos consumidores em função do seu sabor único e atributos nutricionais. São ricos em compostos promotores da saúde, como macro e micronutrientes essenciais, vitaminas, carotenóides, ácidos orgânicos e apresentam alta capacidade antioxidante (MULEY et al., 2022). No entanto, são altamente perecíveis, suscetíveis a danos nos tecidos devido a lesões mecânicas, distúrbios fisiológicos, perda de umidade, decomposição em pós-colheita e ao manuseio de armazenamento pós-colheita (VELICKOVA et al., 2013).

A redução da vida útil pode ser ainda maior se os frutos sofrerem impactos durante a colheita, transporte e comercialização. Os ferimentos causados permitem a entrada de microrganismos que deterioram e diminuem a qualidade dos morangos na pós-colheita (TEMPERADO, 2016). A fragilidade dos frutos de morango faz com que a vida útil seja muito curta, em torno de 5 dias após a colheita, as perdas pós-colheita ficam em torno de 30-45% (HENZ, 2017). Essas limitações resultam em alta depreciação da qualidade pós-colheita levando a perdas econômicas.

Sabe-se que após a colheita a qualidade do fruto não pode ser melhor. Portanto, torna-se essencial a adoção de estratégias adequadas de manuseio e armazenamento pós-colheita para manter os valores nutricionais e a qualidade geral de morangos.

A nutrição das plantas contribui para a qualidade dos frutos, aumentando a produtividade, a qualidade dos frutos e a redução das perdas pós-colheita (FREIRE JUNIOR; SOARES, 2014). Tem se observado efeito positivo da adubação com cálcio e silício na preservação da firmeza, na redução da taxa respiratória, na redução da produção de etileno, no aumento da produção e na ampliação da vida útil do morango (FIGUEIREDO, A. et al., 2010; MUNARETTO et al., 2018; SILVA et al., 2013; YAMAMOTO et al., 2011).

Segundo Sidhu et al. (2020), o cálcio é um importante agente mediador no controle do metabolismo celular e está envolvido na regulação dos processos de amadurecimento e tempo de armazenamento pós-colheita. A firmeza do fruto, ou seja, a resistência da superfície e da polpa dos frutos à ação mecânica e ou deformação, depende em grande parte da estabilidade das membranas celulares. A adesão de células adjacentes via pectinas também influencia na firmeza e é dependente de concentrações adequadas de cálcio (HOCKING et al., 2016; PANIAGUA et al., 2014; YAMAMOTO et al., 2011).

O silício é um elemento benéfico que propicia modificações metabólicas e estruturais. Podendo influenciar nas características sensoriais, na redução da taxa transpiratória e aumentar

a tolerância ao ataque de pragas e doenças devido à dificuldade de penetração no interior dos tecidos. E ainda se observa que há redução da solubilização da pectina, aumenta a firmeza dos frutos e melhora a coloração, aumentando assim a vida útil pós-colheita (FIGUEIREDO, F. C. et al., 2010; MUNARETTO et al., 2018; SILVA et al., 2013).

Desta forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito da adubação foliar com cálcio e/ou silício na qualidade pós-colheita de frutos de morangueiro sob condições de armazenamento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram escolhidos três genótipos: a cultivar Pircinque de dia curto, a cultivar Albion de dia neutro e um clone experimental. O genótipo experimental MDA23, denominado aqui como Clone-23, é um híbrido oriundo do cruzamento entre as cultivares Dover e Aromas, desenvolvido pelo Programa de Melhoramento do Morangueiro da Universidade Federal de Lavras que se destacou por ter bons índices produtivos (PEREIRA; FLORESTI; DA SILVA GOMES, 2021; PEREIRA et al., 2022; SOUZA et al., 2022).

Os frutos das cultivares Albion, Pircinque e o Clone-23 foram obtidos de plantas transplantadas em 17 de maio de 2021, cultivadas em calhas semi hidropônicas, contendo a mistura de substrato comercial e composto orgânico vegetal na proporção de 1:1. As adubações foliares foram realizadas a cada 15 dias, iniciando na floração aos 43 dias após o transplante (DAT), totalizando 06 aplicações foliares (testemunha, cálcio, silício, cálcio + silício) até a colheita dos frutos para avaliação da vida útil.

A fonte de cálcio utilizada nas aplicações continha 5,23% de cálcio (60,7 g/L) e 6,45% de carbono orgânico total (74,8 g/L), preparada em 200 mL/100L de água. A fonte de silício continha 98% de SiO₂ e 6,5% de Si solúvel, preparada em 100 g/100L de água. Foi utilizado o adjuvante HiperFixx em todos os tratamentos.

Os frutos para as avaliações da vida útil foram colhidos no pico de produção, o que se deu aos 133 dias após o transplante (DAT). Os morangos foram colhidos quando apresentavam coloração vermelha e não passaram por nenhuma lavagem simulando o que é praticado pelos produtores. Em seguida, foram embalados com filme PVC em bandejas tipo PET e armazenados por até 12 dias sob refrigeração em câmara fria (temperatura 2°C e 95 ± 5% UR) (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016).

Os dados foram coletados em quatro tempos de armazenamento (0, 4, 8 e 12 dias), com três repetições, totalizando 144 bandejas com cinco frutos por bandeja, sendo avaliadas 36

bandejas em cada tempo de armazenamento. Cada bandeja foi considerada como uma parcela experimental. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, no esquema fatorial 4x3x4 (quatro aplicações foliares, três genótipos e quatro tempos de armazenamento).

A avaliação da aparência foi realizada de acordo com a escala de Lutz-Ial (2008). Atribuiu-se nota 3 aos frutos em boas condições visuais para comercialização, nota 2 em condições razoáveis e nota 1 aos frutos em condições inadequadas de comercialização.

A avaliação de incidência de doenças foi baseada nos cinco frutos da bandeja, sendo considerado a quantidade de frutos com danos, ou seja, 0% para nenhum fruto com nenhum dano e 100% para todos os cinco frutos com sinais de doenças (ANDRADE JÚNIOR et al., 2016).

A perda de massa foi avaliada pela diferença entre a massa inicial dos frutos armazenados e a massa obtida a cada intervalo de tempo (0, 4, 8 e 12 dias), os resultados foram expressos em % por meio da fórmula:

$$\text{Perda de massa} = [(\text{massa inicial} - \text{massa final}) \times 100] / \text{massa inicial}$$

Devido às análises de coloração e firmeza serem destrutivas, as avaliações de aparência, perda de massa e incidência de doença ocorreram nas bandejas reservadas para o último tempo de avaliação. Desta forma assim que realizadas as avaliações, rapidamente as bandejas retornavam para a câmara fria.

A firmeza dos frutos foi determinada com o auxílio de um texturômetro Stable Micro System modelo TATX2i, utilizando a sonda tipo agulha P/6 N (6 mm de diâmetro), que media a força de penetração desta nos frutos, numa velocidade de 5 mm/s e a uma distância de penetração de 40 mm, valores estes previamente fixados. Foi usada uma plataforma HDP/90 como base. A firmeza do morango foi expressa em Newtons (N), sendo feitas duas leituras em um fruto de cada bandeja, sendo a leitura na região equatorial.

A quantificação da coloração foi realizada em três frutos de cada bandeja. As leituras foram realizadas na parte externa (região equatorial do morango) e na parte interna central de cada fruto utilizando o colorímetro MinoltaCR-400, iluminante D65, no modo CIE onde o “*lightness*” (L) varia de -100 (negro) a +100 (branco), o “*Hue angle*” (H) ou ângulo de cromaticidade é expresso em graus; 0° é definido como vermelho, 90° como amarelo, 180° como verde e 270° como azul; e o “*Chroma*” ou saturação onde os valores variam entre 0 e 60. Valores iguais a 0 correspondem ao centro de origem das coordenadas que indicam cores pouco saturadas e valores de 60 indicam a máxima saturação (MINOLTA, 2007).

Os sólidos solúveis (SS) foram determinados pelo refratômetro digital de bancada Reichert AR 200 (temperatura ambiente) sendo os resultados expressos em % de sólidos solúveis (LUTZ-IAL, 2008).

A acidez titulável (TA) foi determinada por titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,01N, usando como indicador a fenolftaleína, sendo os resultados expressos em % de ácido cítrico.100 g⁻¹ de polpa (LUTZ-IAL, 2008).

A relação SS/TA foi calculada entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável. O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando um pHmetro (Tecnal) (LUTZ-IAL, 2008).

Os teores de pectina solúvel foram extraídos com álcool etílico (92,5%), segundo método adaptado por McCready e McComb (1952) e determinados colorimetricamente, com reação em carbazol, de acordo com metodologia descrita por Bitter e Muir (1962).

Para o preparo do extrato da pectina solúvel, tomou-se como amostras 5 g de morango de cada bandeja, onde adicionou-se 45 mL de álcool etílico (92,5%), as quais foram trituradas, agitadas por 1 hora e mantidas em repouso por uma noite. Após esta etapa, as amostras foram filtradas em papel filtro e lavadas duas vezes com \pm 50 mL de álcool etílico (92,5 %). O resíduo do filtrado no papel foi transferido para erlenmeyer, em seguida adicionou-se 50 mL de água destilada, agitou-se por 1 hora e posteriormente as amostras foram filtradas.

Para determinação da pectina solúvel, transferiu-se 100 μ L do extrato e 900 μ L de água destilada para os tubos de ensaio. Acrescentou-se 3 mL da solução de tetraborato de sódio (banho de gelo), agitando os tubos levemente, os quais foram colocados em banho-maria fervente por 10 min. Posteriormente, os tubos foram resfriados em banho de gelo, e em seguida, acrescentou-se três gotas de carbazol aos tubos, os quais foram agitados novamente, e colocados em banho-maria por mais 15 min. Após o resfriamento dos tubos em banho de gelo, foram realizadas as leituras das amostras a 530 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido galacturônico 100 g⁻¹ morango.

As antocianinas foram quantificadas espectrofotometricamente, segundo Lees e Francis (1972) adaptado por Barcia et al. (2012). Os resultados foram expressos em mg de cianidina-3-glicosídeo 100g⁻¹ de amostra.

Os dados obtidos relativos às análises físico-químicas foram: aparência, % incidência de doença, % perda de massa, firmeza, *hue* externo, *chroma* externo, *lightness* externo, *hue* interno, *chroma* interno, *lightness* interno, pH, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), SS/AT, antocianinas e pectina solúvel, gerando uma base de dados com 144 observações e 16 variáveis analisadas.

A base de dados foi utilizada para obtenção do mapa auto-organizável de Kohonen (KSOM), um tipo de Rede Neural Artificial baseada em aprendizado competitivo e não supervisionado, capaz de mapear um conjunto de dados, em um conjunto finito de neurônios

organizados em um arranjo normalmente unidimensional ou bidimensional (KOHONEN, 1982; KOHONEN; KASKI; LAPPALAINEN, 1997).

Utilizou-se dos KSOM para avaliação de possíveis grupos, onde o método mais comum é a matriz de distâncias unificadas ou matriz-U, a qual é composta pelas distâncias entre todos os neurônios vizinhos no arranjo. As distâncias são associadas com a ocorrência de um agrupamento, quanto maior a distância, mais distintos são os agrupamentos (ULTSCH, 1990; ULTSCH; SIEMON, 1989).

O KSOM foi utilizado para classificar as amostras em clusters, de acordo com a semelhança de suas propriedades. O pacote SOM Toolbox 2.1 (VATANEN et al., 2015) foi utilizado no programa Matlab R2015a, juntamente com as devidas modificações para melhorar a obtenção e validação dos clusters, por meio dos índices de Davies-Bouldin e de Silhueta.

O índice Davies-Bouldin (DB) representa o grau de similaridade entre os clusters, independentemente do número de clusters e o método de partição utilizado, sendo que quanto mais próximo de zero melhor. O índice de silhueta (S), refere-se à qualidade do agrupamento baseado na proximidade entre os tratamentos de um certo grupo e a proximidade deles com o grupo mais próximo, sendo que quanto mais próximo de um, melhor o agrupamento realizado (BARROS et al., 2020; DAVIES; BOULDIN, 1979; MOREIRA et al., 2019; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977). O mapa escolhido apresenta o erro de quantização (QE), erro topográfico (TE) e o erro combinado, que são medidas de precisão, continuidade e as duas medidas combinadas respectivamente (SERRIEN; GOOSSENS; BAEYENS, 2017), quanto mais próximas de zero, melhores serão os erros de medida, embora não tenham um valor padrão (BARROS et al., 2020).

O mapa neural bidimensional de cluster demonstra a formação dos clusters com seus respectivos tratamentos de acordo com sua semelhança. Os mapas de componentes através do gradiente de cor nas barras laterais demonstram a variação dos resultados das determinações analíticas, com exceção da matriz-U, onde a escala de cor indica a distância entre neurônios. Sendo que a posição de cada hexágono no mapa neural bidimensional de cluster tem correspondência ao hexágono do mapa de componentes (BARROS et al., 2020).

Para melhor abordagem dos resultados, foi construído *heatmap* de cluster com auxílio do pacote “ComplexHeatmap” (GU; EILS; SCHLESNER, 2016) agrupamento de cluster pelo método Unweighted Pair Group Method using Arithmetic averages (UPGMA).

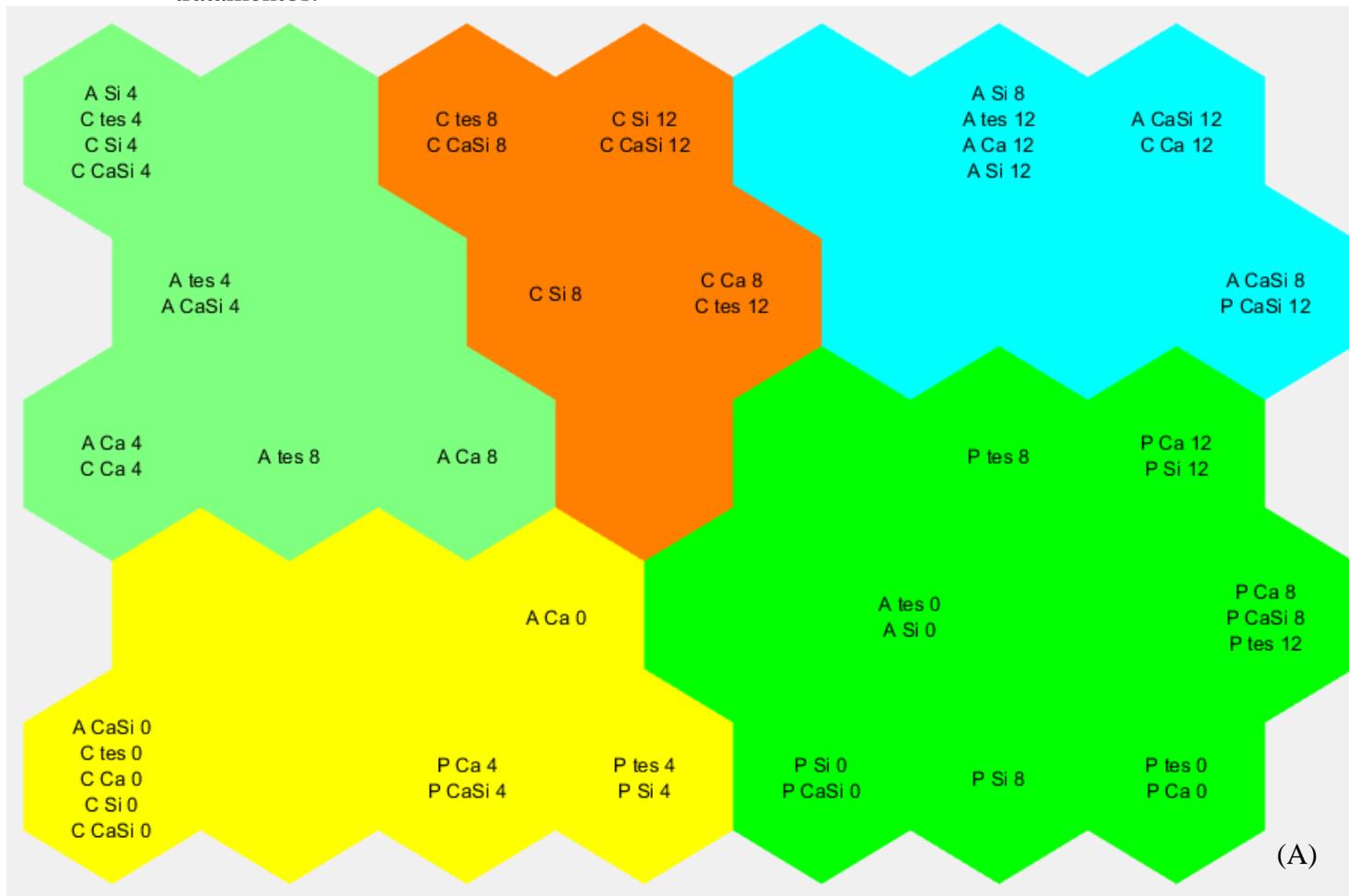
3 RESULTADOS

Os resultados das análises foram visualizados no mapa auto-organizável de Kohonen (KSOM), representados pelo mapa neural bidimensional de agrupamento ou mapa topológico da rede (Figura 1A) e os mapas de componentes de cada variável resposta e a matriz U (Figura 1B). Para corroboração dos resultados, também foi construído um mapa de calor (Figura 2).

Os mapas de Kohonen com diferentes dimensões foram gerados visando obter o arranjo com os melhores índices de validação de clusters, juntamente com menores erros de medição. Partindo desses pressupostos, a rede escolhida neste estudo foi hexagonal 5x7 com índices de Davies-Bouldin (DB) e silhueta (S) iguais a 0.81711 e 0.55418, respectivamente. Os menores valores encontrados para os erros de quantificação (QE), erro topográfico (TE) e erro combinado, foram 0.50704, 0.00 e 0.70054, respectivamente. Cada hexágono presente no mapa neural bidimensional de KSOM representa um neurônio, cujos tratamentos estudados estão alocados de acordo com suas similaridades. Dessa forma, foi possível identificar a separação dos tratamentos em cinco grupos (Figura 1A). Os clusters verde limão e amarelo, compreenderam, basicamente, a cultivar Pircinque e os frutos com menor tempo de armazenamento da cultivar Albion e do Clone-23. Os clusters verdes claro, laranja e azul, foram formados pelas cultivares Albion e o Clone-23 nos tempos quatro, oito e doze dias de armazenamento, sendo que os tratamentos com maiores tempos de armazenamento se concentram nos clusters laranja e azul (Figura 1A).

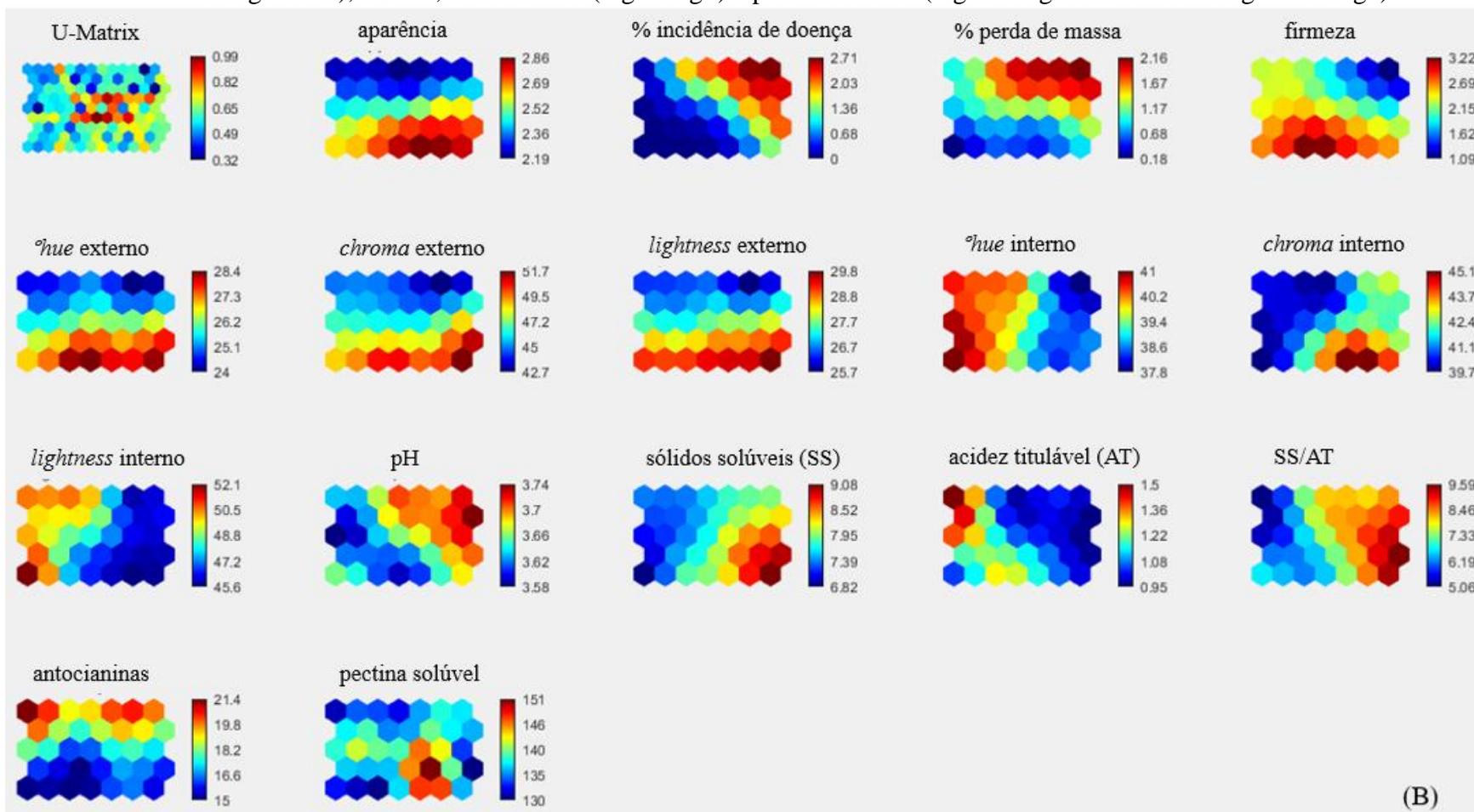
Conforme o mapa da variável aparência e conforme gradiente de cores da barra lateral (Figura 1B), frutos com melhor aparência foram observados na cultivar Pircinque, independentemente da adubação suplementar e do tempo de armazenamento, seguido pela cultivar Albion e Clone-23 no menor tempo de armazenamento (cluster verde-limão e amarelo, respectivamente).

Figura 1 A - Mapa neural bidimensional de cluster mostrando a formação de cinco grupos com seus respectivos tratamentos.



Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio+Silício; 0, 4, 8 e 12= tempos de armazenamento (dias).

Figura 1 B - Mapas de componentes e matriz de distância (matriz de U) para os dados relativos à aparência (escala de notas), % incidência de doença, % perda de massa, firmeza (N), *hue* externo, *chroma* externo, *lightness* externo, *hue* interno, *chroma* interno, *lightness* interno, pH, sólidos solúveis (SS -%), acidez titulável (AT - mg de ácido cítrico.100g⁻¹ de morango ou %), SS/AT, antocianinas (mg.100 g⁻¹) e pectina solúvel (mg ácido galacturônico.100 g⁻¹ morango).



De acordo com os mapas de componentes das variáveis é possível observar uma correlação direta entre alta incidência de doença, maior perda de massa e os maiores tempos de armazenamento de 8 e 12 dias. Pircinque apresentou menor perda de massa quando comparado a Albion e ao Clone-23 (Figura 1B), ao longo do tempo de armazenamento, exceto no décimo segundo tempo onde se equipara com a cultivar Albion no tempo oito de armazenamento.

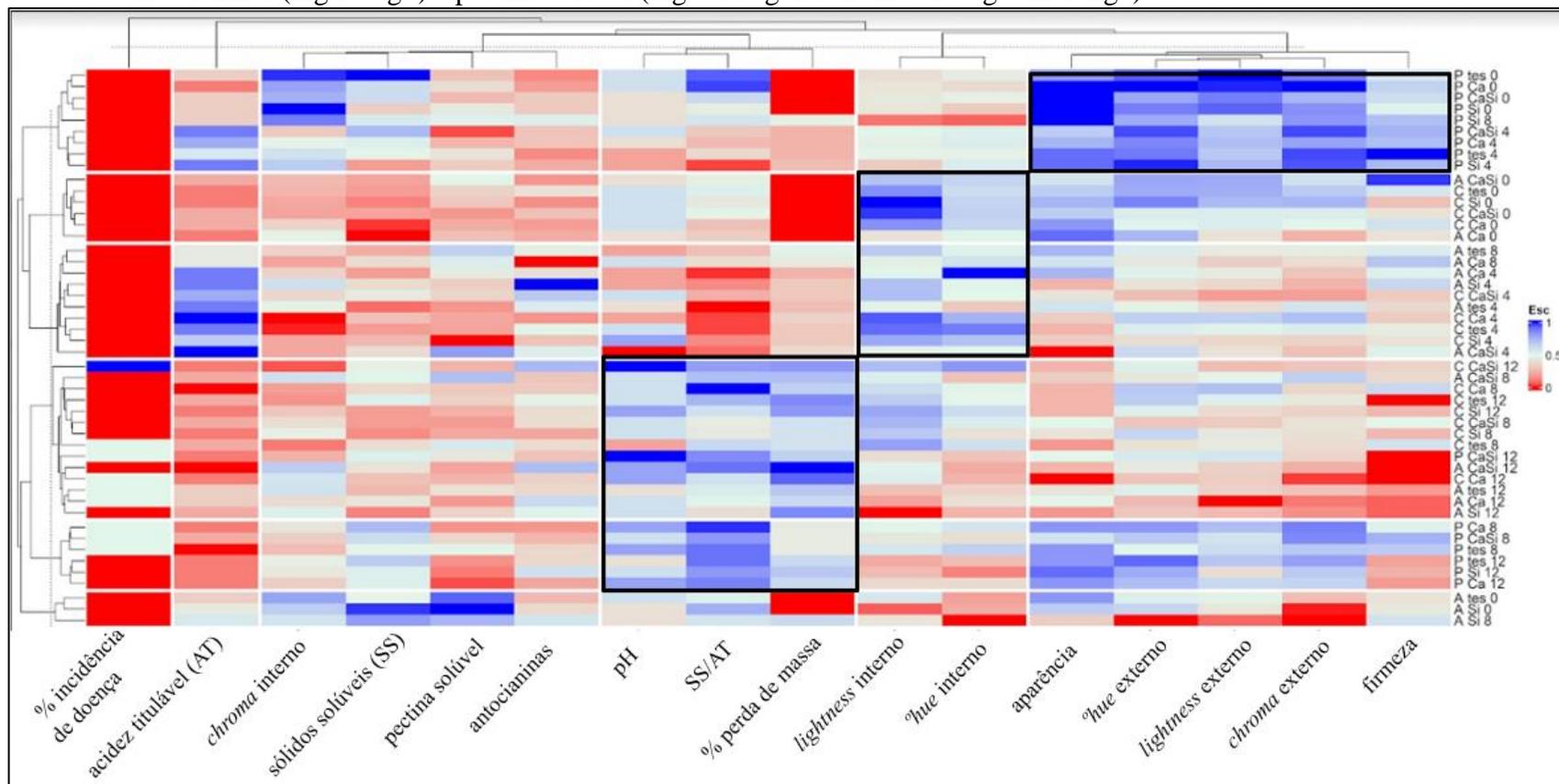
Similar a aparência e inversamente proporcional a perda de massa, os valores referentes à firmeza foram maiores em frutos da cultivar Pircinque e no menor tempo de armazenamento da cultivar Albion e do Clone-23 (Figura 1A).

Os frutos da Pircinque são externamente menos vermelhos (maiores valores do *°hue*), com cores mais saturadas (maiores valores de *chroma*) e de maior brilho (maiores valores de *lightness*), características estas, semelhantes à dos frutos Albion e do Clone-23 no tempo zero de armazenamento. Nos clusters verde-limão e azul encontram-se os frutos internamente mais avermelhados (menores valores do *°Hue*), com maior saturação da cor e menor brilho (Figura 1A).

Frutos com 8 e 12 dias de armazenamento apresentaram maior pH, menor acidez titulável e maior relação SS/AT. No entanto, o Pircinque se destaca na doçura dos frutos, implícito pelos maiores valores de sólidos solúveis (SS). Não foi possível inferir sobre a influência da pectina solúvel na separação dos clusters (Figura 1A). Além disso, observa-se que com o tempo de armazenamento, os teores de açúcares tendem a aumentar e a acidez reduzir (FIGUEIREDO, F. C. et al., 2010).

Já o *Heatmap* (Figura 2), com coeficiente de correlação cofenética de 64,8%, apresentou a formação de seis grupos, segundo o critério de (MOJENA, 1977). Os tratamentos foram agrupados por similaridade. No entanto, observa-se três regiões mais intensas de calor (maiores valores).

Figura 2 - Heatmap demonstrando os 48 tratamentos e caracteres de interesse avaliados. Aparência (escala de notas), % incidência de doença, % perda de massa, firmeza (N), *hue* externo, *chroma* externo, *lightness* externo, *hue* interno, *chroma* interno, *lightness* interno, pH, sólidos solúveis (SS -%), acidez titulável (AT - mg de ácido cítrico.100g⁻¹ de morango ou %), SS/AT, antocianinas (mg.100 g⁻¹) e pectina solúvel (mg ácido galacturônico.100 g⁻¹ morango).



Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio+Silício; 0, 4, 8 e 12= tempos de armazenamento (dias).

A primeira, basicamente representada pela Pircinque com zero e quatro dias de armazenamento, os quais apresentaram os maiores valores para aparência, *hue* externo, *lightness* externo, *chroma* externo e firmeza.

A segunda região de calor foi representada pelos tratamentos com a cultivar Albion e o Clone-23 com zero e quatro dias de armazenamento, os quais apresentaram elevados valores de *lightness* interno e *hue* interno.

A terceira região de calor foi representada pelas cultivares Pircinque, Albion e o Clone-23 aos 8 e 12 dias de armazenamento, com maiores valores de pH, SS/TA e perda de massa, o que coincide com os clusters laranja, azul e parte do verde-limão da rede neural (Fig. 1A).

4 DISCUSSÃO

Considerando os índices DB e S iguais a 0.81711 e 0.55418, respectivamente, os erros de quantificação (QE), erro topográfico (TE) e erro combinado de 0.50704, 0.00 e 0.70054 respectivamente, infere-se que os dados apresentaram grande semelhança entre si, o que dificultou a separação dos 48 tratamentos em clusters (maior valor do índice DB), tendo baixa qualidade de agrupamento (menor valor do índice S). Fato também observado pelo *Heatmap*, o qual apresentou baixo coeficiente de correlação cofenética (64,8%), que indica baixa eficiência do dendograma para explicar os dados (BARROS et al., 2020; DAVIES; BOULDIN, 1979; MOREIRA et al., 2019; PEARCE; SHAAR; CROSBIE, 1977; SERRIEN; GOOSSENS; BAEYENS, 2017).

As diferenças observadas estão associadas principalmente ao tempo de armazenamento e aos genótipos avaliados. O efeito dos genótipos foi mais pronunciado do que o das adubações suplementares com Ca e Si, conforme demonstrado pelos mapas de Kohonen (Figuras 1A, 1B) e pelo *Heatmap* (Figura 2). Nota-se que a cultivar Pircinque se agrupa, majoritariamente, no cluster verde-limão, o que evidencia que suas características físicas e químicas são mais estáveis ao longo do tempo de armazenamento. Também verificou-se que a cultivar Pircinque apresenta atributos de qualidade superiores a Albion e ao Clone-23, exceto no teor de antocianinas e na coloração externa. A divergência da cultivar Pircinque em relação aos demais genótipos avaliados no estudo, também foi observada por Souza et al. (2022).

De acordo com Manning (1996), Fan et al. (2021) e Saridas et al. (2022), os atributos de qualidade do morango são amplamente controlados pela genética, sendo que existem genes associados a síntese de antocianinas, alterações na parede celular, biossíntese de ácidos graxos e degradação de proteínas que podem determinar atributos como cor, textura, sabor e taxa de

amadurecimento. Da mesma forma, Kyriacou e Rouphael (2018), relataram em artigo de revisão que o material genético é um fator-chave de pré-colheita e um dos principais determinantes da variação na qualidade físico-química, organoléptica e funcional de frutas e vegetais frescos, incluindo compostos bioativos com atividade antioxidante, muitas vezes superando o impacto de fatores agrônômicos (por exemplo, irrigação e fertilização) e fatores ambientais (por exemplo, luz, temperatura e CO₂ atmosférico).

A qualidade envolve um conjunto de atributos presentes nos frutos que determinam sua aceitação pelo mercado. Num primeiro momento, a aparência do fruto de morango é a que chama mais atenção do consumidor. Esta característica está associada aos parâmetros de cor, firmeza e incidência de patógenos de pós-colheita. Num segundo momento, atributos como doçura, acidez e a presença de maiores teores de compostos funcionais são considerados pelo consumidor (MDITSHWA et al., 2017; TUFIK, 2017). Sendo assim, neste estudo a cultivar Pircinque se destacou em relação às demais, independentemente da adubação suplementar, embora apresente uma coloração externa menos avermelhada. Esta observação é corroborada também pelo conteúdo de antocianinas, onde a cultivar Pircinque apresentou os menores valores, resultados estes também observados por Souza et al. (2022).

Para a cadeia produtiva do morangueiro, a textura é um dos fatores mais críticos, visto que a fragilidade e a suscetibilidade aos danos, contribuem para rápida perda de firmeza, redução da vida pós-colheita e aumentam a suscetibilidade ao ataque de microrganismos (TUFIK, 2017). A redução da textura é facilmente comprovada pela perda de massa após a colheita, culminando com a redução da firmeza. Esta relação indireta entre perda de massa e firmeza foi observada neste ensaio, independente da adubação suplementar com Ca e Si. Os melhores resultados foram observados na cultivar Pircinque que, independente do tempo de armazenamento apresentou menor variação na perda de massa e consequentemente, na firmeza dos frutos.

Contrariamente a outros estudos (HAJIBOLAND et al., 2018; HOCKING et al., 2016; PASSOS; TRANI, 2013; YAMAMOTO et al., 2011), não ficou evidente o efeito da adubação suplementar nos atributos de qualidade neste ensaio. Estes resultados podem ter sido em decorrência de fatores como doses insuficientes, forma de aplicação e até mesmo a interação entre cálcio e silício.

Pode-se inferir que uns dos principais fatores que contribuíram para o pequeno efeito da adubação suplementar com Si observada neste estudo, seja a aplicação via foliar. Peris-Felipo; Benavent-Gil e Hernandez-Apaolaza (2020), avaliaram o efeito da aplicação de silício, via solo e foliar na produtividade e nos atributos fisiológicos e de qualidade de morangueiro, cultivar

Fortuna e observaram melhores resultados quando se aplicou silício via solo. Soppelsa et al. (2019), analisaram o efeito da aplicação foliar de bioestimulantes e de uma fonte comercial de silício em morangueiro, cultivar Selva e também não detectaram efeito do Si nos parâmetros de qualidade em frutos. No entanto, observaram que este elemento se acumulou prioritariamente nas folhas e raízes.

O silício é transportado até as raízes por fluxo de massa e na planta é transportado via xilema na forma H_4SiO_4 , no mesmo sentido do fluxo da água. Assim ocorre maior deposição onde ocorre maior perda de água, ou seja, na epiderme foliar (DECHEN; NACHTIGALL, 2007; TAIZ et al., 2017). Uma vez depositado na forma de ácido silícico polimerizado torna-se imóvel e não se redistribui na planta devido a reduzida solubilização (FAQUIN, 2005). Sendo assim, neste estudo o silício pode ter se concentrado na epiderme foliar, não se redistribuindo para os frutos.

O morangueiro é uma espécie competente em absorver o ácido silícico, devido a presença de transportadores funcionais de influxo (Lsi1) e efluxo (Lsi2) (OUELLETTE et al., 2017). Assim, quando aplicado via solo, seu efeito foi comprovado nos atributos de qualidade de frutos de morango (FELIPO; BENAVENT-GIL; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, 2020; FIGUEIREDO, A. et al., 2010; MUNARETTO et al., 2018; SILVA et al., 2013; WURZ et al., 2020).

Wurz et al. (2020) observaram aumento da firmeza da polpa de frutos da cultivar Pircinque com aplicação de 300 g (i.a.silício)/100 L água e 400 g (i.a.silício)/100 L água, com valores de 400 e 390 g força respectivamente, valores estes acima do máximo encontrado neste trabalho ($3,22N = 0,328kgf = 328g$ força) (Figura 1B), já para as variáveis SS, TA, pH, SS/TA não observaram efeito das doses de silício.

Já para o cálcio, o efeito pouco expressivo neste trabalho pode estar associado a dose aplicada, já que é comprovado o efeito positivo da aplicação foliar de cálcio nos atributos de qualidade de frutos de morango. Tem-se observado que pulverizações antes da colheita com cálcio aumentam a qualidade dos frutos, reduzem as podridões, retardam o amadurecimento e alterações pós-colheita, mas os efeitos das aplicações são dependentes da dose, do momento da aplicação, da fonte de cálcio e do tipo de aplicação (LARA, 2013; LOBOS; RETAMALES; HANSON, 2021). Ademais, tem-se observado que o uso de cálcio via foliar proporciona melhora do crescimento vegetativo, da produção de frutos, dos atributos químicos dos frutos, das enzimas antioxidantes e enzimas de defesa do morangueiro (ISMAIL; ABDALLAH; ABOGHALIA, 2022; SALMAN et al., 2022; SILVA et al., 2013), melhora na firmeza e na vida útil durante o armazenamento (BIENIASZ; MALODOBRY; DZIEDZIC, 2010; MUNARETTO et al., 2018).

Embora não se tenha observado neste estudo, um efeito pronunciado das adubações foliares nas cultivares e na formação dos clusters, foi possível notar que alguns tratamentos, tais como ACa4, ACa8, CCa4 (grupo verde claro), PCa0, PCa8, PSi0, PSi8 (grupo verde limão), dentre outros, se agruparam de acordo com a similaridade encontradas para as variáveis estudadas, demonstrando assim, que os tratamentos com maior tempo de armazenamento tratados com cálcio e/ou silício mantiveram os atributos físicos e químicos ao longo do tempo de armazenamento (FIGURA 1A). Este fato indica que o cálcio e silício contribuíram para a manutenção da qualidade dos morangos e que a adubação foliar pode complementar a adubação principal via solo.

5 CONCLUSÕES

Conclui-se que o mapa auto-organizável de Kohonen (KSOM) e o *Heatmap* foram técnicas eficientes para avaliar os tratamentos, sendo possível identificar que os dados possuíam similaridade entre si, o que implica que as diferenças existentes foram sutis.

Os tratamentos se agruparam principalmente em função dos genótipos e do tempo de armazenamento. A cultivar Pircinque apresenta atributos de qualidade superior ao Albion e ao Clone-23 e estes últimos, apresentam maior similaridade entre si.

Os atributos de qualidade tendem a diminuir com o tempo de armazenamento, no entanto, a presença de cálcio e/ou silício mantém as características físico-químicas dos frutos ao longo do armazenamento.

REFERENCIAS

- ANDRADE JÚNIOR, V. C. d. *et al.* Conservação pós-colheita de frutos de morangueiro em diferentes condições de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, 34, n. 3, 2016.
- BARCIA, M. T. *et al.* Bioactive compounds, antioxidant activity and percent composition of jambolão fruits (*Syzygium cumini*). **The natural products journal**, 2, n. 2, p. 129-138, 2012.
- BARROS, H. E. A. d. *et al.* Nutritional clustering of cookies developed with cocoa shell, soy, and green banana flours using exploratory methods. **Food and Bioprocess Technology**, 13, n. 9, p. 1566-1578, 2020.
- BIENIASZ, M.; MALODOBRY, M.; DZIEDZIC, E. The Effect of Foliar Fertilization with Calcium on Quality of Strawberry Cultivars 'Luna' and 'Zanta'. **XXVIII Int Horticultural Congress on Science and Horticulture for People / Int Symposium on Berries: From Genomics to Sustainable Production, Quality and Health**, 926, p. 457-461, Aug 22-27 2010.
- BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical biochemistry**, 4, p. 330-334, 1962.
- DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A cluster separation measure. **IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence**, n. 2, p. 224-227, 1979.
- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- FAN, Z. *et al.* Volatiles Influencing Sensory Attributes and Bayesian Modeling of the Soluble Solids-Sweetness Relationship in Strawberry. **Frontiers in Plant Science**, 12, p. 13, Mar 2021. Article.
- FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. 2005.
- FELIPO, F. J. P.; BENAVENT-GIL, Y.; HERNÁNDEZ-APAOLAZA, L. Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. **Plant physiology and biochemistry**, 152, p. 23-31, 2020.
- FIGUEIREDO, A. *et al.* Produtividade do morangueiro em função de diferentes doses de silício aplicadas via solo e via foliar. **Horticultura Brasileira**, 29, n. 2, p. 870-876, 2010.
- FIGUEIREDO, F. C. *et al.* Pulverização foliar e fertirrigação com silício nos atributos físico-químicos de qualidade e índices de coloração do morango. **Ciência e Agrotecnologia**, 34, n. 5, p. 1306-1311, 2010.
- FREIRE JUNIOR, M.; SOARES, A. G. Orientações quanto ao manuseio pré e pós-colheita de frutas e hortaliças visando a redução de suas perdas. **Embrapa Agroindústria de Alimentos- Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2014.

GU, Z.; EILS, R.; SCHLESNER, M. Complex heatmaps reveal patterns and correlations in multidimensional genomic data. **Bioinformatics**, 32, n. 18, p. 2847-2849, 2016.

HAJIBOLAND, R. *et al.* Effect of silicon supplementation on growth and metabolism of strawberry plants at three developmental stages. **New Zealand journal of crop and horticultural science**, 46, n. 2, p. 144-161, 2018.

HENZ, G. P. Postharvest losses of perishables in Brazil: what do we know so far? **Horticultura Brasileira**, 35, n. 1, p. 6-13, 2017.

HOCKING, B. *et al.* Fruit Calcium: Transport and Physiology. **Frontiers in Plant Science**, 7, p. 17, Apr 2016. Review.

ISMAIL, M. S. M.; ABDALLAH, A. M.; ABOGHALIA, A. H. Silicon as a plant defense inducer against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Trombidiformes: Tetranychidae) invasion on strawberry. **International Journal of Pest Management**, 2022.

KOHONEN, T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. **Biological cybernetics**, 43, n. 1, p. 59-69, 1982.

KOHONEN, T.; KASKI, S.; LAPPALAINEN, H. Self-organized formation of various invariant-feature filters in the adaptive-subspace SOM. **Neural computation**, 9, n. 6, p. 1321-1344, 1997.

KYRIACOU, M. C.; ROUPHAEL, Y. Towards a new definition of quality for fresh fruits and vegetables. **Scientia Horticulturae**, 234, p. 463-469, 2018.

LARA, I. Preharvest sprays and their effects on the postharvest quality of fruit. **Stewart Postharvest Reviews**, 2013, vol. 9, núm. 3, p. 1-12, 2013.

LEES, D.-H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses in cranberries. **HortScience**, 1972.

LOBOS, T. E.; RETAMALES, J. B.; HANSON, E. J. Early preharvest calcium sprays improve postharvest fruit quality in 'Liberty' highbush blueberries. **Scientia Horticulturae**, 277, Feb 2021.

LUTZ-IAL, I. A. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4ª edição, 1ª Edição Digital. **São Paulo: Instituto Adolfo Lutz**, 2008.

MANNING, K. Ripening enhanced genes of strawberry: Their expression, regulation and function. **3rd International Strawberry Symposium**, p. 165-167, Apr 29-May 04 1996.

MCCREADY, R.; MCCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectic materials in fruits. **Analytical chemistry**, 24, n. 12, p. 1986-1988, 1952.

MDITSHWA, A. *et al.* Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. **Scientia Horticulturae**, 216, p. 148-159, 2017.

MINOLTA, K. Precise color communication: color control from perception to instrumentation . Japan: Konica Minolta. : Inc 2007.

MOJENA, R. Hierarchical grouping methods and stopping rules: an evaluation. **The Computer Journal**, 20, n. 4, p. 359-363, 1977.

MOREIRA, L. S. *et al.* Development of procedure for sample preparation of cashew nuts using mixture design and evaluation of nutrient profiles by Kohonen neural network. **Food chemistry**, 273, p. 136-143, 2019.

MULEY, A. B. *et al.* Analyzing the physical and biochemical changes in strawberries during storage at different temperatures and the development of kinetic models. **Journal of Food Measurement and Characterization**, 16, n. 1, p. 222-247, 2022.

MUNARETTO, L. M. *et al.* Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. **Horticultura Brasileira**, 36, n. 1, p. 40-46, 2018.

OUELLETTE, S. *et al.* Silicon transporters and effects of silicon amendments in strawberry under high tunnel and field conditions. **Frontiers in Plant Science**, 8, 2017. Article.

PANIAGUA, C. *et al.* Fruit softening and pectin disassembly: an overview of nanostructural pectin modifications assessed by atomic force microscopy. **Annals of botany**, 114, n. 6, p. 1375-1383, 2014.

PASSOS, F. A.; TRANI, P. E. Calagem e adubação do morangueiro. **Campinas, SP: Instituto Agrônomo de Campinas**, p. 16, 2013.

PEARCE, J. G.; SHAAR, Z.; CROSBIE, R. E. Scattering of energetic ions by solids—a simulation. **Simulation**, 29, n. 4, p. 97-104, 1977.

PEREIRA, E. H.; FLORESTI, A. P.; DA SILVA GOMES, H. A. Elaboração do Processo de Beneficiamento do Cultivo Morango Pircinque. **Revista Engenho**, 13, n. 1, p. 4-17, 2021.

PEREIRA, M. A. *et al.* Productivity of strawberry genotypes in the south and southwest mesoregion of Minas Gerais. **Colloquium Agrariae**, 18, n. 1, p. 46-52, 2022.

PERIS-FELIPO, F. J.; BENAVENT-GIL, Y.; HERNANDEZ-APAOLAZA, L. Silicon beneficial effects on yield, fruit quality and shelf-life of strawberries grown in different culture substrates under different iron status. **Plant Physiology and Biochemistry**, 152, p. 23-31, Jul 2020. Article.

SALMAN, M. *et al.* Combined foliar application of calcium, zinc, boron and time influence leaf nutrient status, vegetative growth, fruit yield, fruit biochemical and anti-oxidative attributes of "Chandler" strawberry. **Journal of Plant Nutrition**, 45, n. 12, p. 1837-1848, Jul 2022.

SARIDAS, M. A. *et al.* Comparison of Polyphenol Compounds of Strawberry Cultivars with Their Progeny. **Erwerbs-Obstbau**, 64, n. 4, p. 559-567, Dec 2022.

SERRIEN, B.; GOOSSENS, M.; BAEYENS, J. Issues in using self-organizing maps in human movement and sport science. **Journal homepage: <http://iacss.org/index.php?id>**, 16, n. 1, 2017.

- SIDHU, R. S. *et al.* Foliar nutrition with calcium nitrate in strawberries (Fragaria× ananassa Duch.): Effect on fruit quality and yield. **Indian Journal of Ecology**, 47, n. 1, p. 87-91, 2020.
- SILVA, M. L. S. *et al.* Influence of silicon on production and fruit quality of strawberry. **Semina: Ciências Agrárias**, 34, n. 6 SUPPL. 1, p. 3411-3424, 2013.
- SOPPELSA, S. *et al.* Foliar applications of biostimulants promote growth, yield and fruit quality of strawberry plants grown under nutrient limitation. **Agronomy**, 9, n. 9, p. 483, 2019.
- SOUZA, D. C. d. *et al.* Selection of experimental strawberry clones for fruit appearance attributes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 56, 2022.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.
- TEMPERADO, E. C. **Luis Eduardo Corrêa Antunes Carlos Reisser Júnior José Ernani Schwengber**. 2016.
- TUFIK, C. B. A. **A nutrição do morangueiro (Fragaria x ananassa Dutch.): efeito na fisiologia e qualidade dos frutos**. 2017. Tese Doutorado -, Universidade de Évora, Évora, 2017.
- ULTSCH, A. Kohonen's self organizing feature maps for exploratory data analysis. **Proceedings INNC'90, International Neural Network Conference**, p. 305-308, 1990.
- ULTSCH, A.; SIEMON, H. Exploratory data analysis: Using Kohonen's topology preserving maps. **Technical Report 329**, 1989.
- VATANEN, T. *et al.* Self-organization and missing values in SOM and GTM. **Neurocomputing**, 147, p. 60-70, 2015.
- VELICKOVA, E. *et al.* Impact of chitosan-beeswax edible coatings on the quality of fresh strawberries (Fragaria ananassa cv Camarosa) under commercial storage conditions. **LWT-Food Science and Technology**, 52, n. 2, p. 80-92, 2013.
- WURZ, D. A. *et al.* Efeito da aplicação foliar de silício nos aspectos produtivos e de qualidade de frutos de morangueiro. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, 6, n. 2, p. 144-149, 2020.
- YAMAMOTO, E. L. *et al.* Função do cálcio na degradação da parede celular vegetal. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 6, n. 2, p. 49-55, 2011.

APÊNDICE

Dados relativos à aparência (escala de notas), % incidência de doença, % perda de massa, firmeza (N), *hue* externo, *chroma* externo, *lightness* externo, *hue* interno, *chroma* interno, *lightness* interno, pH, sólidos solúveis (SS -%), acidez titulável (AT - mg de ácido cítrico.100g⁻¹ de morango ou %), SS/AT, antocianinas (mg.100 g⁻¹) e pectina solúvel (mg ácido galacturônico.100 g⁻¹ morango) usados para gerar a rede neural. Legenda: A= Albion, P= Pircinque, C= Clone-23, Tes= Sem adubação foliar, Ca= adubação foliar com Cálcio, Si= adubação foliar com Silício, CaSi= adubação foliar Cálcio+Silício; 0, 4, 8 e 12= tempos de armazenamento (dias).

| Tratamento | Aparência (escala de notas) | % Incidência de Doenças | % Perda de Massa | Firmeza (N) | <i>Hue</i> externo | <i>Chroma</i> externo |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| A tes 0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 25.3 | 43.1 |
| A Ca 0 | 2.9 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 27.5 | 42.6 |
| A Si 0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 2.2 | 26.4 | 38.6 |
| A CaSi 0 | 2.5 | 0.0 | 0.0 | 4.7 | 28.0 | 48.5 |
| P tes 0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 29.6 | 53.5 |
| P Ca 0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 30.2 | 55.3 |
| P Si 0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 29.0 | 52.7 |
| P CaSi 0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 | 28.0 | 51.1 |
| C tes 0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 27.9 | 49.9 |
| C Ca 0 | 2.8 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 25.1 | 47.0 |
| C Si 0 | 2.7 | 0.0 | 0.0 | 1.5 | 28.9 | 51.1 |
| C CaSi 0 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 2.1 | 25.4 | 47.6 |
| A tes 4 | 2.5 | 0.0 | 0.8 | 1.9 | 24.7 | 48.2 |
| A Ca 4 | 2.7 | 0.0 | 0.7 | 2.6 | 25.2 | 43.6 |
| A Si 4 | 2.1 | 0.0 | 0.9 | 3.1 | 24.1 | 42.6 |
| A CaSi 4 | 1.8 | 0.0 | 1.1 | 2.6 | 26.2 | 43.3 |
| P tes 4 | 2.9 | 0.0 | 0.7 | 4.8 | 29.1 | 54.7 |
| P Ca 4 | 2.7 | 0.0 | 0.7 | 3.5 | 28.8 | 51.9 |
| P Si 4 | 2.9 | 0.0 | 0.8 | 3.6 | 30.1 | 54.5 |
| P CaSi 4 | 2.6 | 0.0 | 0.7 | 3.7 | 29.8 | 54.7 |
| C tes 4 | 2.1 | 0.0 | 0.9 | 2.3 | 25.4 | 47.6 |
| C Ca 4 | 2.2 | 0.0 | 1.0 | 1.7 | 26.6 | 50.5 |
| C Si 4 | 2.2 | 0.0 | 0.9 | 2.1 | 23.8 | 44.3 |
| C CaSi 4 | 2.3 | 0.0 | 0.9 | 1.7 | 22.6 | 41.7 |
| A tes 8 | 2.7 | 0.0 | 1.5 | 2.7 | 25.4 | 46.2 |
| A Ca 8 | 2.5 | 0.0 | 1.3 | 3.4 | 24.3 | 45.1 |
| A Si 8 | 2.2 | 0.0 | 1.8 | 2.9 | 19.7 | 38.5 |
| A CaSi 8 | 2.2 | 0.0 | 2.1 | 1.9 | 24.2 | 49.6 |
| P tes 8 | 2.8 | 6.7 | 1.3 | 3.3 | 25.0 | 50.0 |
| P Ca 8 | 2.8 | 6.7 | 1.3 | 2.6 | 28.4 | 53.3 |
| P Si 8 | 3.0 | 0.0 | 1.4 | 3.5 | 27.9 | 52.5 |

| P CaSi 8 | 2.5 | 6.7 | 1.3 | 3.7 | 26.9 | 53.0 |
|-------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|------|--------|
| C tes 8 | 2.0 | 6.7 | 1.7 | 2.9 | 24.0 | 44.9 |
| C Ca 8 | 2.1 | 0.0 | 1.9 | 3.1 | 26.9 | 44.7 |
| C Si 8 | 2.3 | 0.0 | 1.7 | 1.4 | 26.4 | 45.3 |
| C CaSi 8 | 2.4 | 0.0 | 1.7 | 2.5 | 22.9 | 45.4 |
| A tes 12 | 2.3 | 6.7 | 2.0 | 1.0 | 25.3 | 43.5 |
| A Ca 12 | 2.4 | 6.7 | 1.8 | 0.5 | 22.5 | 40.2 |
| A Si 12 | 2.0 | 0.0 | 2.5 | 0.5 | 23.0 | 41.1 |
| A CaSi 12 | 2.1 | 0.0 | 2.9 | 0.2 | 24.4 | 42.4 |
| P tes 12 | 2.8 | 0.0 | 1.8 | 1.1 | 29.4 | 52.1 |
| P Ca 12 | 2.8 | 0.0 | 1.8 | 1.0 | 27.3 | 49.3 |
| P Si 12 | 2.9 | 0.0 | 2.0 | 1.3 | 27.9 | 49.9 |
| P CaSi 12 | 2.4 | 6.7 | 1.9 | 0.2 | 25.5 | 44.5 |
| C tes 12 | 2.1 | 0.0 | 2.5 | 0.2 | 26.7 | 45.8 |
| C Ca 12 | 1.8 | 6.7 | 2.7 | 0.2 | 22.8 | 38.9 |
| C Si 12 | 2.1 | 0.0 | 2.4 | 1.4 | 25.3 | 44.3 |
| C CaSi 12 | 2.1 | 13.3 | 2.4 | 1.8 | 25.3 | 43.6 |
| Tratamiento | Lightness externo | $^{\circ}$ Hue interno | Chroma interno | Lightness interno | pH | SS (%) |
| A tes 0 | 27.3 | 37.0 | 46.3 | 48.5 | 3.7 | 8.3 |
| A Ca 0 | 26.6 | 39.9 | 42.3 | 46.2 | 3.6 | 5.9 |
| A Si 0 | 26.8 | 37.3 | 44.7 | 41.1 | 3.6 | 10.7 |
| A CaSi 0 | 30.5 | 41.1 | 39.7 | 50.5 | 3.6 | 6.9 |
| P tes 0 | 32.8 | 39.4 | 48.6 | 46.0 | 3.7 | 10.8 |
| P Ca 0 | 32.7 | 38.7 | 46.3 | 46.4 | 3.7 | 8.9 |
| P Si 0 | 32.1 | 38.2 | 48.8 | 46.5 | 3.6 | 7.5 |
| P CaSi 0 | 31.6 | 39.5 | 45.8 | 46.6 | 3.6 | 8.9 |
| C tes 0 | 30.4 | 40.8 | 39.5 | 52.7 | 3.7 | 6.8 |
| C Ca 0 | 28.0 | 41.0 | 40.8 | 52.6 | 3.7 | 6.0 |
| C Si 0 | 30.0 | 41.1 | 39.0 | 54.9 | 3.7 | 6.5 |
| C CaSi 0 | 28.0 | 41.2 | 38.9 | 54.6 | 3.7 | 6.9 |
| A tes 4 | 26.4 | 38.1 | 42.3 | 47.2 | 3.6 | 6.3 |
| A Ca 4 | 27.0 | 44.3 | 40.8 | 47.7 | 3.5 | 6.8 |
| A Si 4 | 26.2 | 39.9 | 43.8 | 50.7 | 3.5 | 7.8 |
| A CaSi 4 | 26.6 | 39.7 | 39.0 | 47.2 | 3.4 | 7.8 |
| P tes 4 | 29.5 | 39.5 | 43.7 | 47.5 | 3.5 | 8.3 |
| P Ca 4 | 29.9 | 40.2 | 42.4 | 47.0 | 3.6 | 8.5 |
| P Si 4 | 30.0 | 40.2 | 44.7 | 44.9 | 3.5 | 6.8 |
| P CaSi 4 | 29.6 | 40.1 | 40.4 | 47.6 | 3.7 | 9.5 |
| C tes 4 | 27.7 | 43.3 | 36.5 | 53.7 | 3.7 | 6.8 |
| C Ca 4 | 29.2 | 42.1 | 36.4 | 54.1 | 3.5 | 7.3 |
| C Si 4 | 26.1 | 41.7 | 39.0 | 51.7 | 3.8 | 7.2 |
| C CaSi 4 | 24.2 | 39.8 | 41.0 | 50.8 | 3.7 | 8.1 |
| A tes 8 | 27.0 | 40.0 | 40.8 | 50.2 | 3.5 | 7.0 |

| | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|-----|-----|
| A Ca 8 | 25.8 | 40.6 | 38.9 | 47.0 | 3.7 | 7.8 |
| A Si 8 | 23.1 | 35.3 | 43.6 | 46.4 | 3.6 | 9.9 |
| A CaSi 8 | 27.5 | 37.9 | 43.8 | 48.1 | 3.7 | 8.4 |
| P tes 8 | 28.7 | 41.2 | 39.8 | 48.6 | 3.8 | 8.3 |
| P Ca 8 | 29.9 | 40.5 | 41.7 | 47.7 | 3.8 | 9.5 |
| P Si 8 | 28.4 | 35.9 | 47.4 | 41.6 | 3.6 | 8.6 |
| P CaSi 8 | 28.4 | 38.8 | 40.5 | 46.5 | 3.7 | 8.9 |
| C tes 8 | 27.0 | 40.7 | 37.7 | 52.1 | 3.5 | 7.8 |
| C Ca 8 | 29.8 | 39.9 | 38.7 | 49.1 | 3.7 | 7.7 |
| C Si 8 | 26.9 | 39.0 | 42.2 | 50.3 | 3.7 | 6.6 |
| C CaSi 8 | 25.7 | 40.2 | 41.2 | 51.2 | 3.7 | 6.8 |
| A tes 12 | 25.9 | 38.5 | 43.7 | 44.4 | 3.6 | 7.2 |
| A Ca 12 | 22.3 | 38.9 | 41.1 | 43.1 | 3.7 | 8.0 |
| A Si 12 | 25.1 | 37.5 | 43.0 | 40.2 | 3.7 | 6.5 |
| A CaSi 12 | 25.9 | 37.3 | 44.7 | 47.8 | 3.8 | 7.9 |
| P tes 12 | 29.6 | 37.8 | 42.2 | 43.4 | 3.6 | 9.2 |
| P Ca 12 | 28.9 | 38.7 | 40.5 | 45.7 | 3.8 | 8.5 |
| P Si 12 | 26.4 | 36.4 | 41.8 | 44.2 | 3.7 | 8.5 |
| P CaSi 12 | 28.3 | 38.0 | 39.4 | 45.9 | 3.9 | 8.5 |
| C tes 12 | 27.9 | 39.7 | 38.4 | 50.1 | 3.7 | 8.5 |
| C Ca 12 | 25.8 | 37.5 | 43.6 | 48.1 | 3.8 | 7.3 |
| C Si 12 | 26.3 | 40.8 | 40.2 | 51.8 | 3.8 | 6.8 |
| C CaSi 12 | 25.2 | 42.8 | 37.0 | 50.9 | 3.9 | 8.2 |

| Tratamento | AT (mg de ácido citrico.100g ⁻¹ de morango ou %) | SS/AT | Antocianinas (mg.100 g ⁻¹) | Pectina Solúvel (mg ácido galacturônico .100 g ⁻¹ morango) |
|------------|---|-------|--|---|
| A tes 0 | 1.1 | 7.5 | 15.1 | 206.9 |
| A Ca 0 | 0.9 | 6.2 | 14.1 | 128.7 |
| A Si 0 | 1.2 | 9.0 | 17.9 | 215.0 |
| A CaSi 0 | 1.0 | 7.1 | 12.7 | 153.8 |
| P tes 0 | 1.1 | 10.1 | 12.0 | 129.7 |
| P Ca 0 | 0.9 | 10.3 | 13.1 | 141.5 |
| P Si 0 | 1.1 | 7.0 | 16.5 | 147.4 |
| P CaSi 0 | 1.1 | 8.1 | 16.6 | 125.7 |
| C tes 0 | 0.9 | 7.5 | 18.9 | 136.7 |
| C Ca 0 | 1.0 | 5.9 | 13.1 | 121.4 |
| C Si 0 | 0.9 | 6.9 | 12.3 | 132.1 |
| C CaSi 0 | 1.0 | 7.2 | 15.7 | 114.6 |
| A tes 4 | 1.6 | 4.1 | 22.3 | 113.8 |
| A Ca 4 | 1.6 | 4.2 | 18.7 | 148.5 |
| A Si 4 | 1.6 | 5.0 | 33.5 | 134.5 |
| A CaSi 4 | 1.7 | 4.6 | 22.0 | 192.7 |

| | | | | |
|-----------|-----|------|------|-------|
| P tes 4 | 1.3 | 6.5 | 12.1 | 145.1 |
| P Ca 4 | 1.5 | 5.8 | 16.1 | 124.7 |
| P Si 4 | 1.6 | 4.3 | 14.2 | 134.1 |
| P CaSi 4 | 1.6 | 6.1 | 16.0 | 98.8 |
| C tes 4 | 1.6 | 4.3 | 21.3 | 118.6 |
| C Ca 4 | 1.7 | 4.3 | 12.6 | 119.8 |
| C Si 4 | 1.4 | 5.0 | 15.9 | 94.3 |
| C CaSi 4 | 1.5 | 5.6 | 25.6 | 138.0 |
| A tes 8 | 1.2 | 5.9 | 20.1 | 173.3 |
| A Ca 8 | 1.2 | 6.6 | 8.6 | 160.0 |
| A Si 8 | 1.3 | 7.8 | 22.9 | 184.5 |
| A CaSi 8 | 1.0 | 8.7 | 16.2 | 180.8 |
| P tes 8 | 0.8 | 9.9 | 17.7 | 153.5 |
| P Ca 8 | 0.9 | 10.4 | 12.8 | 113.6 |
| P Si 8 | 1.1 | 7.8 | 21.8 | 157.8 |
| P CaSi 8 | 1.0 | 9.4 | 14.9 | 138.6 |
| C tes 8 | 1.0 | 8.1 | 18.1 | 161.7 |
| C Ca 8 | 0.8 | 10.5 | 16.6 | 131.9 |
| C Si 8 | 0.9 | 6.9 | 13.8 | 119.8 |
| C CaSi 8 | 1.0 | 7.0 | 18.3 | 115.8 |
| A tes 12 | 1.1 | 7.6 | 17.9 | 143.9 |
| A Ca 12 | 1.1 | 7.4 | 24.0 | 115.4 |
| A Si 12 | 1.0 | 6.6 | 21.5 | 136.5 |
| A CaSi 12 | 0.8 | 9.9 | 26.7 | 119.2 |
| P tes 12 | 0.9 | 9.9 | 17.9 | 113.2 |
| P Ca 12 | 0.9 | 9.7 | 13.8 | 99.1 |
| P Si 12 | 0.9 | 9.4 | 23.4 | 107.3 |
| P CaSi 12 | 0.9 | 9.6 | 16.0 | 146.0 |
| C tes 12 | 1.0 | 8.9 | 20.6 | 135.2 |
| C Ca 12 | 0.9 | 7.9 | 17.1 | 124.6 |
| C Si 12 | 0.9 | 7.9 | 18.3 | 122.9 |
| C CaSi 12 | 0.9 | 9.3 | 27.0 | 123.6 |

Fonte: Do autor (2023).