



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

JOSÉ THOMAS MACHADO DE SOUSA

**CULTIVO DE MORANGO EM SUBSTRATO SOB CONCENTRAÇÕES DE
HIDROGEL**

FORTALEZA

2023

JOSÉ THOMAS MACHADO DE SOUSA

CULTIVO DE MORANGO EM SUBSTRATO SOB CONCENTRAÇÕES DE HIDROGEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697c Sousa, José Thomas Machado de.
Cultivo de morango em substrato sob concentrações de hidrogel / José Thomas Machado de Sousa. –
2023.
88 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa.
1. Fragaria X ananassa Duch. 2. Termografia. 3. Polímero hidroretentor. 4. Trocas gasosas. I. Título.
CDD 630
-

JOSÉ THOMAS MACHADO DE SOUSA

CULTIVO DE MORANGO EM SUBSTRATO SOB CONCENTRAÇÕES DE HIDROGEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 20/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marlos Alves Bezerra
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Dr. Fábio Rodrigues de Miranda
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Prof. Dr. Thiago Vieira da Costa
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

A Deus.

A minha mãe Dulcia André Machado de Sousa
e ao meu pai José Aroldo Machado de Sousa
por tudo que fizeram por mim.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela saúde, coragem, por me proteger e me guiar.

Aos meus pais Dulcia André Machado de Sousa e José Aroldo Machado de Sousa, por todo o amor, carinho e incentivo para que eu pudesse alcançar todos os meus objetivos. Obrigado por realizarem o possível e o impossível por mim. Sem vocês, talvez eu não teria alcançado.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela possibilidade de realização deste mestrado, bem como o corpo docente pela contribuição no meu crescimento profissional.

À empresa Estufa Timbaúba pela oportunidade de realização e financiamento do projeto de mestrado, especialmente, ao Sr. Julião, assim como aos funcionários da empresa por terem me recebido tão bem.

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Trabalho do Ceará (SEDET), Instituto Centro de Educação Tecnológica (CENTEC), Fundação de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Ceará (FUNCAP), o *Chief Scientist Program*, Brasil, pelo suporte financeiro fornecido para esta pesquisa e a CAPES pela concessão da bolsa.

Ao meu orientador Alan Bernard Oliveira de Sousa pela orientação, paciência, compreensão, conhecimentos compartilhados e integração ao seu grupo de pesquisa.

Aos meus familiares que contribuíram direta e indiretamente para que eu conseguisse realizar este curso, especialmente a minha irmã Gabriela Machado. Além disso, não poderia deixar de mencionar aos meus avós paternos Eliza Machado (*in memoriam*) e Guilherme Machado (*in memoriam*); maternos Maria André (*in memoriam*) e José Targino (*in memoriam*) e minha tia Lucilene (*in memoriam*) por terem me apoiado enquanto em vida.

Aos/as companheiros/as Gilbenes Rosal, Antônio Servolo, Antônio, João Batista, Antônio Regis e Juarez Lima pela contribuição direta na realização desta pesquisa.

Aos/as amigos/as e colegas, de Pós-Graduação e caminhada, Jonnathan Richeds, Murilo de Sousa, Andreza Barbosa, Júnior Barroso, Hermenson Costa, Rute Rocha, Antonio Fabio, agradeço a amizade, o apoio e o convívio diário.

Gratidão!

“Se começar foi fácil, difícil vai ser parar.
Valeu a pena, valeu a pena pescador.”
(Marcelo Falcão – O Rappa).

RESUMO

O cultivo de morangos no Nordeste do Brasil enfrenta desafios devido às elevadas temperaturas. Para contornar esse problema, a utilização de cultivares de dias neutros é uma estratégia viável para impulsionar a produção nessas condições climáticas adversas. Associado ao uso da cultivar fotoperiódica, o cultivo em ambiente protegido e o uso do hidrogel no substrato podem contribuir para reduzir as variações de temperatura do ar e foliar e aumentar eficiência e uso da água. Diante do exposto, objetivou-se avaliar as respostas morfofisiológicas, índice térmico, desempenho agrônômico e produtividade de cultivares de morango cultivadas sob diferentes concentrações de hidrogel no substrato. O experimento foi realizado no período de junho a outubro de 2022 em ambiente protegido, pertencente à empresa Estufa Timbaúba, situada no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil. O trabalho foi dividido em 2 capítulos correspondentes a fases de desenvolvimento do morangueiro. O delineamento utilizado foi de blocos aleatorizados arranjos em esquema fatorial 5 x 2, referentes a cinco concentrações de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 g L⁻¹ de substrato) e duas cultivares de morango (Albion e San Andreas), com quatro repetições e cada unidade experimental era composta por 26 plantas. No capítulo 1, foram realizadas as avaliações do número de folhas, diâmetro da coroa e altura da coroa aos 30 e 60 dias após o transplântio (DAT). Foram avaliadas, a condutância estomática, transpiração, taxa de assimilação de CO₂, concentração interna de CO₂, eficiência intrínseca do uso da água, eficiência da carboxilação instantânea, eficiência instantânea no uso da água e o índice térmico aos 60 DAT no período da manhã e tarde. No capítulo 2, foram avaliadas apenas em um período as trocas gasosas e os índices fisiológicos aos 90 DAT; mais o número de frutos por planta, diâmetro médio, comprimento médio, a massa média dos frutos e a produtividade. O hidrogel reduziu o índice térmico das cultivares de morango cultivadas em substrato, conseqüentemente, possibilitou um aumento no crescimento e desenvolvimento das plantas aos 60 dias após o transplântio (DAT). O incremento das concentrações de hidrogel no substrato causou efeitos deletérios nas trocas gasosas aos 90 DAT, independentemente das cultivares. O desempenho agrônômico e produtividade das cultivares de morango não apresentaram diferenças significativas no período avaliado.

Palavras-chave: *Fragaria X ananassa Duch*; termografia; polímero hidrotentor; trocas gasosas.

ABSTRACT

Strawberry cultivation in Northeast Brazil faces challenges due to high temperatures. To overcome this problem, the use of day-neutral cultivars is a viable strategy to boost production in these adverse climatic conditions. As an alternative, the use of day-neutral cultivars becomes a viable strategy for cultivation in the region. Associated with the use of the photoperiodic cultivar, cultivation in a protected environment and the use of hydrogel in the substrate can contribute to reducing air and leaf temperature variations and increasing efficiency and water use. Given the above, the objective was to evaluate the morphophysiological responses, thermal index, agronomic performance and productivity of strawberry cultivars grown under hydrogel concentrations in the substrate. The experiment was carried out from June to October 2022 in a protected environment, belonging to the company Estufa Timbaúba, located in the municipality of Guaraciaba do Norte, Ceará, Brazil. The work was divided into 2 chapters corresponding to the stages of strawberry development. The design used was randomized blocks arranged in a 5 x 2 factorial scheme, referring to five concentrations of hydrogel (0.0; 1.0; 2.0; 3.0 and 4.0 g L⁻¹ of substrate) and two strawberry cultivars (Albion and San Andreas), with four replications and each experimental unit was composed of 26 plants. In chapter 1, evaluations of the number of leaves, crown diameter and crown height at 30 and 60 days after transplanting (DAT) were carried out. Stomatal conductance, transpiration, CO₂ assimilation rate, internal CO₂ concentration, intrinsic water use efficiency, instantaneous carboxylation efficiency, instantaneous water use efficiency and the thermal index were evaluated at 60 DAT in the morning and afternoon. In chapter 2, gas exchanges and physiological indices at 90 DAT were evaluated in only one period; plus the number of fruits per plant, average diameter, average length, average fruit mass and yield. The hydrogel reduced the thermal index of strawberry cultivars grown in substrate, consequently, enabled an increase in plant growth and development 60 days after transplanting (DAT). Increasing hydrogel concentrations in the substrate caused deleterious effects on gas exchange at 90 DAT, regardless of cultivars. The agronomic performance and productivity of strawberry cultivars did not show significant differences for the evaluated period.

Keywords: *Fragaria X ananassa* Duch; thermography; water-retaining polymer; gas exchange.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Localização do município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil.....	30
Figura 2 –	Temperatura máxima, média e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período experimental.....	31
Figura 3 –	Croqui experimental em blocos aleatorizados.....	32
Figura 4 –	Bancadas de madeiras (A) e distribuição dos <i>slabs</i> na área experimental (B)..	33
Figura 5 –	Demarcação das covas no <i>slab</i> (A), realizando as covas no <i>slab</i> (B), retirada do substrato da cova (C) e processo de homogeneização (D).....	33
Figura 6 –	Mudas de morango da empresa Viveiros California S.L. (A e B), mudas de morango antes do processo de limpeza (C) e processo de limpeza das mudas (D).....	34
Figura 7 –	Distribuição das mudas de morango no <i>slab</i> (A) e processo de transplântio das mudas de morango (B).....	35
Figura 8 –	Mudas das cultivares de morango emergindo flores (A e B), limpeza da coroa das plantas de morango (C) e corte dos estolões (D).....	36
Figura 9 –	Mensuração das variáveis biométricas em cultivares de morango (A e B).....	37
Figura 10 –	Mensuração das variáveis filológicas em cultivares de morango (A e B).....	38
Figura 11 –	Imagens sendo analisadas com utilização do software FLIR <i>Tools</i> (A e B)....	39
Figura 12 –	Número de folhas aos 30 DAT (A) e número de folhas aos 60 DAT (B); diâmetro da coroa aos 30 DAT (C) e diâmetro da coroa aos 60 DAT (D); altura da coroa aos 30 DAT do morango em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (E) e altura da coroa do morango aos 60 DAT em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango (F). As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).....	42
Figura 13 –	Condutância estomática do morango no período manhã em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (A), condutância estomática no período da tarde (B), transpiração no período da manhã (C), transpiração no período da tarde (D), taxa de taxa de assimilação de CO ₂ no	

	período da manhã (E), taxa de assimilação de CO ₂ no período da tarde (F), concentração interna de CO ₂ no período da manhã (G) e concentração interna de CO ₂ no período da tarde (H) do morango em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).....	46
Figura 14 –	Eficiência intrínseca do uso da água período da manhã em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (A), eficiência intrínseca do uso da água no período da tarde (B), eficiência da carboxilação instantânea no período da manhã (C) e eficiência instantânea do uso da água no período da tarde (D) do morango em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).....	49
Figura 15 –	Índice térmico do morango no período da manhã em função de concentrações de hidrogel no substrato aos 60 DAT. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4).....	51
Figura 16 –	Ambiente protegido localizado na Estufa Timbaúba, Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil (A e B).....	56
Figura 17 –	Temperatura máxima, média e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período experimental.....	57
Figura 18 –	Croqui experimental em blocos aleatorizados.....	58
Figura 19 –	Bancadas de madeiras (A) e distribuição dos <i>slabs</i> na área experimental (B)..	58
Figura 20 –	Demarcação das covas no <i>slab</i> (A), realizando as covas no <i>slab</i> (B), retirada do substrato da cova (C) e processo de homogeneização (D).....	59
Figura 21 –	Mudas de morango da empresa Viveiros Califórnia S.L. (A e B), mudas de morango antes do processo de limpeza (C) e processo de limpeza das mudas (D).....	60
Figura 22 –	Distribuição das mudas de morango no <i>slab</i> (A) e processo de transplântio das mudas de morango (B).....	60
Figura 23 –	Condutividade elétrica (A) e pH (B) amostral da solução nutritiva.....	61
Figura 24 –	Mudas das cultivares de morango emergindo flores (A e B), limpeza da coroa das plantas de morango (C) e corte dos estolões	

	(D).....	62
Figura 25 –	Mensuração das variáveis filológicas em cultivares de morango (A e B).....	63
Figura 26 –	Imagens sendo analisadas com utilização do software FLIR <i>Tools</i> (A e B)....	64
Figura 27 –	Frutos de morango (A e B), diâmetro (C) e comprimento do fruto de morango (D).....	65
Figura 28 –	Condutância estomática (A), transpiração (B) e concentração interna de CO ₂ em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (C), e eficiência intrínseca do uso da água em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango aos 90 DAT (D).....	67
Figura 29 –	Índice térmico do morango em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango aos 90 DAT.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância e valores médios para o número de folhas (NF), diâmetro da coroa (DC) e altura da coroa (ALT) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel aos 30 e 60 dias após o transplantio.....	40
Tabela 2 – Resumo da análise de variância e valores médios para condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO ₂ (A), concentração interna de CO ₂ (Ci), eficiência intrínseca do uso da água (A/g _s), eficiência da carboxilação instantânea (A/Ci), eficiência instantânea no uso da água (A/E) e índice térmico (ΔT) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel no substrato aos 60 dias após o transplantio no período da manhã e tarde.....	44
Tabela 3 – Condutância estomática (gs), transpiração (E), concentração interna de CO ₂ e eficiência instantânea no uso da água (A/E) em plantas de morango aos 90 DAT em função do fator cultivar.....	66
Tabela 4 – Resumo da análise de variância para o número de morangos por planta (NM), diâmetro dos morangos (DM) e comprimento dos morangos (CM); massa média dos morangos, (MM) e produtividade (Prod) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel.....	71
Tabela 5 – Número de morangos por planta (NM), diâmetro dos morangos (DM) e comprimento dos morangos (CM); massa média dos morangos (MM) e produtividade (Prod) em função de cultivares de morango.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	15
2	OBJETIVOS.....	17
2.1	Objetivo geral.....	17
2.2	Objetivos específicos.....	17
2.3	Hipótese.....	17
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1	A cultura do morango.....	18
3.2	Produção do morangueiro.....	20
3.3	Caracterização dos polímeros hidrorretentores de água.....	21
3.4	Influência do polímero hidrorretentor nos aspectos do solo e do substrato.....	22
3.5	Influência do hidrorretentor no desenvolvimento e produção das plantas.....	24
4	CAPÍTULO 1 - HIDROGEL NA ATENUAÇÃO DO ÍNDICE TÉRMICO E NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE MORANGO.....	27
5	CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, ÍNDICE TÉRMICO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE MORANGO CULTIVADAS SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE HIDROGEL NO SUBSTRATO.....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

O morango (*Fragaria X ananassa* Duch) é considerado uma das culturas de regiões temperadas mais valorizada em todo o mundo (TAJDINIAN; RAHMATI-JONEIDABAD; PARIZIPOUR, 2022). O pseudofruto do morango contém vitaminas, minerais e compostos fenólicos, como o ácido elágico, que possuem potenciais efeitos anticancerígenos. Essas qualidades contribuem para seu alto valor de mercado e ampla popularidade no mundo (KILIC *et al.*, 2021; FAGHERAZZI *et al.*, 2021).

O cultivo do morango ocorre em quase todas as regiões do mundo, devido à adaptabilidade das suas diferentes cultivares às condições ambientais (SOPPELSA *et al.*, 2023). Mundialmente, no ano de 2018, foram cultivados 372,3 mil hectares sendo produzidas 8,3 milhões de toneladas de frutos, conforme Lima *et al.*, (2021). O Brasil é considerado o maior produtor de morango na América do Sul, com produtividade média de 36,6 toneladas por hectare (ANTUNES *et al.*, 2020).

Apesar dos seus múltiplos benefícios para saúde humana e alto potencial agrícola, o cultivo no Brasil apresenta entraves, principalmente na região Nordeste, que apresenta elevadas temperaturas do ar que podem retardar o desenvolvimento e inibir o tubo polínico do morangueiro, conseqüentemente, diminuir a produção (CHAGAS *et al.*, 2018; DIEL *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o uso de cultivares que se enquadrem com as condições da região de cultivo (por exemplo, cultivares de dias neutros no Nordeste do Brasil), associado ao uso de tecnologias de cultivo, surge como alternativas para a expansão do cultivo em regiões com climas tropicais.

Associado ao uso de uma cultivar neutra (STRASSBURGER *et al.*, 2010), o cultivo em ambiente protegido e o uso do hidrogel podem contribuir para reduzir as variações de temperatura do ar e foliar e aumentar eficiência e uso da água.

O polímero hidroretentor (hidrogel) melhora as características físicas e químicas do solo ou substrato, aumentando a capacidade de retenção e de umidade e possibilita o acúmulo de nutrientes na sua estrutura. Isso facilita a liberação gradual de nutrientes da matriz polimérica para as plantas. Tais fatores podem contribuir com melhores desenvolvimento e trocas gasosas e reduzir a temperatura foliar dos vegetais (SOUSA *et al.*, 2022; YANG; SHI, 2022).

No entanto, ainda são escassos na literatura as respostas do cultivo de morango sob diferentes concentrações de hidrogel no substrato ou solo (MIKICIUK; MIKICIUK, 2010; MAKOWSKA *et al.*, 2005). Há necessidade, portanto, de ampliar estudos que possam encontrar alternativas para expansão do cultivo do morango no Nordeste.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar as respostas morfofisiológicas, índice térmico, desempenho agrônômico e produtividade de cultivares de morango cultivadas sob concentrações de hidrogel no substrato.

2.2 Objetivos específicos

Analisar a interação entre diferentes concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango cultivadas em ambiente protegido.

Propor uma concentração ideal de hidrogel no substrato que proporcione melhores resultados em termos de crescimento, respostas fisiológicas, índice térmico, desempenho agrônômico e produtividade do morangueiro.

Certificar se o hidrogel é capaz de reduzir a temperatura foliar do morangueiro cultivado em ambiente protegido na Serra da Ibiapaba, Ceará.

2.3 Hipótese

O incremento das concentrações de hidrogel no substrato terá um impacto significativo nas características morfofisiológicas do morangueiro.

O hidrogel reduz o índice térmico do morangueiro.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A cultura do morango

O consumo de morango silvestres iniciou-se na pré-história, onde relata-se vestígios em sítios arqueológicos no período Neolítico (10.000 e 6.000 a.C.) (VIGNOLO *et al.*, 2016). Há teorias que o processo de melhoramento do morangueiro teve início quando indígenas, de origem desconhecidas que habitavam o Chile no período da América pré-colombiana, praticavam a seleção de plantas silvestres com os melhores frutos e de maior tamanho (HANCOCK, 2020).

O morango comercial (*Fragaria x ananassa* Duch) pertencente à família Rosaceae do gênero *Fragaria* é originário de uma hibridação natural ocorrida entre dois morangos silvestres (*Fragaria x ananassa* Duch) em meados de 1974 na França (HUSAINI; NERI, 2016). Segundo Antunes *et al.*, (2016) as plantas oriundas desse cruzamento produziam frutos de excepcional tamanho, com polpa de coloração vermelha, diferente da polpa branca de *F. chiloensis*.

O morangueiro é uma planta perene e emerge de tecidos meristemáticos ou tecido caulinar comprimido, apresentando folhas trifoliadas que anelam ao redor da coroa (HUSAINI; NERI, 2016). O caule ou estolão gerados a partir das gemas basais das folhas apresentam potencial para gerar raízes e propiciar a origem de uma nova planta (LOPES *et al.*, 2019). De acordo com Filgueira (2008), o sistema radicular é muito superficial concentrando-se a maior parte das raízes nos primeiros 5 cm do solo.

Os processos de florescimento e frutificação do morangueiro compreendem a indução, a iniciação, a diferenciação e a antese da flor (DUARTE FILHO *et al.*, 1999; VERDIAL *et al.*, 2007). O pseudofruto é a parte comercial da planta, origina-se a partir da fecundação dos pistilos e tem como fruto verdadeiro os aquênios podendo ser amarelos ou avermelhados consistentes e superficiais (LOPES *et al.*, 2019). Conforme Antunes *et al.*, (2016) o desenvolvimento do fruto verdadeiro depende da manutenção do balanço hormonal durante a maturação do aquênio, onde qualquer interrupção desse balanço, fertilização incompleta ou morte dos aquênios por qualquer causa resultam em frutos malformados.

Morales *et al.*, (2012) descrevem que o cultivo do morangueiro, possui ampla distribuição geográfica em virtude de sua alta capacidade de adaptação às condições de

cultivo e clima. No entanto, fotoperíodo e temperatura são fatores preponderantes para o desenvolvimento da cultura (CHIOMENTO *et al.*, 2021; FAGHERAZZI *et al.*, 2021). Segundo Diel *et al.*, (2017), o estresse térmico pode afetar os parâmetros fisiológicos e biométricos, retardando o desenvolvimento da cultura do morangueiro.

O morango apresenta comportamento fisiológico que pode apresentar interdependência da temperatura e fotoperíodo. Dessa forma, é fundamental conhecer as características de cultivo escolhido para determinada região (ANTUNES *et al.*, 2016). Conforme Duarte Filho *et al.*, (1999), o morango pode ser classificado em cultivares de dias curtos, neutros e longos.

As cultivares de dias curtos, são as mais utilizadas no Brasil e precisam de dias mais curtos e baixas temperaturas do ar para floração. Já as cultivares de dias neutros, florescem continuamente, independentemente ou indiferentes ao fotoperíodo. Quando cultivadas em regiões que apresentam temperaturas moderadas, as cultivares de dia neutros possibilita a produção durante todo o ano. Já as cultivares de dia longos diferencia suas gemas especialmente em dias longos (ANTUNES *et al.*, 2016; STRASSBURGER *et al.*, 2010).

Os produtores de morango no Brasil utilizam cultivares provenientes de programas de melhoramento realizados nos Estados Unidos e Espanha (FAGHERAZZI *et al.*, 2017; ZEIST; RESENDE, 2019). Segundo Becker (2020), as cultivares Albion, San Andreas e Camarosa representam 60% dos cultivos nacionais de morangueiro.

A cultivar Albion foi desenvolvida pela Universidade da Califórnia (EUA) e lançada em 2004 (CHIOMENTO *et al.*, 2021). É considerada uma das cultivares mais utilizadas no Brasil, vigorosa; apresentando copa aberta o que favorece na colheita; os seus pseudofrutos podem ser cônicos longos, simétricos, doces e aromáticos (LOPES *et al.*, 2019; ANTUNES *et al.*, 2016; SHAW; LARSON, 2006).

Semelhantemente a cultivar Albion, San Andreas também foi desenvolvida pela Universidade da Califórnia (EUA) e lançada em 2008, sendo originária do cruzamento entre Albion x Cal 97.86-1 (CHIOMENTO *et al.*, 2021). Uma cultivar que demonstra potencialidade nos sistemas de cultivo semi-hidropônico e hidropônico, vigor médio e sanidade suficiente (BECKER, 2020). Conforme Ruan *et al.*, (2013), a cultivar San Andreas pode ser destinada ao mercado de frutos secos ou utilizada na indústria, pois a aparência atraente é um fator importante a ser considerado para o consumo de morango fresco.

3.2 Produção do morangueiro

A pesquisa e o melhoramento genético associado ao interesse dos consumidores possibilitaram o crescimento progressivo da cultura do morango ao longo dos anos no mundo, tornando-a uma cultura de grande importância em escala comercial (CASTRO, 2004; HUSAINI; NERI, 2016). Devido ao seu pseudofruto apresentar impactos comerciais, industriais e econômicos, a produção mundial do morangueiro aumentou mais de 80% nas últimas décadas (NUNES *et al.*, 2021).

Segundo Lima *et al.*, (2021) mundialmente foram produzidas 8,3 milhões de toneladas em 372,3 mil hectares cultivados em 2018. Os maiores produtores dessa fruta de região temperada, são China (3.221.557 ton), Polônia (185.400 ton), Rússia (208.880 ton) e Estados Unidos (1.021.490 ton) (ANTUNES *et al.*, 2021). Apesar do Brasil não estar entre os principais produtores de morango do mundo, na América do Sul o país se destaca como maior produtor (FAGHERAZZI *et al.*, 2021). Atualmente, a área cultivada no país tem cerca de 4.500 ha (FAGHERAZZI *et al.*, 2017), onde alcançou com exportação US\$ 272 milhões no ano de 2015 (ANTUNES *et al.*, 2017).

Dentre os estados brasileiros, Minas Gerais é o maior produtor nacional com 74.000 toneladas em 2.000 ha⁻¹, seguido do Paraná 21.450 toneladas em 650 ha⁻¹ e Rio Grande do Sul 20.350 toneladas 550 ha⁻¹ (NUNES *et al.*, 2021). O Nordeste ocupa o quarto lugar em termos de produção no país, e no ano de 2017 o Ceará produziu cerca de 4,0 toneladas (IBGE, 2017). Além disso, existe uma expressiva variação de preços dessa fruta em território cearense durante o ano, conforme o período de abastecimento, podendo uma caixa de 1kg custar em média 25,00 a 30,00 reais (CEASA, 2021).

A baixa produção do Ceará pode ser atribuída à utilização de sistemas inadequados de produção para esse tipo de cultura, como plantio no solo, em canteiros cobertos com mulching plástico e utilização de cultivares inadequadas para região (BRAINER *et al.*, 2015). Diferentemente dos estados do eixo sudeste-sul, que 80% das colheitas são provenientes de sistemas de cultivo sem solo, semi-hidropônicos. Além disso, nessas regiões nos últimos anos o cultivo em ambiente protegido vem possibilitando frutos de maior qualidade (FAGHERAZZI *et al.*, 2021).

3.3 Caracterização dos polímeros hidroretentores de água

Os hidroretentores de água, também conhecidos como hidrogéis, polímeros hidroabsorventes ou géis hidroretentores, começaram a ser estudado por Wichterle e Lim na década de 60 com géis à base de metacrilato de hidroxietila (MONTEIRO NETO *et al.*, 2017; YONEZAWA, 2016). O hidrogel é formado por ligações iônicas ou covalentes que formam redes tridimensionais, com alto peso molecular, insolúvel em água e estabelecem uma textura de gel que possibilita armazenar água em seu interior (SAHA *et al.*, 2020).

O potencial do hidrogel em absorver água está intimamente relacionado à elasticidade da parede, dos grupos funcionais hidrofílicos (-OH, -COOH, -CONH₂, -SO₃H) conectados ao esqueleto polimérico, do estado de reticulação e da qualidade da porosidade do material (ANDRADE, 2016); em contrapartida o seu vigor à dissolução é originário de ligações cruzadas entre cadeias de rede (AHMED, 2015).

De maneira analógica a estrutura tridimensional do hidrogel, existe uma estrutura denominada de reticulação, podendo ser formada de maneira química ou física (AOUADA, 2009).

Os géis hidroretentores obtidos por reticulações químicas são formados por ligações primárias (ligações covalentes), gerando um hidrogel do tipo químico ou permanente, impossibilitando que ocorra reversão da reticulação. Por outro lado, a reticulação de natureza física é resultante de ligações secundárias (ligações de hidrogênio e forças de Van der Waals), originando uma rede tridimensional que pode sofrer modificações quando exposto a incitamento externo, como temperatura, alteração do pH e soluções salinas (GARCIA *et al.*, 2019; YONEZAWA, 2016).

Uma extensa gama de composições químicas e atributos físicos são utilizados para produzir os polímeros hidroabsorventes (GARG; GARG, 2016). Desta forma, os agentes hidroretentores de água podem ser fabricados através de três fontes de matérias-primas: proveniência natural (oriundo de quitosana, alginato, colágeno, dextrana, quitina e celulose); sintéticos (decorrente do acrílico, ácido metacrílico, polietilenoglicol e acetato de vinila) e composto orgânico-inorgânico (caulim, talco, argila e diatomita), havendo distintos potenciais de retenção de água (BEHERA; MAHANWAR, 2020; YANG; SHI, 2022).

Aqueles que apresentam maiores variedades no mercado e maior produção industrial são oriundos de matéria-prima sintética, no qual, possuem alta taxa de absorção de

água; no entanto, dispõem de um alto custo e não possuem uma rápida degradabilidade, podendo ocasionar prejuízos ambientais (WEI *et al.*, 2016).

Os polímeros retentores de água de origem natural possuem preços baixos e diferentes capacidade de absorção de água e inúmeros locais que possibilitam o enxerto com distintos ácidos, tais como acrílico e acrilamida. Além disso, não são biocompatíveis e citotóxicos. Por outro lado, aqueles originários de compostos orgânico-inorgânico são formados por enxerto e polimerização de minerais com alto potencial de absorção de água e baixo preço (MA *et al.*, 2023; YANG; SHI, 2022).

Independente da origem e formação do hidrogel, uma das principais características é armazenar água em seu interior, ou seja, a sua capacidade de expansão ou inchamento (ADJUIK *et al.*, 2022). Conforme Nascimento *et al.*, (2021) os hidrogéis são materiais que frequentemente absorvem 100 vezes seu peso em água. De modo consequente, um hidrogel sólido quando imerso em água, ele padece uma contínua modificação de volume até alcançar o seu nível final e totalmente intumescido (BLANCO *et al.*, 2013). Segundo Malik *et al.*, (2022) inchaço do polímero no solo ou substrato melhora a porosidade, capacidade de ar e CTC enquanto diminui a taxa de infiltração.

Diante das buscas para maximização das atividades agrícolas, o polímero retentor de água se tornou uma alternativa para agricultura como condicionadores de solo, elevando o potencial de absorção de água e acúmulo de nutrientes, diminuição do número de irrigação e extravio de nutrientes (SAHMAT *et al.*, 2022; MONTEIRO NETO *et al.*, 2017).

3.4 Influência do polímero hidroretentor nos aspectos do solo e do substrato

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas na busca por tecnologias que possam garantir um melhor manejo para os cultivos. Nesse contexto, os hidroretentores se apresentam como uma alternativa agrícola que pode aumentar o desempenho agrônômico das culturas.

Segundo Yang e Shi (2022) os polímeros hidroretentores chamados de “micro reservatório de solo”, pode melhorar a estrutura e a nutrição do solo, melhorando a capacidade de retenção de água e fertilizantes do solo e a eficiência do uso da água.

O hidrogel atua nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Na características físicas do solo, o hidrogel poderá influenciar diretamente na densidade aparente, capacidade de retenção de água e umidade do solo, resultando em uma rizosfera

propícia para desenvolvimento das raízes das plantas e germinação das sementes, contribuindo para uma eficiente translocação e absorção de água (SAHMAT *et al.*, 2022).

Nas propriedades químicas do substrato ou solo o polímero possibilita encapsular os nutrientes fazendo com que ocorra uma liberação ao longo do tempo, em vez de uma rápida disponibilidade (IFTIME *et al.*, 2019; ABOBATTA, 2018), em razão da sua alta capacidade de troca catiônica (CTC), que diminui as perdas de nutrientes através da lixiviação (NAVROSKI *et al.*, 2016; TAYLOR; HALFACRE, 1986). Corroborando Lopes *et al.*, (2017), descrevem que o polímero de retenção de água quando incorporado ao solo ou substrato, permite maior retenção de água e fertilizantes, que podem ser liberados lentamente para as plantas em função dos ciclos de absorção-liberação.

Conforme Li e Chen (2020), para solos deficientes em nutrientes, os nutrientes das plantas (por exemplo, nitrogênio) podem ser encapsulados em redes de hidrogel para apoiar o crescimento das plantas em um padrão lento ou controlado. Rashad (2020) estudou a eficiência de uso de silício (Si) em solo arenoso alterado por hidrogel e carregado com Si e constatou que os macronutrientes analisados foram afetados pela aplicação do hidrogel carregado com Si na ordem de 32,48% e 83,33% de N e K disponíveis, respectivamente.

No entanto, o hidrogel quando utilizado como condicionador de solo deve responder aos estimulantes existentes no meio, ou seja, a liberação gradual dos nutrientes (por exemplo, o nitrogênio) pode ser influenciada por fatores químicos e físicos que são responsáveis por esses estímulos (MA *et al.*, 2023).

Com relação à influência do hidrogel nas características biológicas do solo, o uso em meios de plantio de forma racional não altera a microbiota do solo (SAHMAT *et al.*, 2022). Em concordância, Parvathy *et al.*, (2014) verificaram um aumento no número de bactérias, fungos e actinomicetos do solo onde existia hidrogel em relação ao solo inicial e atribuíram esse aumento ao nível de umidade suficiente que pode ter favorecido o crescimento e multiplicação desses microrganismos.

A influência do polímero hidrorretentor nas propriedades hidráulicas e físicas do solo possibilita o solo ou substrato ficar úmido por mais tempo devido à retenção de água em sua estrutura, viabilizando a liberação de forma gradual de água e nutrientes da matriz polímera para as plantas (SOUSA *et al.*, 2022; YANG; SHI, 2022).

As melhorias nos aspectos físico-químicos e biológicos do solo fizeram com que o hidrogel torna-se uma nova alternativa de condicionador do solo, uma vez que, possibilita absorção de água em 60% do seu estado inicial de expansão e potencializar o rendimento das

culturas (SAHMAT *et al.*, 2022). Yang *et al.*, (2019) constatou que a aplicação de hidrogel superabsorvente de solo, em relação ao solo sem hidrogel, melhorou o teor de água disponível em média em 19,3% na camada superior de 40 cm do solo.

3.5 Influência do hidroretentor no desenvolvimento e produção das plantas

Inúmeros pesquisadores em diversos países começaram a pesquisar as respostas das culturas agrícolas e florestais quando cultivadas na presença do hidrogel. Segundo Palanivelu *et al.*, (2022) a aplicação de hidrogel no plantio das plantas diminui o uso de água, reduz a frequência de rega e libera de forma gradual os nutrientes do solo para sustentar o crescimento das plantas.

Em ambientes favoráveis para absorção de água e nutrientes, as plantas, a depender do estágio fenológico, investem a solução que absorvem nas atividades de divisão, expansão e alongamento celular, resultando em maior crescimento e desenvolvimento (KUMAR *et al.*, 2018). Ao estudarem o polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo Fagundes *et al.*, (2015), verificaram que hidrogel possibilitou o crescimento de mudas de maracujá amarelo até a dose de 1,49 g L⁻¹.

Além dos efeitos positivos na retenção de água no solo e no crescimento das plantas, o hidrogel pode influenciar as relações hídricas, as respostas fisiológicas, índice térmico e a produção dos vegetais. Desta forma, o aumento do teor de umidade em função do hidrogel, fará que o potencial hídrico do solo seja superior ao potencial hídrico da planta e atmosfera; e que de modo consequente, ocasiona o transporte da água do solo para a planta (TAIZ *et al.*, 2017; PIMENTEL, 2004).

Os estômatos das plantas são estimulados por vários fatores ambientais que influenciam o potencial hídrico, dentre os principais, temperatura, umidade relativa do ar e umidade do solo (LAWSON, 2009). Segundo Buckley (2019), o potencial hídrico abre os estômatos em função da regulação ativa da pressão osmótica das células guarda em relação ao estado da água da folha, desencadeada às mudanças no turgor celular. Sendo assim, o aumento da disponibilidade de água no solo ou substrato e a absorção promovido pelo hidrogel, pode elevar o potencial hídrico e o nível de saturação hídrica das células estomáticas; resultando em melhorias nas trocas gasosas das plantas (FELIPPE *et al.*, 2022; YANG *et al.*, 2019).

Pedroza-Sandoval *et al.*, (2017) avaliaram o hidrogel, biocomposto e seu efeito na atividade fotossintética e produção de forragem em plantas de milho e constaram que aplicação do hidrogel aumentou o teor de umidade do solo em 20,8% em relação ao controle, promovendo aumento da condutância estomática na cultura do milho.

Desta forma, o aumento da condutância estomática das plantas devido a presença do hidrogel pode facilitar a transpiração e absorção de CO₂ para a fotossíntese (LAWSON; MATTHEWS, 2019). Araújo *et al.*, (2022) constataram que houve aumento da transpiração do maracujá amarelo quando estava sendo cultivado sob a presença de hidrogel e cobertura morta. O aumento da taxa de transpiração ocasiona mecanismos essenciais para os vegetais, como a absorção de nutrientes, translocação de fotossintatos, como também a manutenção da temperatura foliar (MCGRATH; LOBELL, 2013; URBANO *et al.*, 2017).

A manutenção da temperatura foliar através do resfriamento da folha é uma ação fisiológica importante, uma vez que o alto calor latente de vaporização da água atrai a energia térmica da folha (evaporação), possibilitando a redução da temperatura foliar (TAIZ *et al.*, 2017; PIMENTEL, 2004). O resfriamento do dossel beneficia o status hídrico do vegetal, que pode ser mensurado através do índice térmico (ΔT), que é resultante do grau de abertura dos estômatos e transpiração (HARRISON *et al.*, 2020; BLAYA-ROS *et al.*, 2020).

O ΔT pode estar intimamente relacionado aos estudos do sistema solo-água-planta-atmosfera, uma vez que as respostas estão diretamente relacionadas ao conteúdo de água no solo, de modo consequente, a transpiração e a temperatura foliar em razão da abertura e fechamento dos estômatos (JONES *et al.*, 2009). De acordo com Tripodi *et al.*, (2018) a transpiração foliar e a temperatura estão correlacionadas entre si, um dos usos mais valiosos das câmeras térmicas é sua aplicação no estudo das relações hídricas das plantas reguladas pela condutância estomática.

Uma das formas de se obter a temperatura do dossel é através do sensoriamento remoto TIR, uma técnica de identificação pré-visual do estresse abiótico (GERHARD *et al.*, 2019). A utilização das imagens termais tem como preeminência de uma análise espaço-temporal rápida e sem contato de algumas respostas fisiológicas e estrutural dos vegetais (ARAGÃO, 2019). Conforme Costa *et al.*, (2013), a termografia é uma das mais utilizadas nas ciências agrônômicas e ambientais e na indústria agroalimentar.

O hidrogel fornecido no substrato ou solo pode trazer conforto térmico às plantas, uma vez que, o ambiente em que elas estão sendo cultivadas possibilita aumento na disponibilidade e absorção de água (COSTA *et al.*, 2019).

Ao estudarem o hidrogel como mitigador do estresse salino durante o estabelecimento de mudas de *Tagetes patula* L. Sousa *et al.*, (2022), verificaram a concentração máxima de hidrogel ($3,0 \text{ g L}^{-1}$) resultou no menor índice térmico ($-5,42 \text{ }^\circ\text{C}$) em relação aos demais tratamentos com polímero, com diminuição da magnitude do índice térmico de 11,94% em relação à ausência do polímero hidroretentor ($-4,84 \text{ }^\circ\text{C}$), independente da salinidade da água de irrigação.

A utilização do hidrogel no solo ou substrato não beneficia apenas o crescimento, as relações hídricas e fisiológicas das plantas, mas como consequência dos efeitos benéficos anteriores, esse condicionador de solo pode incrementar os aspectos produtivos das culturas. Em estudos realizados na cultura do tomate (MADRAMOOTOO *et al.*, 2023), manjerição (HAVRILYUK *et al.*, 2021), alho (YATSENKO *et al.*, 2022) e cana-de-açúcar (MARQUES *et al.*, 2013), os autores verificaram que a produtividade das culturas aumentou com a utilização do polímero hidroretentor.

No entanto, resultados contrários aos estudos anteriores foram constatados na cultura do morango (MAKOWSKA *et al.*, 2005; MIKICIUK; MIKICIUK, 2010), onde os autores verificaram redução nos aspectos produtivos da cultura e justificam em função de uma possível competição entre as plantas cultivadas e o polímero por água, gerando um desequilíbrio hídrico. Tal fato pode levar a cultura a desenvolver estratégias para tentar sobressair o desequilíbrio gerando no ambiente solo-água-planta (KAUR *et al.*, 2020).

CAPÍTULO 1 - HIDROGEL NA ATENUAÇÃO DO ÍNDICE TÉRMICO E NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE PLANTAS DE MORANGO

RESUMO

Na região Nordeste do Brasil, onde predomina o clima tropical, as elevadas temperaturas do ar podem retardar o desenvolvimento do morango. Assim, para atenuar os efeitos do estresse térmico ressalta-se a importância da utilização de cultivares adaptadas e tecnologias, como por exemplo, o cultivo em ambiente protegido e uso do hidrogel no substrato. Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do hidrogel no índice térmico, nas respostas fisiológicas e no estabelecimento de plantas de morango em ambiente protegido. A pesquisa foi realizada em ambiente protegido no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil. O delineamento utilizado foi de blocos aleatorizados arranjos em esquema fatorial 5 x 2, referentes a cinco concentrações de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 g L⁻¹ de substrato) e duas cultivares de morango (Albion e San Andreas), com quatro repetições e cada unidade experimental era composta por 26 plantas. O incremento da concentração de hidrogel no substrato favorece o crescimento vegetativo das cultivares Albion e San Andreas, nas avaliações realizadas aos 30 e 60 DAT. A cultivar Albion apresentou maior número de folhas, altura da coroa, diâmetro da coroa e índice térmico aos 30 DAT, porém nenhuma diferença entre as cultivares foi observada aos 60 DAT. As plantas da cultivar San Andreas apresentaram maiores valores de eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea do uso da água no período tarde, quando cultivadas sob 4,0 de hidrogel L⁻¹ de substrato. As plantas da cultivar San Andreas apresentaram reduções nas trocas gasosas com incremento da concentração de hidrogel no período da tarde. O aumento da concentração de hidrogel no substrato reduziu o índice térmico do morango no período da manhã, independentemente das cultivares.

Palavras-chaves: *Fragaria X ananassa* Duch., termografia infravermelha, respostas fisiológicas, polímero hidroretentor.

CHAPTER 1 - HYDROGEL IN THE ATTENUATION OF THE THERMAL INDEX AND IN THE INITIAL DEVELOPMENT OF STRAWBERRY PLANTS

ABSTRACT

In the Northeast region of Brazil, where the tropical climate predominates, high temperatures can slow down strawberry development. Thus, to mitigate the effects of thermal stress, it is important to use adapted cultivars and technologies, such as, for example, cultivation in a protected environment and use of non-substrate hydrogel. The research was carried out in a protected environment in the municipality of Guaraciaba do Norte, Ceará, Brazil. The design used was randomized blocks arranged in a 5 x 2 factorial scheme, referring to five concentrations of hydrogel (0.0; 1.0; 2.0; 3.0 and 4.0 g L⁻¹ of substrate) and two strawberry cultivars (Albion and San Andreas), with four replications and each experimental unit was composed of 26 plants. The increment of the hydrogel concentration in the substrate favors the vegetative growth of the Albion and San Andreas cultivars, in the evaluations carried out at 30 and 60 DAT. The Albion cultivar showed the highest number of leaves, crown height, crown diameter and thermal index at 30 DAT, but no difference between cultivars was observed at 60 DAT. Plants of the cultivar San Andreas showed higher values for intrinsic water use efficiency and instantaneous water use efficiency in the late period, when grown under 4.0 hydrogel L⁻¹ substrate. Plants of the cultivar San Andreas showed reductions in gas exchange with an increase in hydrogel concentration in the afternoon. Increasing the hydrogel concentration in the substrate reduced the thermal index of strawberries in the morning, regardless of cultivars.

Keywords: *Fragaria X ananassa* Duch., infrared thermography, physiological responses, hydroretentive polymer.

4.1 Introdução

O cultivo do morango (*Fragaria X ananassa* Duch) vem sendo ampliado mundialmente, chegando em 2019 a 9.223.815 toneladas produzidas. Este crescimento ocorre dentre outros fatores, devido a características como a presença de antocianinas, alto conteúdo de vitamina C, bem como o alto valor agregado do pseudofruto. Na América do Sul, o Brasil

se destaca, com produção de 165.000 toneladas em 2019. Por ser uma cultura microclimática, pode ser cultivada em todas as regiões do país, desde os estados com clima temperado como estados de clima tropical (ANTUNES *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2021).

Em regiões de clima temperado, com menores temperaturas e duração da luz solar, comumente são utilizadas cultivares de dias curtos, por possuírem características melhor adaptadas a essas condições. Por outro lado, em regiões de clima tropical, sugere-se a utilização de cultivares de dias neutros, que requerem temperaturas moderadas e não dependem do fotoperíodo (CHIOMENTO *et al.*, 2021; STRASSBURGER *et al.*, 2010).

Na região Nordeste do Brasil, onde predomina o clima tropical, as elevadas temperaturas do ar podem reduzir a produção. Assim, para atenuar os efeitos do estresse térmico pode-se destacar a importância da utilização de cultivares de dias neutros. Segundo Diel *et al.*, (2017), o estresse térmico pode afetar os parâmetros fisiológicos e biométricos, retardando o desenvolvimento da cultura do morangueiro. Em função disso, se faz necessário a utilização de tecnologias que contribuam para diminuição desse estresse.

Algumas tecnologias são utilizadas na agricultura para redução do estresse térmico, como cultivo em ambiente protegido, nebulização e condicionadores de solo. Essas tecnologias podem ter efeitos diretos no crescimento, desenvolvimento e adaptação da cultura na região (MIRANDA *et al.*, 2014; NASSAJ-BOKHARAEI *et al.*, 2021). Dentre os condicionadores de solo, o hidrogel pode favorecer a diminuição da temperatura foliar (SOUSA *et al.*, 2022).

O hidrogel é um polímero hidroabsorvente insolúvel em água que quando úmido apresenta uma textura de gel, que armazena mais de 100 vezes seu peso em água (NASCIMENTO *et al.*, 2021; SAHA *et al.*, 2020). O aumento da absorção de água no solo ou no substrato sob a influência do hidrogel pode favorecer o aumento da taxa de transpiração. A elevação da transpiração pode favorecer o resfriamento foliar, atenuando o índice térmico (ARAGÃO *et al.*, 2023). O índice térmico é variável que relaciona a diferença de temperatura do dossel e do ar ($T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}}$), usada para determinação o status hídrico em diversas culturas (LIMA *et al.*, 2016).

Pesquisas apontam que plantas cultivadas em solo ou substrato com hidrogel, expressaram melhores características morfofisiológicas, redução do índice térmico e aumento dos teores nutricionais (ARAÚJO *et al.*, 2020; NASSAJ-BOKHARAEI *et al.*, 2021; SOUSA *et al.*, 2022).

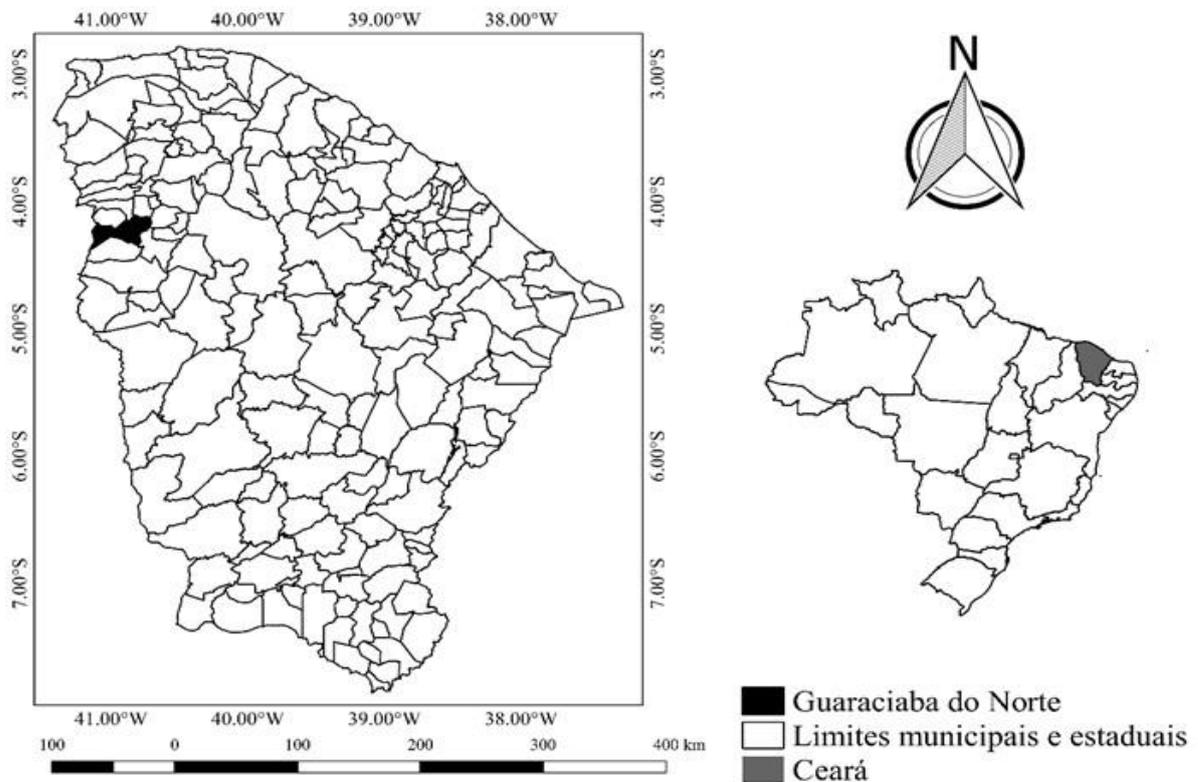
Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito do hidrogel no índice térmico, nas respostas fisiológicas e no estabelecimento de plantas de morango em ambiente protegido.

4.2 Metodologia

4.2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado em ambiente protegido com uma área experimental de 112 m², pertencente à empresa Estufa Timbaúba, situada no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil (03° 52' 47" S, 40° 57' 50" O e altitude média de 920 metros) (Figura 1). Conforme Koeppen (1948), o clima da região é classificado como Aw' predominantemente quente e úmido, com temperaturas mínimas de 15°C e máximas de 32°C, com estação chuvosa nos meses de fevereiro a maio e precipitação pluviométrica média de 1.250 mm.

Figura 1 – Localização do município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil



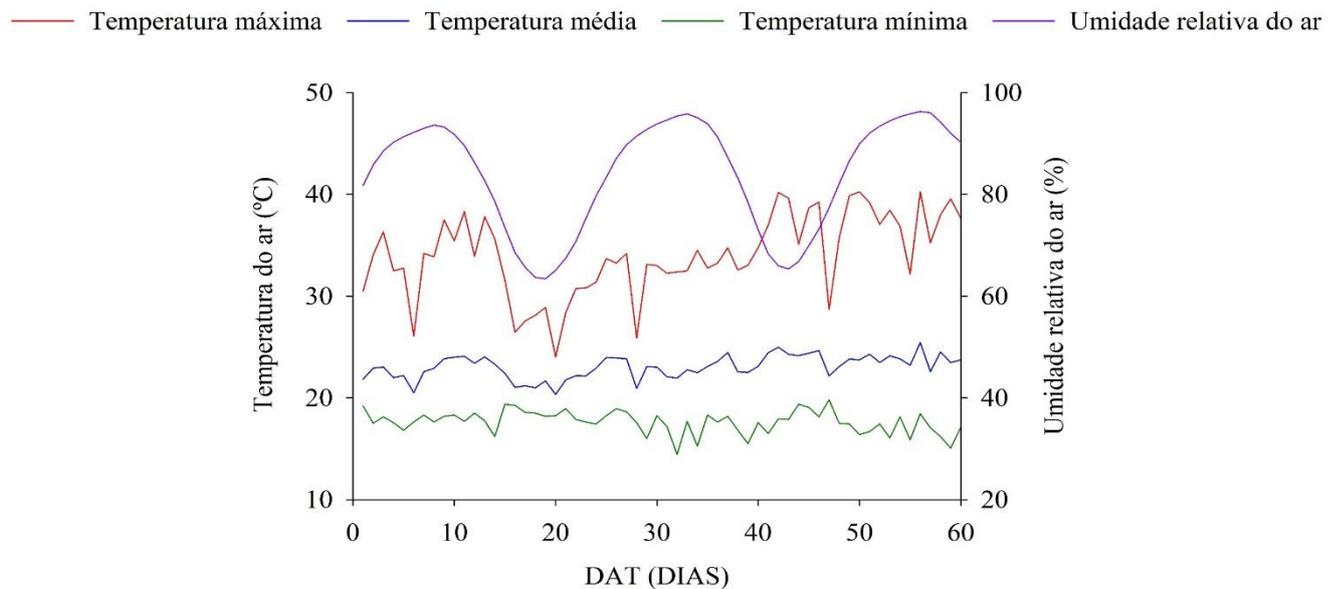
Fonte: autor (2023).

Os dados de temperatura média e umidade relativa média do local do experimento foram obtidos com uso de um *Smart Hygrometer Sunlink*[®] modelo Termômetro *Hygrometer*

Wireless Bluetooth instalado dentro do ambiente protegido e programado para fazer registro a cada 10 minutos.

Na Figura 2 podem ser observados os dados de temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do obtidos durante o período experimental.

Figura 2 – Temperatura máxima, média e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período experimental

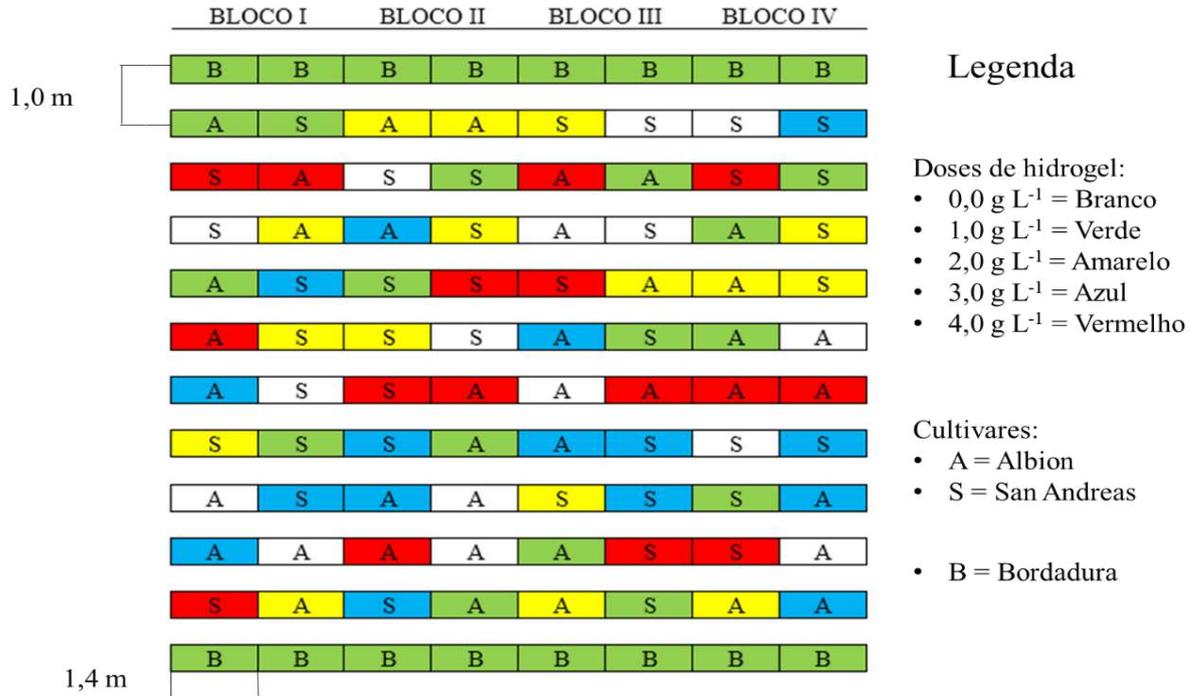


Fonte: autor (2023).

4.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos aleatorizados, arranjados em esquema fatorial 5 x 2, referentes a cinco concentrações de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 g L⁻¹ de substrato) e duas cultivares de morango (Albion e San Andreas), com quatro repetições (Figura 3). A unidade experimental foi composta por dois sacos para cultivo (*slab*), com treze plantas por saco, totalizando 26 plantas por unidade experimental e 1.040 plantas no total.

Figura 3 – Croqui experimental em blocos aleatorizados



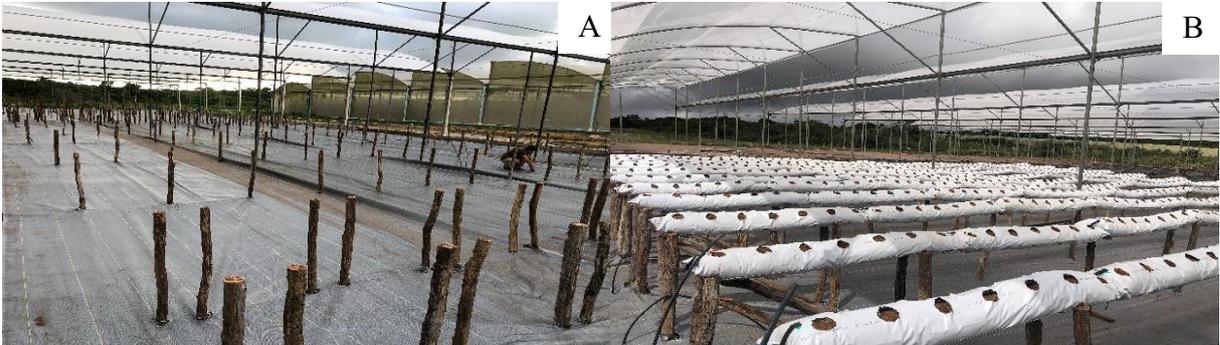
Fonte: autor (2023).

4.3 Instalação e condução do experimento

4.3.1 Instalação

O experimento ocorreu em sacos de polietileno de 250 nomeados como “*slabs*”, com tonalidade externa branca e interna preta, com dimensões (1,40 m x 30 cm), preenchido com aproximadamente 25 litros de substrato comercial de fibra de coco. Os *slabs* ficaram suspensos em bancadas de madeira com altura de 70 cm. As bancadas ficaram espaçadas a 1,0 m (Figura 4A e B).

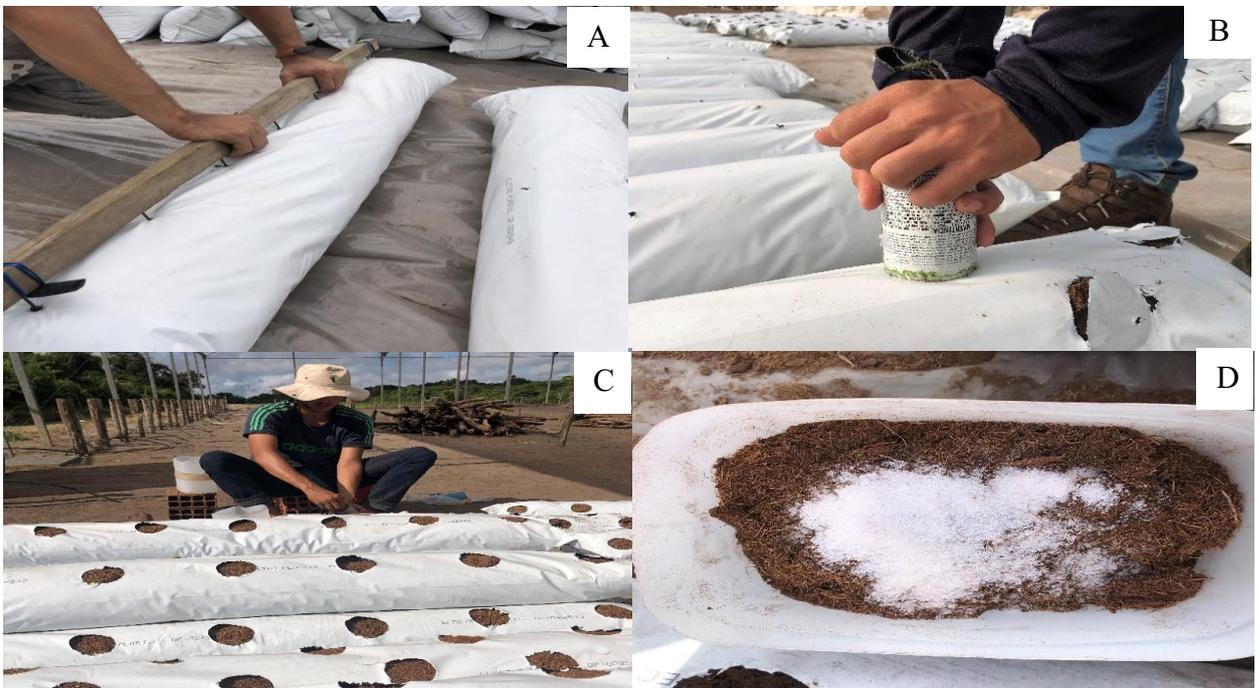
Figura 4 – Bancadas de madeiras (A) e distribuição dos *slabs* na área experimental (B)



Fonte: autor (2023).

As concentrações de hidrogel no substrato foram obtidas a partir da retirada e homogeneização de 300 mL de substrato retirado por cova de plantio, totalizando 13 covas por saco de cultivo com hidrogel Polyter[®] seco (Figura 5A, B, C e D).

Figura 5 – Demarcação das covas no *slab* (A), realizando as covas no *slab* (B), retirada do substrato da cova (C) e processo de homogeneização (D)

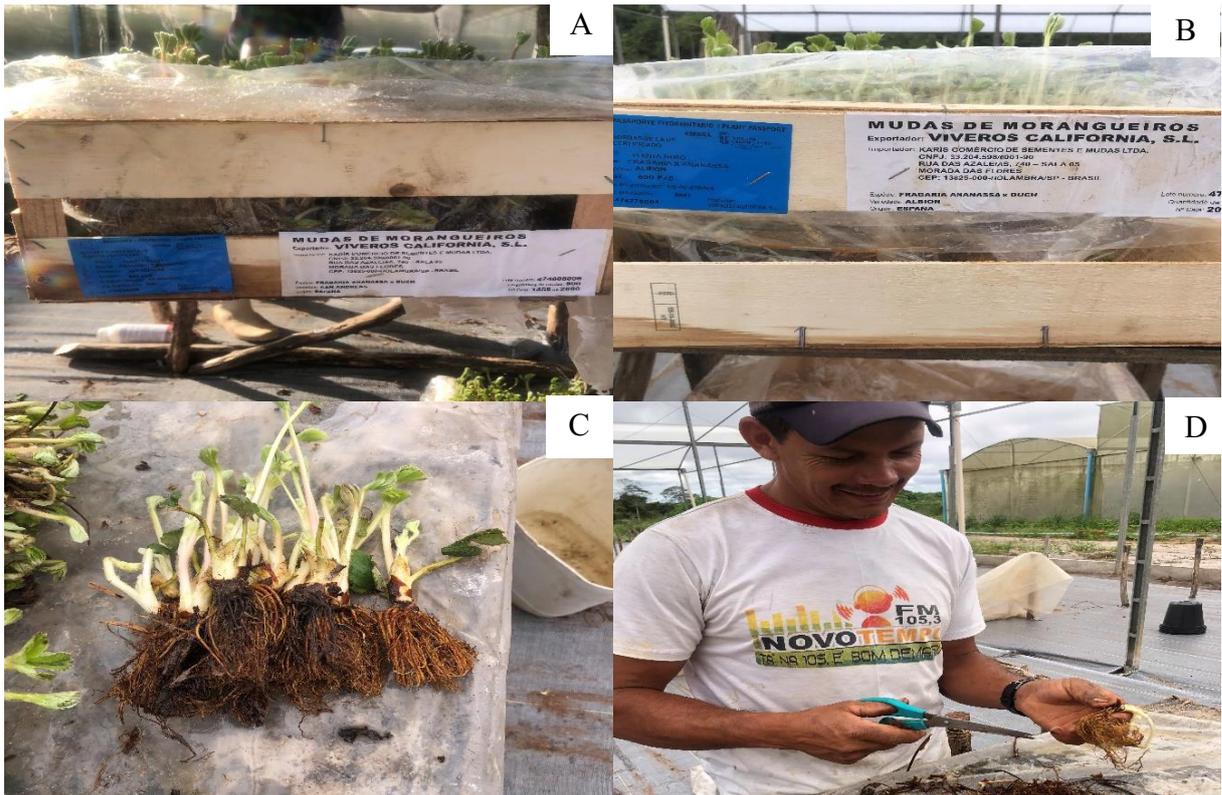


Fonte: autor (2023).

As mudas de morango foram adquiridas na empresa Viveiros California S.L (Figura 6A e B). As mesmas foram transportadas em caixotes de madeira, acondicionadas em caminhão refrigerado e transportadas para Serra da Ibiapaba. Antes do transplântio das mudas,

foi realizado uma limpeza na coroa e o corte do sistema radicular (Figura 6C e D), deixando-o com aproximadamente 4 cm de comprimento. Além disso, as raízes das mudas foram mergulhadas em solução com RIDOMIL[®] (fungicida).

Figura 6 – Mudanças de morango da empresa Viveiros California S.L. (A e B), mudas de morango antes do processo de limpeza (C) e processo de limpeza das mudas (D)



Fonte: autor (2023).

No *slab*, as mudas foram dispostas em fileiras duplas e alternadas com espaçamento 20 cm x 15 cm, entre plantas e entre linhas (respectivamente), totalizando 26 mudas de morango por unidade experimental (Figura 7A e B).

Figura 7 – Distribuição das mudas de morango no *slab* (A) e processo de transplântio das mudas de morango (B)



Fonte: autor (2023).

4.3.2 Manejo da fertirrigação

A fertirrigação ocorreu via solução nutritiva, seguindo a recomendação de Furlani e Fernandes-Júnior (2004). Utilizou-se um sistema aberto, em que a solução nutritiva foi armazenada em um reservatório com capacidade de 1.000 L (sulfatos e fosfatos) e outro em reservatório com capacidade de 200 L (nitrato de cálcio). A necessidade de dois reservatórios foi em virtude da incompatibilidade entre os fertilizantes que contêm cálcio e os que contêm fosfatos e sulfatos. A solução nutritiva foi fornecida via gotejamento (um emissor para cada duas plantas, com vazão de 1,6 L h⁻¹).

Foi realizado um balanço hídrico, onde foram aplicados pulsos de irrigação, variando a quantidade e o tempo em função do desenvolvimento das plantas e da condutividade elétrica da solução drenada (CEs), sendo estabelecido um valor limite da CEs 1,4 dS m⁻¹, conforme recomendação de Miranda *et al.*, (2014) e mantendo sempre o substrato na capacidade de campo.

Os pulsos de irrigação variaram de um a dois pulsos de quatro minutos nos primeiros 15 dias após o transplântio, até o máximo de quatro pulsos de cinco minutos por dia

em média. Diariamente era coletado o volume drenado da solução, para o monitoramento da condutividade elétrica e pH, os quais foram ajustados sempre que necessário.

4.3.3 *Tratos culturais*

Após o transplântio, com o início do crescimento e desenvolvimento das mudas, realizou-se o desbaste das primeiras flores (Figura 8A e B) com finalidade de induzir as mudas se desenvolverem vegetativamente. Além disso, durante o período experimental e periodicamente foi realizada a limpeza da coroa de forma manual com auxílio de tesoura de podas, com objetivo de retirar folhas velhas ou que apresentassem sintomas de doenças ou deficiência nutricional (Figura 8C). Aos 60 DAT realizou-se a retirada dos estolões com o intuito de instigar as plantas a iniciar o estágio reprodutivo (Figura 8D).

Figura 8 – Mudas das cultivares de morango emergindo flores (A e B), limpeza da coroa das plantas de morango (C) e corte dos estolões (D)



Fonte: autor (2023).

Com relação ao controle fitossanitário, foram instaladas armadilhas adesivas amarelas e azuis na área com objetivo de monitorar o surgimento de insetos e trips. Além disso, foi inserido na área ovos de parasitoide do gênero *Trichogramma*, com a finalidade de

controle de insetos-pragas. Semanalmente foi realizado aplicações de defensivos agrícolas recomendados para cultura, por meio de pulverizações com auxílio de bombas costais de 20L com bico tipo cheio.

4.4 Variáveis analisadas

4.4.1 Variáveis biométricas

Aos 30 e 60 DAT foram avaliadas cinco plantas centrais por unidade experimental para obtenção das seguintes variáveis biométricas: número de folhas (NF) por contagem direta de folhas totalmente expandidas; altura da coroa (ALT, cm) medida da base ao ápice da muda e da planta com auxílio de uma régua graduada e diâmetro da coroa (DC, mm) mensurado 2 cm acima do substrato com auxílio de um paquímetro digital (MOD. MPD-300) (Figura 9A e B).

Figura 9 – Mensuração das variáveis biométricas em cultivares de morango (A e B)



Fonte: autor (2023).

4.4.2 Trocas gasosas e índices fisiológicos

Aos 60 DAT, foram realizadas leituras das trocas gasosas foliares, temperatura do dossel e temperatura do ar. As medições das trocas gasosas ocorreram das 8:00 às 10:00 horas (manhã) e das 12:00 às 14:00 horas (tarde), em duas plantas por unidade experimental e em

folhas completamente expandidas, sendo quantificadas as seguintes variáveis: condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de carbono (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), utilizando-se analisador infravermelho de gases IRGA (modelo LCI, ADC, BioScientific, Inglaterra) (Figura 10A e B). Nas horas que antecederam e durante as avaliações supramencionadas não foi realizado irrigação.

Com os dados de trocas gasosas foliares, foram determinados os seguintes índices fisiológicos:

- I. eficiência instantânea no uso da água (A/E);
- II. eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e
- III. eficiência da carboxilação instantânea (A/C_i).

Figura 10 – Mensuração das variáveis filológicas em cultivares de morango (A e B)



Fonte: autor (2023).

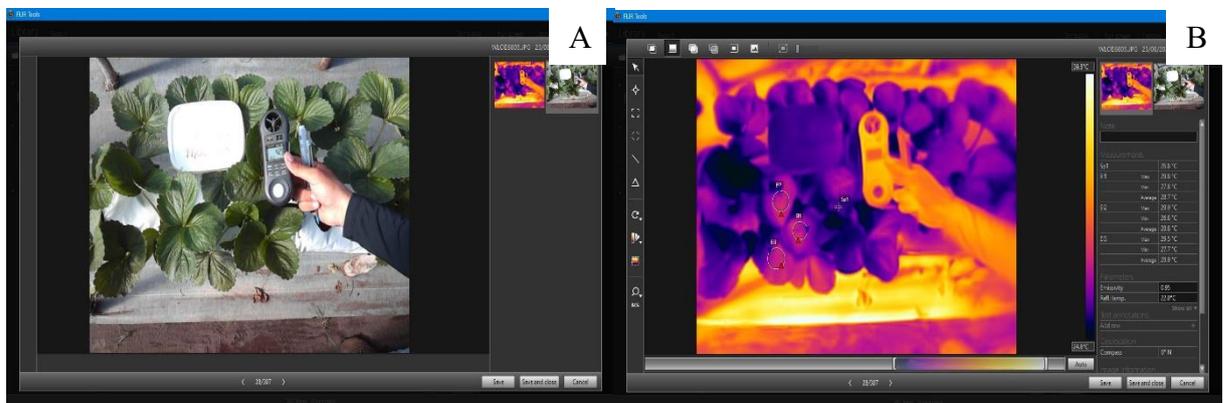
4.4.3 Temperatura do dossel, temperatura do ar e índice térmico

A temperatura do dossel foi quantificada aos 60 DAT, utilizando uma câmera termográfica (FLIR ONE PRO[®]) com sensibilidade térmica entre -20 e 120 °C, com precisão de ± 3 °C, resolução térmica de 160×120 pixels e emissividade em 0,95. A obtenção das imagens térmicas ocorreu entre as 8:00 às 10:00 horas (manhã) e das 12:00 às 14:00 horas

(tarde), sem sombreamento de nuvens, a uma distância de 1,0 m das plantas e nas mesmas folhas utilizadas para obtenção das trocas gasosas.

As imagens térmicas foram analisadas no software *FLIR Tools* (Figura 11A e B) para obtenção da temperatura média do dossel. Para determinar a temperatura térmica média do dossel da planta do morangueiro foi aplicada a ferramenta elipse. A utilização desta ferramenta possibilitou marcar três pontos de interesse na imagem termométrica do dossel, e posteriormente, foi realizado o cálculo da média de todos os pontos, tendo como resultado um valor térmico estimado representativo de todo o dossel do morango.

Figura 11 – Imagens sendo analisadas com utilização do software *FLIR Tools* (A e B)



Fonte: autor (2023).

Com relação à obtenção dos dados da temperatura do ar (°C), utilizou-se um termo-higrômetro (modelo THAL-300) posicionado ao lado de cada planta no momento da obtenção das imagens térmicas.

Após o processamento das imagens no software *FLIR Tools* e os dados de temperatura do ar foram determinados o índice térmico (ΔT), sendo estimado pela diferença entre a temperatura do dossel e a temperatura do ar (COSTA *et al.*, 2013):

$$\Delta(T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}}) = T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}} \quad (1)$$

Onde:

$\Delta(T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}})$ – Índice Térmico

T_{dossel} – Temperatura do dossel, °C;

T_{ar} – Temperatura do ar, °C.

4.5 Análises estatísticas

Para analisar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* ($p \leq 0,05$), seguido da análise de variância. Nos casos de significância, para concentração de hidrogel ou interação entre os fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial. E nos casos de significância para as cultivares de morango, as médias foram submetidas ao teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$), utilizando o software *Assistat 7.7 Beta* (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4.6 Resultados e discussão

4.6.1 Variáveis biométricas aos 30 e 60 DAT

De acordo com análise de variância aos 30 DAT, verificou-se que número de folhas (NF) e altura da coroa (ALT) se ajustaram ao modelo linear em resposta ao hidrogel, enquanto a variável diâmetro da coroa (DC) se ajustou ao modelo de regressão linear e quadrática (Tabela 1). Já aos 60 DAT, não houve diferença entre os cultivares para nenhuma das variáveis, enquanto para o hidrogel o NF e o DC se ajustaram com resposta linear (Tabela 1). Se observou efeito isolado para cultivares aos 30 DAT e interação entre as concentrações de hidrogel no substrato e cultivares para altura da coroa (ALT) aos 60 DAT.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância e valores médios para o número de folhas (NF), diâmetro da coroa (DC) e altura da coroa (ALT) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel aos 30 e 60 dias após o transplântio.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		30 DAT			60 DAT		
		NF	DC	ALT	NF	DC	ALT
Cultivares (C)	1	9,71**	5,88**	9,91**	1,01 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,23 ^{ns}
R linear	1	2,70**	19,22**	29,76**	10,19**	5,27*	6,85 ^{ns}
R quadrática	1	0,23 ^{ns}	4,42*	1,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,003 ^{ns}
C hidrogel (CH)	4	0,74**	7,51**	8,2**	2,63*	1,48*	2,27 ^{ns}
C x CH	4	0,12 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,22*
Blocos	3	0,05 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,77 ^{ns}	1,78 ^{ns}	2,58 ^{ns}
Resíduo	27	0,15	0,65	0,46	0,69	1,23	2,07
CV (%)		10,41	9,29	8,13	13,91	6,86	11,37

Cultivares	Teste de Tukey ($p < 0,05$)		
	NF	DC	ALT
Albion	4,31 a	9,12 a	9,07 a
San Andreas	3,32 b	8,26 b	7,92 b

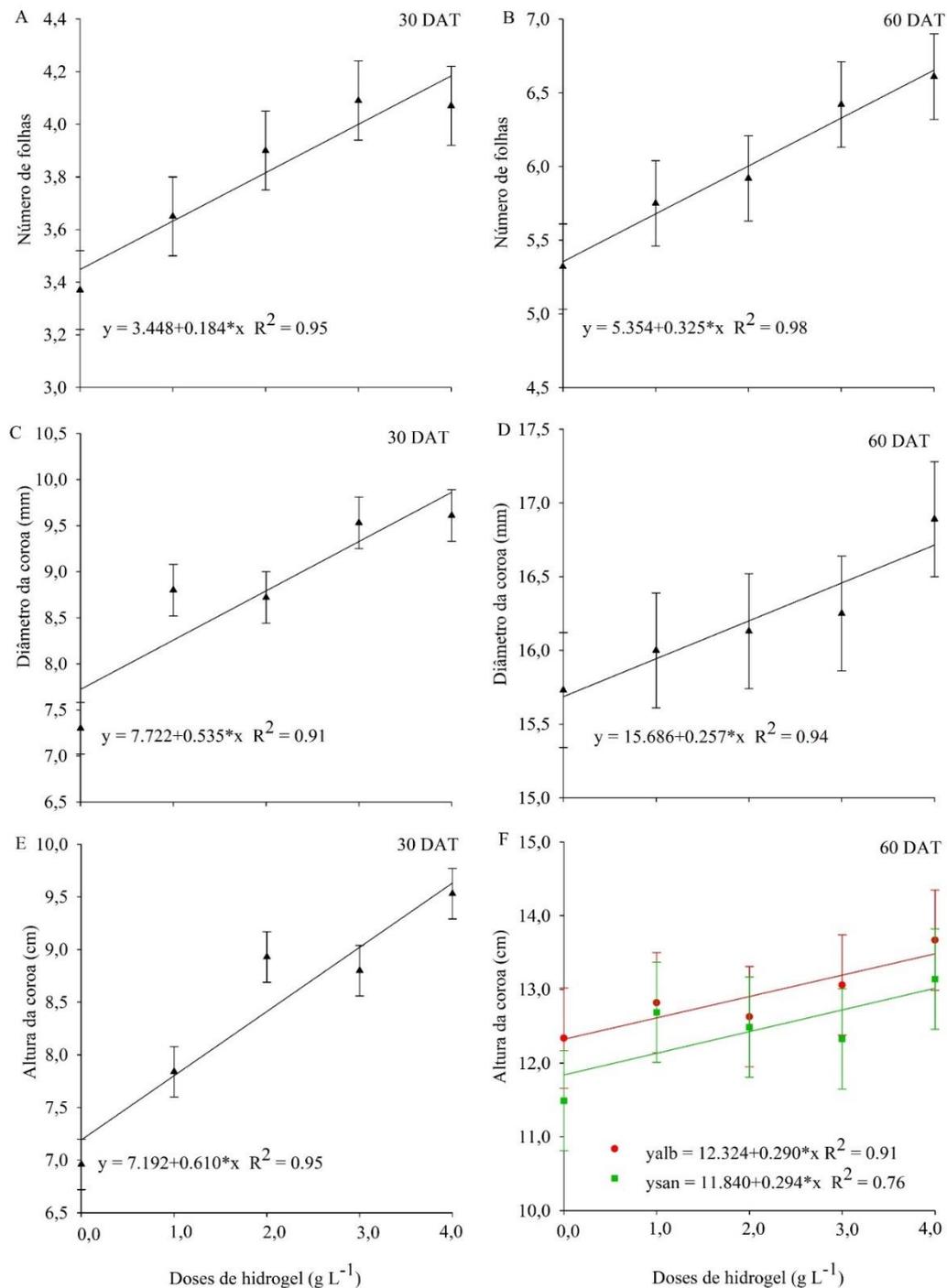
GL - Graus de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; *, **, ns - Significativo em $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ e não significativo; CH – Concentrações de hidrogel; R linear – Regressão linear; R quadrática – Regressão polinomial quadrática, Valores médios seguidos pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

A Tabela 1 também mostra que a cultivar Albion foi superior estatisticamente a cultivar San Andreas, aos 30 DAT, para as três variáveis analisadas, mas nenhuma diferença foi observada aos 60 DAT.

As características morfofisiológicas de uma cultivar quanto ao conjunto de caracteres quantitativos e qualitativos, sobre a forma estrutural e comportamento, é determinada por sua composição genética (DIEL *et al.*, 2017). Schiavon *et al.*, (2022) ao analisar a produção e qualidade de plantas de morango produzidas a partir de diferentes soluções nutritivas em cultivo sem solo, também encontram diferenças entre as cultivares analisadas para as variáveis morfológicas, independentemente da solução nutritiva.

O número de folhas e diâmetro da coroa do morango aumentaram linearmente, nos períodos avaliados, em função das concentrações de hidrogel no substrato (Figura 12). Analisando o número de folhas aos 30 e 60 DAT (Figura 12A e B), constatou-se uma diferença de 21,34 e 24,28% do tratamento testemunha (0,0 g L⁻¹) e concentração máxima de hidrogel (4,0 g L⁻¹), respectivamente. Para o diâmetro da coroa (Figura 12C e D), as equações demonstraram que houve crescimento unitário de 0,535 e 0,257 mm por unidade de aumento de hidroretentor.

Figura 12 – Número de folhas aos 30 DAT (A) e número de folhas aos 60 DAT (B); diâmetro da coroa aos 30 DAT (C) e diâmetro da coroa aos 60 DAT (D); altura da coroa aos 30 DAT do morango em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (E) e altura da coroa do morango aos 60 DAT em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango (F). As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4)



Albion (●), San Andreas (■). Fonte: autor (2023).

Sobre a altura da coroa do morango, em função das concentrações de hidrogel no substrato aos 30 DAT, foi observado um comportamento linear (Figura 12E), com acréscimo de 0,61 cm por unidade de aumento da dose do polímero. Em relação à altura da coroa em função da interação entre os fatores aos 60 DAT, verificou-se que o modelo linear apresentou o melhor ajuste para ambas cultivares (Figura 12F). A cultivar Albion associada com a maior concentração de hidrogel ($4,0 \text{ g L}^{-1}$) proporcionou maior altura, com 13,67 cm e crescimento de 0,29 cm por unidade de aumento de hidrogel (Figura 12F). A cultivar San Andreas na maior concentração de hidrogel ($4,0 \text{ g L}^{-1}$) apresentou maior altura, com 13,15 cm e diferença entre o tratamento testemunha ($0,0 \text{ g L}^{-1}$) de 9,93% (Figura 12F).

A grande maioria das raízes das espécies vegetais requer um suprimento adequado de água e nutriente para alcançar um crescimento vegetal eficiente (ARAÚJO *et al.*, 2022). Desta forma, o aumento dos valores das variáveis morfológicas do morango em função do incremento do polímero hidroretentor no substrato, pode estar relacionado ao ambiente favorável para absorção destes elementos; consequentemente, promovendo uma elevada multiplicação e divisão celular (NASSAJ-BOKHARAEI *et al.*, 2021).

Sousa *et al.*, (2022) avaliaram o hidrogel como mitigador do estresse salino durante o estabelecimento de mudas de *Tagetes patula* L (cravo-de-defunto) e observaram que a dose $3,0 \text{ g L}^{-1}$ promoveu um aumento no número de folhas de 53,39% em comparação com a ausência do polímero, independentemente da salinidade da água de irrigação. Outros estudos realizados com café (SOUZA *et al.*, 2016), milho (ABDALLAH *et al.*, 2021) e gengibre (KUMAR *et al.*, 2018) também demonstraram o efeito positivo do hidrogel no crescimento vegetativo das plantas.

4.6.2 Variáveis de trocas gasosas, índices fisiológicos e índice térmico no período da manhã e tarde aos 60 DAT

Na Tabela 2 pode ser observado resumo da análise de variância para as respostas fisiológicas e índice térmico no período da manhã e à tarde do morango, aos 60 DAT. Apenas a condutância estomática (g_s) e a transpiração (E) não foram significativos entre os cultivares, enquanto para o hidrogel, apenas g_s e eficiência instantânea no uso da água (A/E) não foram afetadas pelas doses do hidrogel, com a grande maioria se ajustando ao modelo quadrático,

com exceção do índice térmico, que se ajustou ao modelo linear. Observou-se interação entre as concentrações de hidrogel versus cultivares de morango na transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (C_i) e a eficiência da carboxilação instantânea (A/C_i) no período da manhã (Tabela 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância e valores médios para condutância estomática (gs), transpiração (E), taxa de assimilação de CO_2 (A), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), eficiência da carboxilação instantânea (A/C_i), eficiência instantânea no uso da água (A/E) e índice térmico (ΔT) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel no substrato aos 60 dias após o transplantio no período da manhã e tarde.

Fonte de variação	Quadrado médio								
	Manhã								
	GL	gs	E	A	C_i	A/g_s	A/C_i	A/E	ΔT
Cultivares (C)	1	0,002 ^{ns}	0,10 ^{ns}	12,01 ^{**}	683,37 ^{**}	410,62 ^{**}	0,0005 ^{**}	0,48 ^{**}	12,07 ^{**}
C hidrogel (CH)	4	0,001 ^{ns}	0,31 ^{**}	3,28 ^{ns}	437,95 ^{**}	102,52 [*]	0,0002 ^{**}	0,10 ^{ns}	2,24 [*]
R linear	1	0,004 [*]	0,0006 ^{ns}	0,06 ^{ns}	881,12 ^{**}	64,09 ^{ns}	0,000 [*]	0,000 ^{ns}	7,49 [*]
R quadrática	1	0,0008 ^{ns}	0,68 ^{**}	11,83 ^{**}	736,29 ^{**}	324,66 ^{**}	0,000 ^{**}	0,000 [*]	0,87 ^{ns}
CH x C	4	0,001 ^{ns}	0,42 ^{**}	4,49 [*]	340,01 ^{**}	45,07 ^{ns}	0,0001 ^{**}	0,12 ^{ns}	1,10 ^{ns}
Blocos	3	0,001 ^{ns}	0,13 ^{ns}	3,13 ^{ns}	65,60 ^{ns}	11,61 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,00 ^{ns}	6,03 ^{**}
Resíduo	27	0,0008	0,05	1,36	73,31	32,02	0	0,04	17,45
CV (%)		9,56	4,82	6,39	3,85	8,89	5,52	5,78	17,45
Teste de Tukey ($p < 0,05$)									
Cultivares						A/g_s		A/E	ΔT
Albion						57,79 b		3,67 b	-7,5 a
San Andreas						66,20 a		3,89 a	-6,5 b
Tarde									
	GL	gs	E	A	C_i	A/g_s	A/C_i	A/E	ΔT
Cultivares (C)	1	0,000 ^{ns}	2,12 ^{**}	0,01 ^{ns}	3,37 ^{ns}	328,32 [*]	0,000 ^{ns}	0,50 ^{**}	1,34 ^{ns}
C hidrogel (CH)	4	0,008 ^{**}	1,22 ^{**}	1,72 [*]	644,41 ^{**}	793,73 ^{**}	0,000 ^{ns}	0,22 ^{**}	0,27 ^{ns}
R linear	1	0,000 ^{ns}	0,16 ^{ns}	2,21 ^{ns}	513,64 ^{**}	298,57 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,30 ^{**}	0,15 ^{ns}
R quadrática	1	0,012 ^{**}	3,49 ^{**}	2,47 ^{ns}	846,72 ^{**}	1133 ^{**}	0,000 ^{ns}	0,48 ^{**}	0,15 ^{ns}
CH x C	4	0,007 ^{**}	1,43 ^{**}	1,76 [*]	928,20 ^{**}	747,51 ^{**}	0 ^{ns}	0,16 ^{**}	1,67 ^{ns}
Blocos	3	0,000 ^{ns}	0,27 ^{ns}	1,17 ^{ns}	100,05 ^{ns}	6,91 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,00 ^{ns}	4,43 ^{**}
Resíduo	27	0	0,11	0,6	59,31	71,55	0	0,03	0,79
CV (%)		10,06	4,89	3,87	3,67	11,1	7,36	6,37	10,15

GL - Graus de liberdade; CV (%) - Coeficiente de variação; *, **, ns - Significativo em $p \leq 0,05$, $p \leq 0,01$ e não significativo; CH – Concentrações de hidrogel; R linear – Regressão linear; R quadrática – Regressão polinomial quadrática, Valores médios seguidos pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

No período da tarde houve significância entre os cultivares para E , A/E e A/g_s , efeito significativo das doses de hidrogel e interação entre as concentrações de hidrogel versus cultivares de morango para quase todas as respostas fisiológicas do morango, exceto eficiência da carboxilação instantânea (A/C_i) e índice térmico (ΔT) que apresentaram efeito não significativo para ambos os fatores (Tabela 2).

O efeito apenas dos cultivares foi observado apenas no período da manhã, com a cultivar San Andreas mostrando maiores eficiência intrínseca e instantânea e menor índice térmico (Tabela 2). Nos demais parâmetros de trocas gasosas da manhã e tarde, onde houve efeito do cultivar, este foi dependente da concentração de gel empregada.

O aumento da concentração de hidrogel no substrato causou efeito linear crescente de 4,5% por unidade de aumento de hidroretentor na condutância estomática no período da manhã (Figura 13A). Em relação à condutância estomática no período da tarde, as equações de regressão (Figura 13B), apresentaram um efeito quadrático das concentrações de hidrogel no substrato para ambas cultivares; as plantas da cultivar Albion apresentaram um valor máximo estimado de $0,29 \text{ mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ sob uma concentração de hidrogel de $2,75 \text{ g L}^{-1}$. Já as plantas da cultivar San Andreas expressaram um valor máximo estimado de $0,31 \text{ mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ sob uma concentração de hidroretentor de $1,71 \text{ g L}^{-1}$.

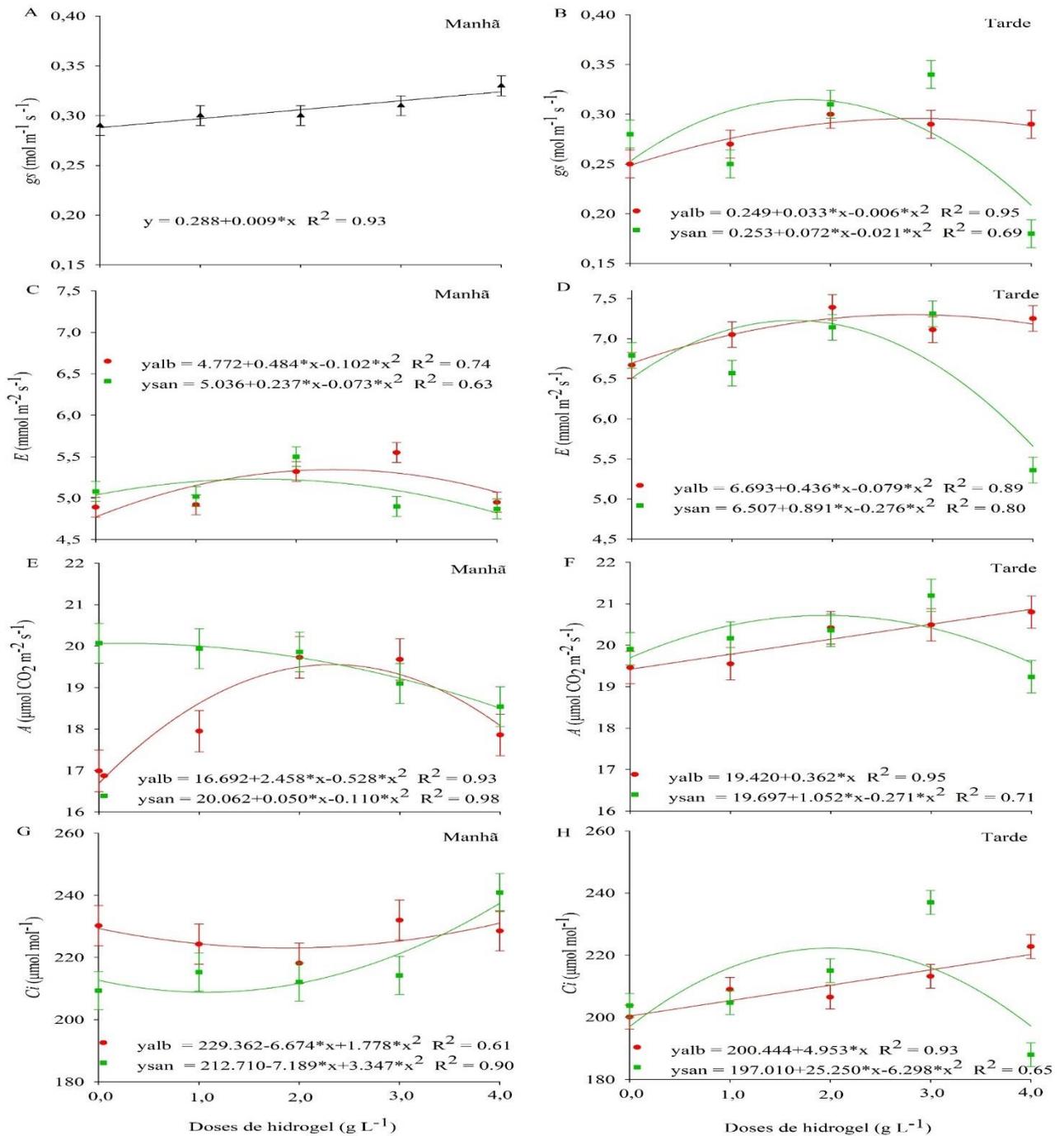
O grau de abertura dos estômatos permite que as plantas controlem a absorção de CO_2 e a perda de água, em resposta às condições ambientais que estão sendo expostas (HAWORTH *et al.*, 2021), associado às características genéticas e a origem geográfica de cada cultivar (DIEL *et al.*, 2017), o que presumivelmente justifica o resultado ocorrido no período da tarde, no presente estudo. Observa-se que a cultivar Albion apresentou uma faixa ampla de resposta ao hidrogel, enquanto a cultivar San Andreas apresentou uma faixa mais estreita, como decréscimos significativos em concentrações de hidrogel superiores a $2,0 \text{ g L}^{-1}$.

Resultados similares ao presente resultado foi observado por Makowska, Borowski e Ziemba (2005), ao avaliarem as trocas gasosas e o rendimento de cultivares de morango em diferentes tipos de solo com adição de hidrogel. Os autores verificaram que houve diferença na abertura estomática das cultivares e uma redução expressiva a partir do segundo ano de cultivo com incremento da concentração de hidrogel.

As taxas de transpiração apresentaram respostas quadráticas ao aumento da concentração de hidrogel, porém com diferenças entre cultivares e o horário de medição (Figura 14C e D). No período da manhã, os maiores valores observados de E (Albion – 5,55

mmol m⁻² s⁻¹; e San Andreas – 5,50 mmol m⁻² s⁻¹) foram obtidos com as concentrações de 3,0 e 2,0 g L⁻¹ de hidrogel, respectivamente (Figura 14C).

Figura 13 – Condutância estomática do morango no período manhã em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (A), condutância estomática no período da tarde (B), transpiração no período da manhã (C), transpiração no período da tarde (D), taxa de taxa de assimilação de CO₂ no período da manhã (E), taxa de assimilação de CO₂ no período da tarde (F), concentração interna de CO₂ no período da manhã (G) e concentração interna de CO₂ no período da tarde (H) do morango em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4)



Albion (●); San Andreas (■). Fonte: autor (2023).

Para o período da tarde, a cultivar Albion alcançou valor máximo estimado de 7,27 mmol m⁻² s⁻¹ para uma concentração de hidrogel de 2,75 g L⁻¹. Possivelmente, o incremento das concentrações de hidrogel no substrato possibilitou condições favoráveis para as trocas gasosas da cultivar Albion, como é demonstrado no aumento da taxa de transpiração no período da tarde. Já a cultivar San Andreas expressou resultados, máximo e mínimo, observados de 7,31 mmol m⁻² s⁻¹ e 5,36 mmol m⁻² s⁻¹ para as concentrações 3,0 e 4,0 g L⁻¹, respectivamente (Figura 14D).

Com relação as plantas da cultivar San Andreas, verificou-se redução das suas taxas de transpiração quando cultivadas sob a maior concentração de hidrogel ($4,0 \text{ g L}^{-1}$). Estes resultados possivelmente estão relacionados a uma estratégia fisiológica da cultivar para manter um equilíbrio hídrico, bem como diminuir a perda no rendimento em condições adversas, apesar de reduzirem a transpiração e desencadear limitações fotossintéticas (LI *et al.*, 2019). Yokoyama *et al.*, (2023) descrevem que o morango conserva o estado hídrico da planta fechando seus estômatos em condições de estresse, evitando-se assim uma diminuição na atividade bioquímica.

A taxa de assimilação de CO_2 se ajustou ao modelo polinomial quadrático para os períodos de avaliação, exceto para a cultivar Albion no período da tarde, que apresentou resposta linear ao aumento da dose de hidrogel (Figura 13E e F). No período matutino (Figura 13E), a cultivar San Andreas expressou maiores valores, com máximo de $20,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nas plantas que não receberam hidrogel, porém, com pequenas variações até a concentração de $2,0 \text{ g L}^{-1}$. Já a cultivar Albion alcançou valor máximo de $19,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na concentração $2,0 \text{ g L}^{-1}$, decrescendo a partir dessa concentração de hidrogel. NISSI *et al.*, (2021), estudaram o efeito de condicionadores de solo sobre o solo, parâmetros fisiológicos e fotossintéticos da laranjeira doce (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) e observaram distintas respostas na taxa fotossintética da laranja, sob diferentes marcas e concentrações de hidrogel.

No período vespertino, a cultivar Albion (Figura 13F) apresentou resposta linear e progressiva com o aumento das concentrações de hidrogel no substrato. Conforme a equação, no tratamento testemunha ($0,0 \text{ g L}^{-1}$), a taxa de assimilação de CO_2 foi de $19,46 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e na maior concentração ($4,0 \text{ g L}^{-1}$), alcançou $20,80 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, correspondendo a uma diferença equivalente de 7,45%. Por outro lado, a cultivar San Andreas apresentou um melhor ajuste ao modelo polinomial quadrático, em que a taxa de assimilação de CO_2 atingiu o valor máximo estimado de $20,71 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em uma concentração de hidrogel de $1,94 \text{ g L}^{-1}$. Tais resultados indicam que as cultivares de morango apresentaram uma boa eficiência fotossintética no período da tarde.

A eficiência fotossintética apresentada pelas cultivares, contrapõem o que é descrito por Yokoyama *et al.*, (2023). Onde os autores descrevem que geralmente a taxa de fotossíntese das plantas diminuem volta do meio-dia sob forte radiação solar; e constataram que a taxa fotossintética da cultura morango foi reduzida mesmo sob um cultivo bem irrigado em estufa.

O fato da cultivar Albion ter mantido a taxa de assimilação de CO₂ constante no período da tarde pode estar relacionado a uma possível adaptabilidade a região de cultivo impulsionada pela presença de hidrogel no substrato; uma vez que, a disponibilidade e absorção de água é aumentada e utilizada nos processos fotossintéticos (ARAÚJO *et al.*, 2022; HAWORTH *et al.*, 2021). Mikiciuk e Mikiciuk (2010), observaram redução na taxa de assimilação de CO₂ do morango com aumento da concentração de hidrogel no segundo ano de cultivo e diferentes estágios fenológicos.

Conforme as equações de regressão (Figura 13G), o incremento de hidrogel no substrato causou efeito quadrático na C_i do morango no período da manhã, com valores mínimos estimados de 223,09 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para a cultivar Albion sob uma concentração de hidrogel de 1,87 g L⁻¹; e 208,84 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para a cultivar San Andreas sob uma concentração de hidrogel de 1,07 g L⁻¹. O maior valor observado foi para cultivar San Andreas (240,95 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$) quando estava sob uma concentração de 4,0 g L⁻¹.

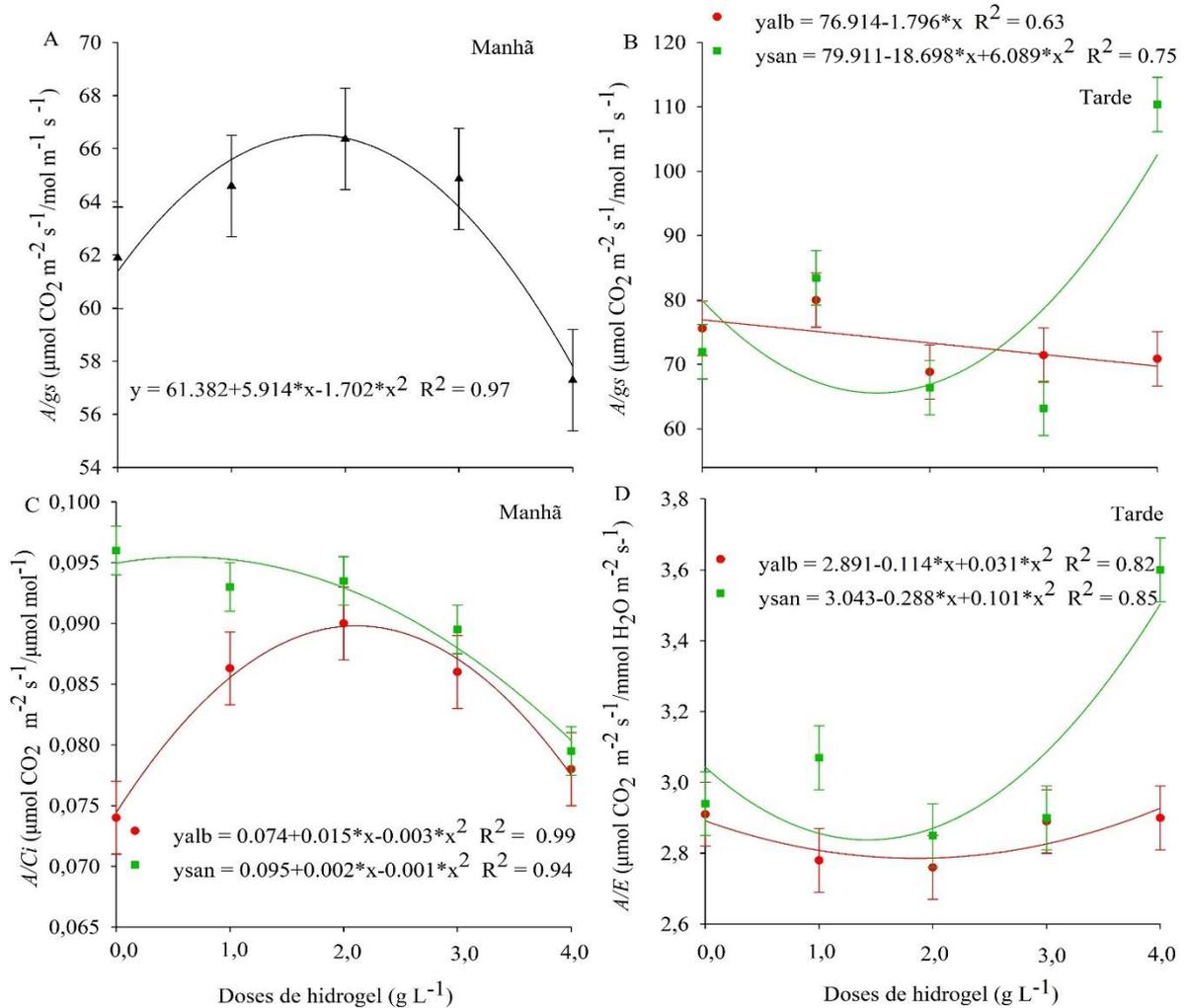
Os dados da concentração interna de CO₂ para a cultivar Albion, no período da tarde, foram ajustados ao modelo de regressão linear (Figura 13H). Observou-se um aumento na concentração interna de CO₂ de 9,88% quando comparado ao tratamento testemunha (0,0 g L⁻¹) para as plantas cultivadas sob a maior concentração de hidrogel no substrato (4,0 g L⁻¹). Por outro lado, a cultivar San Andreas se ajustou de forma melhor ao modelo polinomial, com máximo valor estimado de 222,31 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ sob uma concentração de 2,0 g L⁻¹.

O aumento dos valores da concentração interna de CO₂ para as cultivares cultivadas sob diferentes concentrações de hidrogel, possivelmente estar relacionado a fatores não estomáticos, uma vez que, a existência de um acúmulo de CO₂ no mesófilo foliar, sugere que o CO₂ não está sendo utilizado para a síntese de açúcares pelo processo fotossintético (NAVARRO *et al.*, 2022).

Para eficiência intrínseca do uso da água em função da concentração de hidrogel no período matutino (Figura 14A), observou-se que o modelo polinomial quadrático revelou um valor máximo observado 66,36 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e mínimo observado de 57,28 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol m}^{-1} \text{ s}^{-1}$) para concentrações do hidrorretentor de solo de 2,0 e 4,0 g L⁻¹, respectivamente.

Figura 14 – Eficiência intrínseca do uso da água período da manhã em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (A), eficiência intrínseca do uso da água no período da tarde (B), eficiência da carboxilação instantânea no período da manhã (C) e eficiência instantânea do uso da água no período da tarde (D) do morango em função da interação entre

concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares. As barras de erro representam o erro padrão da média (n = 4)



Albion (●); San Andreas (■). Fonte: autor (2023).

Por outro lado, no período vespertino a cultivar Albion apresentou um efeito linear decrescente com o aumento das concentrações de hidrogel (Figura 14B), constando-se uma redução 9,34% entre o tratamento testemunha (0,0 g L⁻¹) e maior concentração de hidrogel no substrato (4,0 g L⁻¹), conforme a equação de regressão. A cultivar San Andreas apresentou um comportamento diferente em relação a cultivar Albion no período da tarde, ajustando-se ao modelo polinomial obtendo-se um valor mínimo estimado de 65,55 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/mol m⁻¹ s⁻¹ na concentração de hidrogel 1,53 g L⁻¹.

Os resultados no período da manhã para A/g_s , sugere que as plantas que estavam sendo cultivadas sob 2,0 g L⁻¹ apresentavam uma assimilação de CO₂ eficiente, em função de uma ativa abertura dos estômatos (HAWORTH *et al.*, 2021). No período da tarde, os

resultados indicaram que a cultivar San Andreas tende se adaptar as variações de concentrações de hidrogel no substrato, uma vez que, A/g_s é uma estratégia pelo qual as plantas se adaptam às mudanças ambientais (ZHANG *et al.*, 2019).

Para A/g_s em função do fator cultivar, verificou-se que a cultivar San Andreas diferiu estatisticamente da cultivar Albion, equivalente a uma diferença de 10,72% (Tabela 2). De acordo com Nadal e Flexas (2019), valores elevados de A/g_s é visto como um bom meio para economizar água na agricultura, provando ser um fator preciso na seleção de genótipos.

Com relação à eficiência da carboxilação instantânea, em função da interação entre diferentes concentrações de hidrogel e das cultivares de morango no período na manhã (Figura 14C), verificou-se que as plantas da cultivar San Andreas mantiveram-se com valores de A/c_i elevadas, até uma concentração máxima do hidrogel 1,0 g L⁻¹, atingindo 0,096 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$. Por outro lado, a cultivar Albion obteve-se valor máximo estimado para A/C_i de 0,092 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$, sob uma concentração de hidrogel de 2,5 g L⁻¹.

De acordo com Navarro *et al.*, (2022), existem fatores preponderantes para alta eficiência de carboxilação instantânea, tais como, a disponibilidade de ATP e NADPH e o substrato RuBisCO para as plantas, concentrações de CO₂, assim como a quantidade de luz, temperatura. Dessarte, os altos valores observados da A/C_i no período da manhã é um indício de que as concentrações de hidrogel promoveram ambiente favorável para uma maior assimilação de CO₂ pelas cultivares de morango, bem como para a disponibilização no mesófilo para ser carboxilado (NOBRE *et al.*, 2023).

Não houve ajuste prognóstico do modelo quadrático para eficiência instantânea do uso da água em função concentração de hidrogel no substrato no período da manhã. Para os valores de A/E , em função do fator cultivar, constatou-se que a cultivar San Andreas diferiu estatisticamente da cultivar Albion, equivalente a uma diferença de 5,99% (Tabela 2).

Ainda para os valores de A/E , no período da tarde as equações apontaram um efeito quadrático das concentrações de hidrogel no substrato para ambas cultivares (Figura 14D). As plantas da cultivar San Andreas apresentaram valores mínimos e máximos observados de 2,95 e 3,60 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as concentrações 2,0 e 4,0 g L⁻¹, respectivamente. Já as plantas da cultivar Albion expressam valores máximos e mínimos observados de 2,91 e 2,76 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para as concentrações 0,0 e 2,0 g L⁻¹.

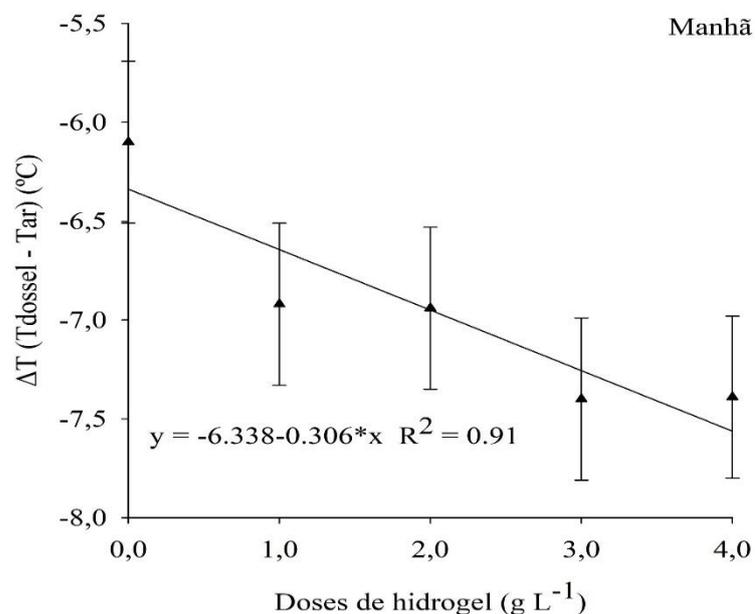
Alguns mecanismos podem ser utilizados para aumentar a eficiência instantânea no uso da água no nível da folha: (I) reduzir a transpiração das folhas, diminuindo a abertura

estomática, mantendo um equilíbrio na fotossíntese e (II) elevando as atividades das enzimas fotossintéticas para evoluir a taxa fotossintética, sustentando uma transpiração foliar de forma equilibrada (YANG *et al.*, 2019). Desta forma, os resultados indicaram que as cultivares, com aumento da concentração de hidrogel no substrato, utilizaram do primeiro mecanismo, conforme é apresentado na Figura 13.

Comportamento semelhante foi observado por Araújo *et al.*, (2020) analisando o maracujá-amarelo, em que A/E aumentou de 1,942 para 3,096 $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$, com aumento de 59,4% entre as doses de 0,0 e 2,0 g dm^{-3} de hidrogel em solo sem cobertura morta.

Para o índice térmico foi observado um comportamento linear decrescente (Figura 15), com decréscimo correspondente a $-0,30$ ($^{\circ}\text{C}$) por unidade de aumento do polímero hidrorretentor. Além disso, verificou-se uma redução de 19,31% entre o tratamento testemunha (0,0 g L^{-1}) e a maior concentração de hidrogel no substrato (4,0 g L^{-1}), conforme a equação de regressão.

Figura 15 – Índice térmico do morango no período da manhã em função de concentrações de hidrogel no substrato aos 60 DAT. As barras de erro representam o erro padrão da média ($n = 4$).



Fonte: autor (2023).

Os resultados demonstraram que as plantas de morango que estavam sendo cultivadas sem presença de hidrogel no período da manhã apresentam maiores ΔT , ou seja, a menor absorção de água em razão da baixa disponibilidade fez com que a temperatura do

dossel das plantas cultivadas sem presença de hidrogel fossem com maior ΔT (ARAGÃO *et al.*, 2023).

Por outro lado, as plantas de morango cultivadas com a concentração de hidrogel de $4,0 \text{ g L}^{-1}$ no período da manhã apresentaram menor ΔT . Tal fato, provavelmente, contribuiu para maior quantidade de folhas (Figura 13A e B), uma vez que, a cultura do morango sofre influência da temperatura para emissão foliar (DIEL *et al.*, 2017).

O menor índice térmico na concentração máxima de hidrogel ($3,0 \text{ g L}^{-1}$) em relação aos demais tratamentos com polímero também foram observados por Sousa *et al.*, (2022) em mudas *Tagetes patula L.*, independente da salinidade da água de irrigação.

Com relação ao índice térmico em função do fator cultivar (Tabela 2), o teste de comparação de média demonstra que a cultivar Albion apresentou um maior ΔT ($-7,50 \text{ }^\circ\text{C}$); do que a cultivar San Andreas ($-6,50 \text{ }^\circ\text{C}$). Desta forma, o menor índice térmico apresentado pelo a cultivar San Andreas possivelmente promoveu efeitos deletérios nos componentes fisiológicos desta cultivar (Figura 12), uma vez que, os componentes celulares são afetados com a mudança de temperatura, retardando o crescimento e desenvolvimento da cultura (BAHUGUNA; JAGADISH, 2015).

4.7 Conclusões

O incremento da concentração de hidrogel no substrato favoreceu o crescimento vegetativo das cultivares Albion e San Andreas, nas avaliações realizadas aos 30 e 60 DAT.

A cultivar Albion apresentou maior número de folhas, altura da coroa, diâmetro da coroa e índice térmico aos 30 DAT, porém nenhuma diferença entre as cultivares foi observada aos 60 DAT. As plantas da cultivar San Andreas apresentaram maiores valores de eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea do uso da água no período tarde, quando cultivadas sob $4,0$ de hidrogel L^{-1} de substrato.

As plantas da cultivar San Andreas apresentaram reduções nas trocas gasosas com incremento da concentração de hidrogel no período da tarde.

O aumento da concentração de hidrogel no substrato reduziu o índice térmico do morango no período da manhã, independentemente das cultivares.

CAPÍTULO 2 - RESPOSTAS FISIOLÓGICAS, ÍNDICE TÉRMICO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE MORANGO CULTIVADAS SOB DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE HIDROGEL NO SUBSTRATO

RESUMO

O morangueiro vem gerando interesse aos diversos produtores do país, como na região da Serra da Ibiapaba, Ceará, em razão dos preços de mercados, tanto local, como no estado vizinho, Piauí. Entretanto, ainda há entraves para a produção do morango na região Nordeste. Isso se deve ao fato das características observadas da relação da cultivares com o ambiente. Uma saída para o cultivo de morando em locais em que a cultura não é totalmente adaptada é a utilização de condicionador de solo, como o hidrogel, apontado como uma alternativa de insumo agrícola, que poderá incrementar o crescimento e o desenvolvimento do morangueiro. Diante o exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas fisiológicas, o índice térmico, o desempenho agrônômico e a produtividade de cultivares de morango cultivadas sob concentrações de hidrogel no substrato. A pesquisa foi realizada em ambiente protegido no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil. O delineamento utilizado foi de blocos aleatorizados arranjos em esquema fatorial 5 x 2, referentes a cinco concentrações de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 g L⁻¹ de substrato) e duas cultivares de morango (Albion e San Andreas), com 4 repetições e cada unidade experimental era composta por 26 plantas. A cultivar Albion apresentou maior condutância estomática, transpiração e concentração interna de CO₂, porém, a cultivar San Andreas demonstrou maior eficiência instantânea no uso da água aos 90 dias após o transplântio (DAT), independentemente das concentrações de hidrogel no substrato. As plantas da cultivar San Andreas apresentaram maior eficiência intrínseca do uso da água e menor índice térmico com incremento das concentrações de hidrogel no substrato aos 90 DAT. O desempenho agrônômico e produtividade das cultivares de morango cultivadas sob diferentes concentrações não apresentaram diferenças significativas no período avaliado.

Palavras-chaves: *Fragaria X ananassa Duch*, trocas gasosas, polímero hidrotentor, produção.

CHAPTER 2 - PHYSIOLOGICAL RESPONSES, THERMAL INDEX AND PRODUCTIVITY OF STRAWBERRY CULTIVARS GROWN UNDER DIFFERENT HYDROGEL CONCENTRATIONS IN THE SUBSTRATE

ABSTRACT

Strawberry has been generating interest to several producers in the country, mainly in the Serra da Ibiapaba region, Ceará, due to market prices, both locally and in the neighboring state, Piauí. However, there are still obstacles to strawberry production in the Northeast region. This is due to the observed characteristics of the relationship between cultivars and the environment. A way out for the cultivation of living in places where the culture is not fully adapted is the use of soil conditioner, as is the case of hydrogel, pointed out as an alternative agricultural input, which can increase the growth and development of the strawberry tree. Given the above, this work aimed to evaluate the physiological responses, the thermal index, the agronomic performance and the productivity of strawberry cultivars cultivated under hydrogel concentrations in the substrate. The research was carried out in a protected environment in the municipality of Guaraciaba do Norte, Ceará, Brazil. The design used was randomized blocks arranged in a 5 x 2 factorial scheme, referring to five concentrations of hydrogel (0.0; 1.0; 2.0; 3.0 and 4.0 g L⁻¹ of substrate) and two strawberry cultivars (Albion and San Andreas), with 4 replications and each experimental unit was composed of 26 plants. The Albion cultivar showed higher stomatal conductance, transpiration and internal CO₂ concentration, however, the San Andreas cultivar showed greater instantaneous water use efficiency at 90 days after transplanting (DAT), regardless of hydrogel concentrations in the substrate. Plants of the cultivar San Andreas showed greater intrinsic efficiency of water use and lower thermal index with increment of hydrogel concentrations in the substrate at 90 DAT. The agronomic performance and productivity of strawberry cultivars cultivated under different concentrations did not show significant differences in the evaluated period.

Keywords: *Fragaria X ananassa Duch.*, gas exchange, water-retaining polymer, production.

5.1 Introdução

A cultura do morango (*Fragaria X ananassa* Duch) passa por uma intensa valorização no mercado nacional há mais de dez anos (SCHIAVON *et al.*, 2022). No Ceará vem gerando interesse aos produtores da região da Serra da Ibiapaba, Ceará, em razão dos preços no mercado local e do estado do Piauí (MIRANDA *et al.*, 2014).

No Brasil, foi registrado no ano de 2020 uma área de aproximadamente 4.500 mil hectares, com uma estimativa de produção anual em torno de 165.440 mil toneladas de morango (ANTUNES *et al.*, 2021). Minas Gerais, maior produtor nacional entre os estados brasileiros, registrou 74.000 toneladas em 2.000 ha⁻¹, em seguida vem o Paraná com 21.450 toneladas em 650 ha⁻¹ e o Rio Grande do Sul com 20.350 toneladas em 550 ha⁻¹ entre os anos de 2015 e 2016 (NUNES *et al.*, 2021).

Entretanto, ainda há entraves para a produção do morango na região Nordeste. Um dos problemas enfrentados é a precocidade das plantas, forçando a colheita com frutos ainda pequenos (BRAINER *et al.*, 2015). Isso se deve ao fato das características das cultivares utilizadas, pois não existiu adaptação e melhoramento genético das cultivares para a região, em conjunto com os manejos utilizados, que influenciarem diretamente o desenvolvimento das plantas nos estágios vegetativos e produtivo (CHIOMENTO *et al.*, 2021).

O morango tem um ciclo de produção influenciado pela temperatura e fotoperíodo (MENDONÇA *et al.*, 2017). É importante conhecer as características das cultivares de morango escolhidas para uma determinada região, pois algumas variedades florescem em resposta à redução da temperatura e duração do dia (variedades de dias curtos). Por outro lado, existem variedades que florescem independentemente do fotoperíodo (variedades de dias neutros), permitindo a produção fora da estação e expandindo o cultivo no Nordeste brasileiro (CHIOMENTO *et al.*, 2021; ANTUNES *et al.*, 2016).

Uma saída para o cultivo morango em locais em que a cultura não é totalmente adaptada é a utilização de condicionador de solo, como é o caso do hidrogel, apontado como uma alternativa de insumo agrícola (SOUSA *et al.*, 2022). Os hidrogéis possibilitam absorver e armazenar água (ABDALLAH *et al.*, 2021), potencializando essa capacidade do solo e/ou substrato. Com o aumento do armazenamento de água ocorre uma facilitação, assim como Nassaj-Bokharaei *et al.*, (2021) afirmam, que sua matriz promove a otimização no uso dos fertilizantes, aumentando a absorção de água e nutrientes.

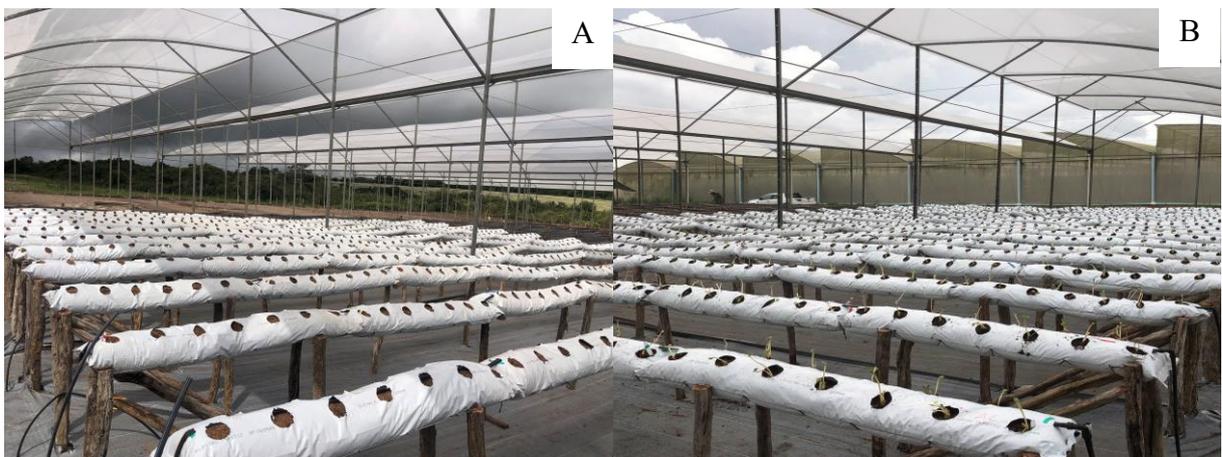
Diante o exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas fisiológicas, o índice térmico, o desempenho agrônômico e a produtividade de cultivares de morango cultivadas sob concentrações de hidrogel no substrato.

5.2 Material e métodos

5.2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no período de junho a outubro de 2022, em ambiente protegido, pertencente a empresa Estufa Timbaúba (Figura 16), situada no município de Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil (03° 52' 47" S, 40° 57' 50" O e altitude média de 920 metros). Conforme Koeppen (1948), o clima da região é classificado como Aw' predominantemente quente e úmido, com temperaturas mínimas de 15 °C e máximas de 32 °C, e com estação chuvosa nos meses de fevereiro a maio.

Figura 16 – Ambiente protegido localizado na Estufa Timbaúba, Guaraciaba do Norte, Ceará, Brasil (A e B)

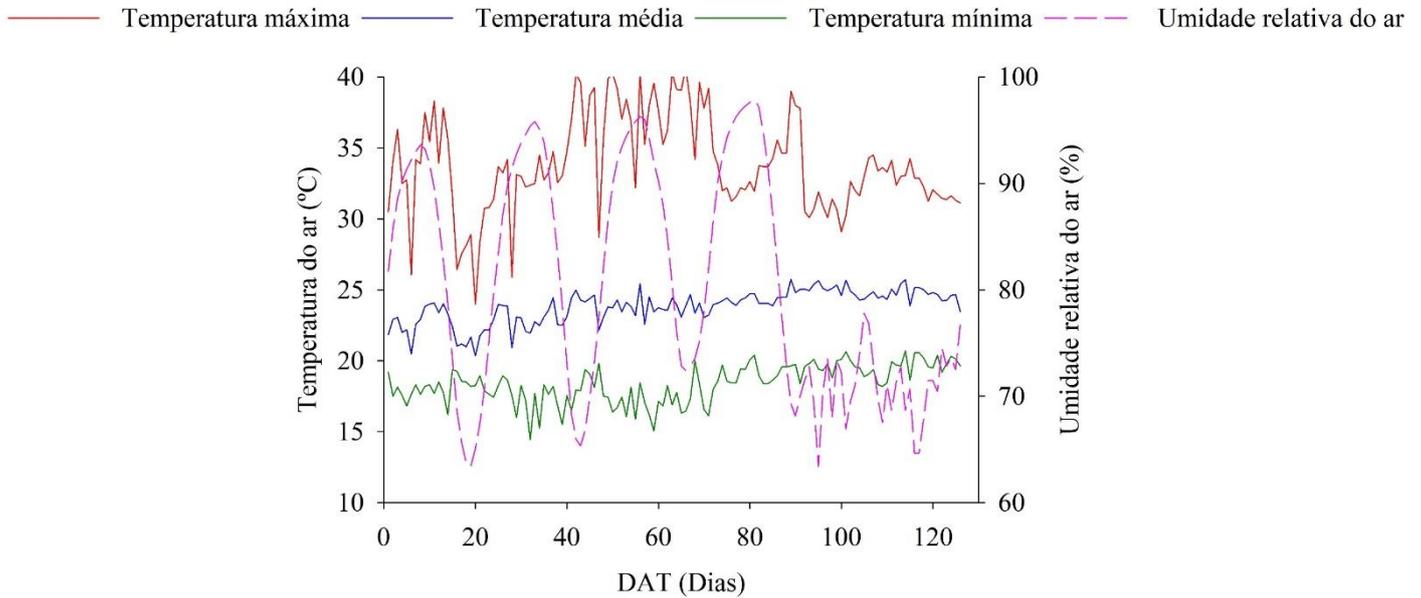


Fonte: autor (2023).

Os dados de temperatura média e umidade relativa média do local do experimento foram obtidos com uso de um *Smart Hygrometer Sunlink*[®] modelo Termômetro *Hygrometer Wireless Bluetooth* instalado dentro do ambiente protegido e programado para fazer registro a cada 10 minutos.

Na Figura 17 pode ser observado os dados de temperatura máxima, média e mínima e umidade relativa do ar durante o período experimental.

Figura 17 – Temperatura máxima, média e mínima (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período experimental

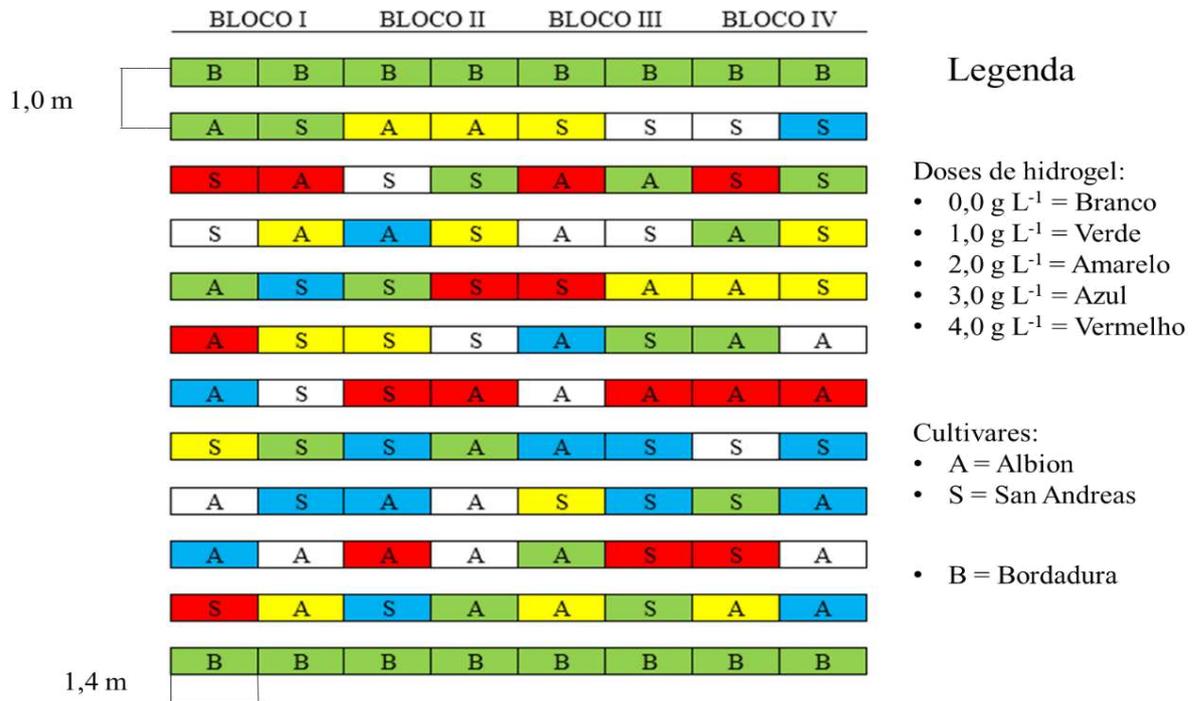


Fonte: autor (2023).

5.2.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi de blocos aleatorizados, arranjados em esquema fatorial 5 x 2, referentes a cinco concentrações de hidrogel (0,0; 1,0; 2,0; 3,0 e 4,0 g L⁻¹ de substrato) e duas cultivares de morango (Albion e San Andreas), com 4 repetições (Figura 18). A unidade experimental foi composta por dois sacos para cultivo (*slab*), com treze plantas por saco, totalizando 26 plantas por unidade experimental e 1.040 plantas no total.

Figura 18 – Croqui experimental em blocos aleatorizados



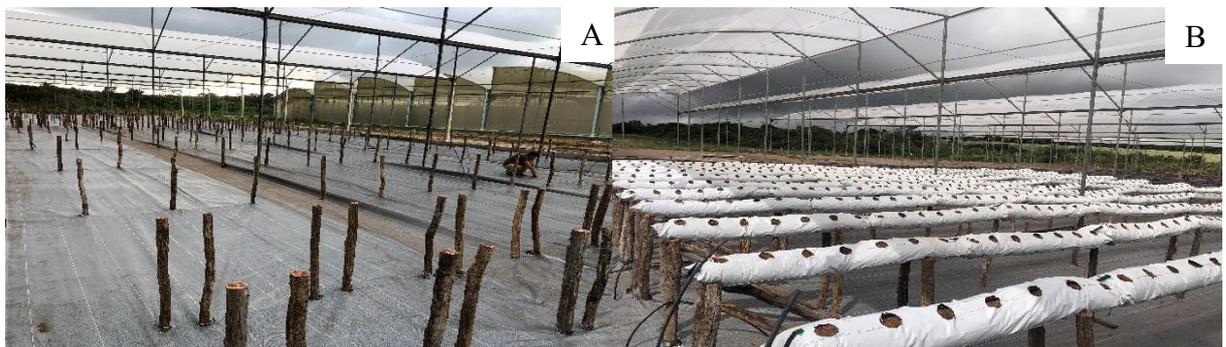
Fonte: autor (2023).

5.3 Instalação e condução do experimento

5.3.1 Instalação

O experimento ocorreu em sacos de polietileno de 250 nomeados como “slabs”, com tonalidade externa branca e interna preta, com dimensões (1,40 m x 30 cm), preenchido com aproximadamente 25 litros de substrato comercial de fibra de coco. Os *slabs* ficaram suspensos em bancadas de madeira com altura de 70 cm. As bancadas ficaram espaçadas a 1,0 m (Figura 19A e B).

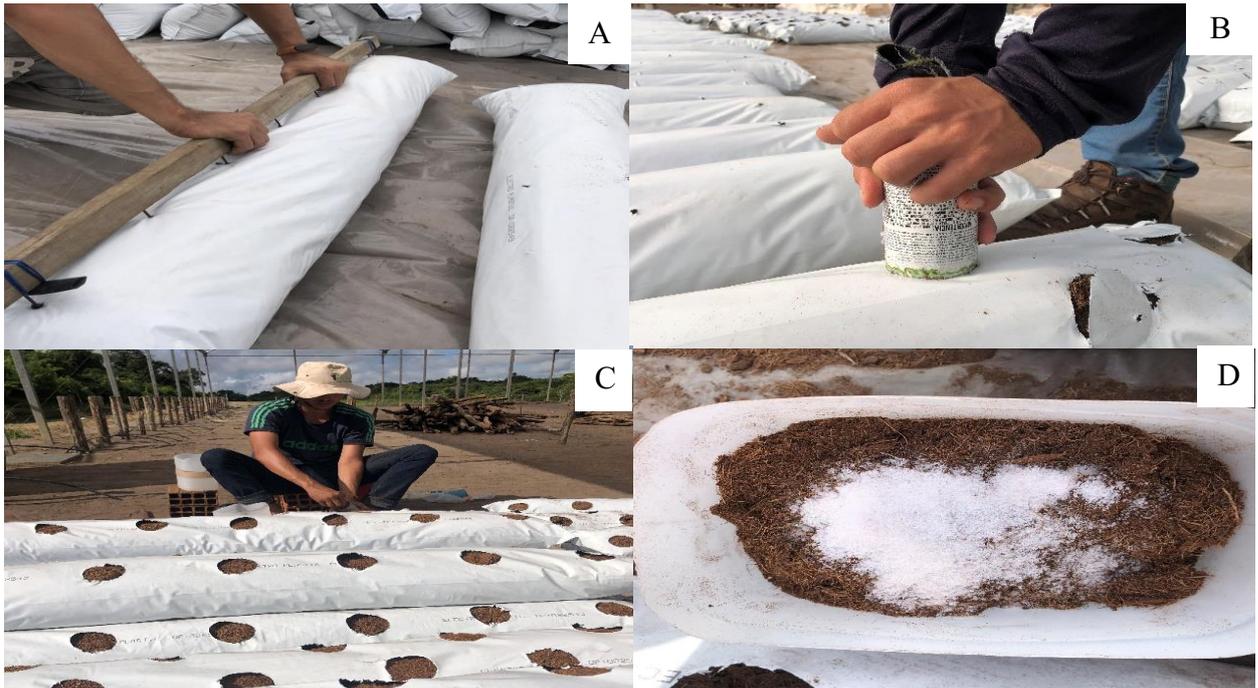
Figura 19 – Bancadas de madeiras (A) e distribuição dos *slabs* na área experimental (B)



Fonte: autor (2023).

As concentrações de hidrogel no substrato foram obtidas a partir da retirada e homogeneização de 300 mL de substrato retirado por cova de plantio, totalizando 13 covas por saco de cultivo com hidrogel Polyter[®] seco (Figura 20A, B, C e D).

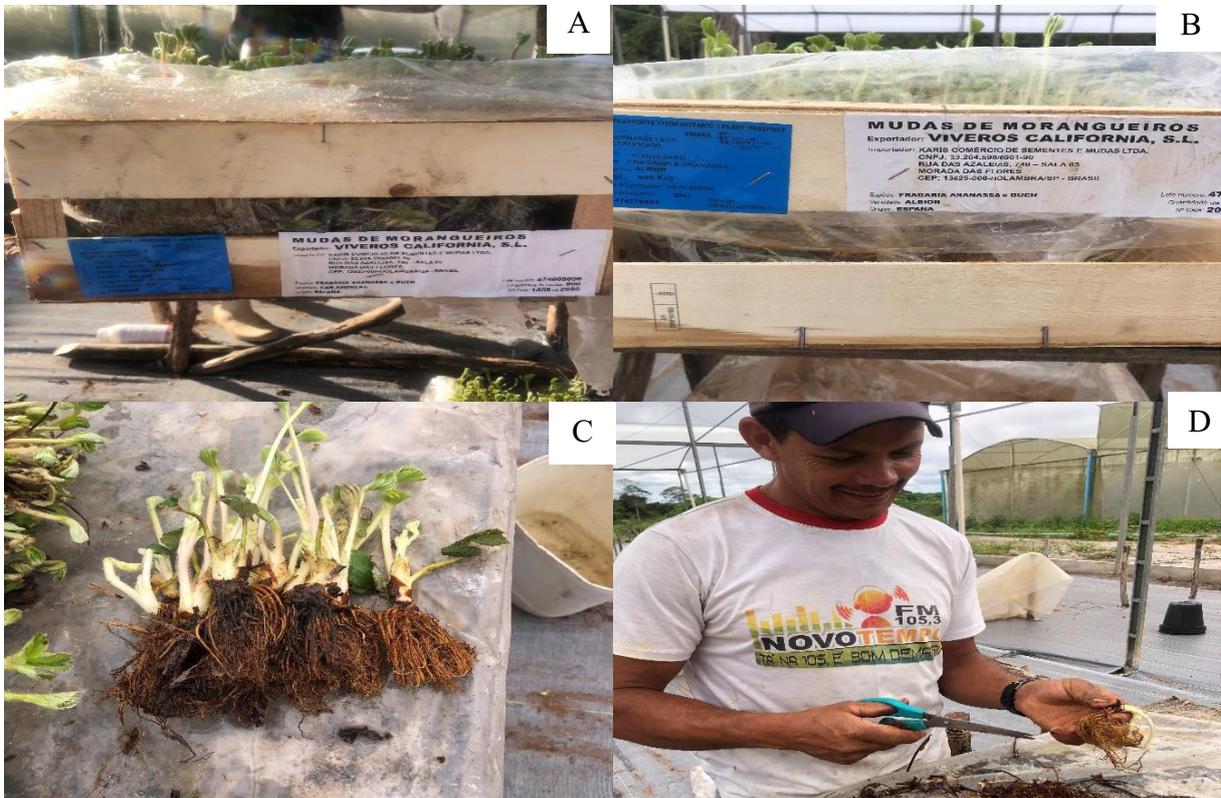
Figura 20 – Demarcação das covas no *slab* (A), realizando as covas no *slab* (B), retirada do substrato da cova (C) e processo de homogeneização (D)



Fonte: autor (2023).

As mudas de morango foram adquiridas na empresa Viveiros California S.L (Figura 21A e B). As mesmas foram transportadas em caixotes de madeira, acondicionadas em caminhão refrigerado e transportadas para Serra da Ibiapaba. Antes do transplante das mudas, foi realizada uma limpeza na coroa e o corte do sistema radicular (Figura 22C e D), deixando-o com aproximadamente 4 cm de comprimento. Além disso, as raízes das mudas foram mergulhadas em solução com RIDOMIL[®] (fungicida).

Figura 21 – Mudanças de morango da empresa Viveiros California S.L. (A e B), mudas de morango antes do processo de limpeza (C) e processo de limpeza das mudas (D)



Fonte: autor (2023).

As mudas foram dispostas em fileiras duplas e alternadas com espaçamento 20 cm x 15 cm, entre plantas e entre linhas (respectivamente), totalizando 26 mudas de morango por unidade experimental (Figura 22A e B).

Figura 22 – Distribuição das mudas de morango no *slab* (A) e processo de transplântio das mudas de morango (B)



Fonte: autor (2023).

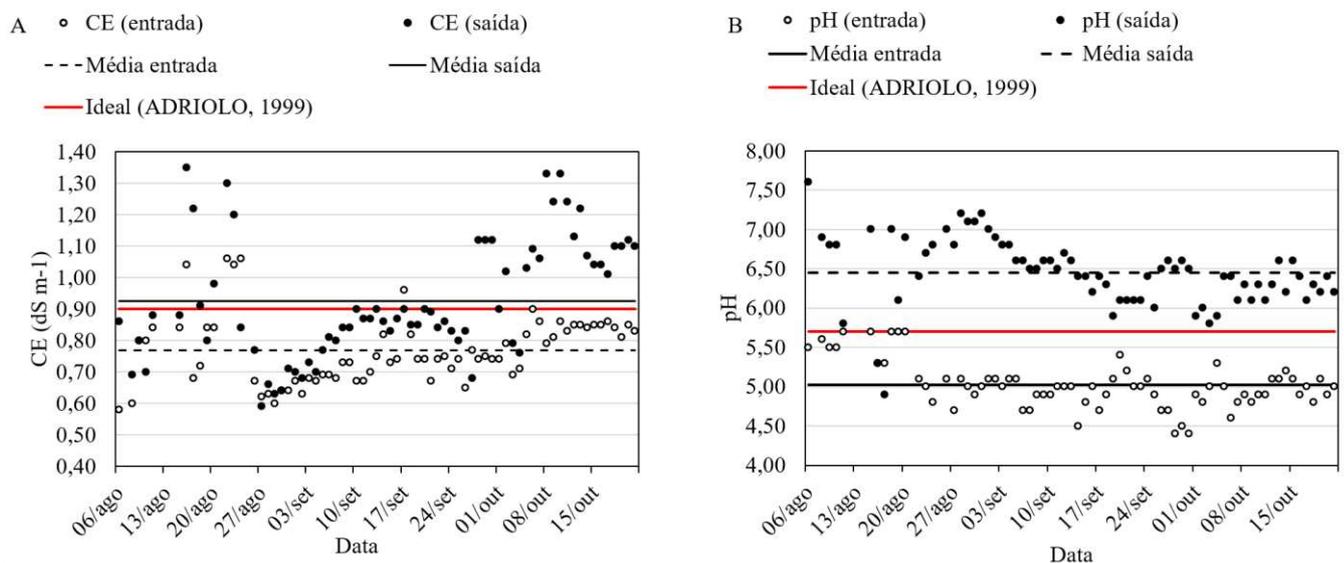
5.3.2 Manejo da fertirrigação

A fertirrigação ocorreu via solução nutritiva, seguindo a recomendação de Furlani e Fernandes-Júnior (2004). Utilizou-se um sistema aberto, em que a solução nutritiva foi armazenada em um reservatório com capacidade de 1.000 L (sulfatos e fosfatos) e outro em reservatório com capacidade de 200 L (nitrato de cálcio). A necessidade de dois reservatórios foi em virtude da incompatibilidade entre os fertilizantes que contêm cálcio e os que contêm fosfatos e sulfatos. A solução nutritiva foi fornecida via gotejamento (um emissor para cada duas plantas, com vazão de $1,6 \text{ L h}^{-1}$).

Foi realizado um balanço hídrico, onde foram aplicados pulsos de irrigação, variando a quantidade e o tempo em função do desenvolvimento das plantas e da condutividade elétrica da solução drenada (CEs), sendo estabelecido um valor limite da CEs $1,4 \text{ dS m}^{-1}$, conforme recomendação de Miranda *et al.*, (2014) e mantendo sempre o substrato na capacidade de campo.

Os pulsos de irrigação variaram de um a dois pulsos de quatro minutos nos primeiros 15 dias após o transplântio, até o máximo de quatro pulsos de cinco minutos por dia em média. Diariamente era coletado o volume drenado da solução, para o monitoramento da condutividade elétrica e pH, os quais foram ajustados sempre que necessário. Na Figura 23 podem ser observados os valores amostrais de entrada e saída da condutividade elétrica da solução nutritiva e pH.

Figura 23 – Condutividade elétrica (A) e pH (B) amostral da solução nutritiva



Fonte: autor (2023).

5.3.3 *Tratos culturais*

Após o transplântio, com o início do crescimento e desenvolvimento das mudas, realizou-se o desbaste das primeiras flores (Figura 23A e B) com finalidade de induzir as mudas se desenvolverem vegetativamente. Além disso, durante o período experimental e periodicamente foi realizada a limpeza da coroa de forma manual com auxílio de tesoura de podas, com objetivo de retirar folhas velhas ou que apresentassem sintomas de doenças ou deficiência nutricional (Figura 23C). Aos 60 DAT realizou-se a retirada dos estolões com a intuito de instigar as plantas iniciar o estágio reprodutivo (Figura 23D).

Figura 24 – Mudas das cultivares de morango emergindo flores (A e B), limpeza da coroa das plantas de morango (C) e corte dos estolões (D)



Fonte: autor (2023).

Com relação ao controle fitossanitário, foi instalado armadilhas adesivas amarelas e azuis na área com objetivo de monitorar o surgimento de insetos e tripés. Além disso, foi inserido na área ovos de parasitoide do gênero *Trichogramma*, com a finalidade de controle

de insetos-pragas. Como também, semanalmente foi realizado aplicações de defensivos agrícolas recomendados para cultura, por meio de pulverizações com auxílio de bombas costais de 20L com bico tipo cheio.

5.4 Variáveis analisadas

5.4.1 Trocas gasosas e índices fisiológicos

Aos 90 DAT, foram realizadas leituras das trocas gasosas foliares. As medições das trocas gasosas ocorreram das 8:00 às 10:00 horas (manhã), em duas plantas por unidade experimental e em folhas completamente expandidas (Figura 24A e B), sendo quantificadas as seguintes variáveis: condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de assimilação de CO_2 (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de carbono (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), utilizando-se analisador infravermelho de gases IRGA (modelo LCi, ADC, *BioScientific*, Inglaterra). Nas horas que antecederam e durante as avaliações supramencionadas não foi realizado irrigação.

Com os dados de trocas gasosas foliares, foram determinados os seguintes índices fisiológicos:

- I. eficiência instantânea no uso da água (A/E);
- II. eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e
- III. eficiência da carboxilação instantânea (A/C_i).

Figura 25 – Mensuração das variáveis filológicas em cultivares de morango (A e B)



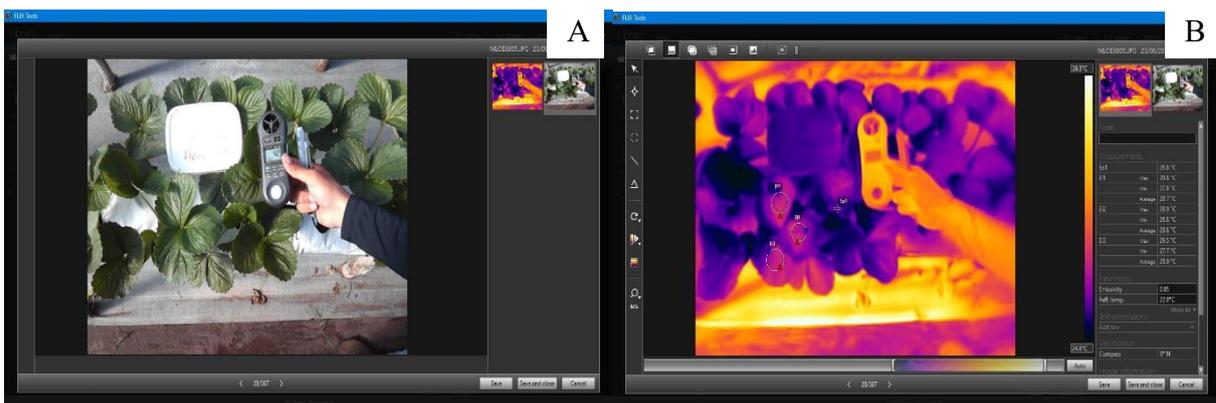
Fonte: autor (2023).

5.4.2 Temperatura do dossel, temperatura do ar e índice térmico

Aos 90 DAT, foram quantificados: a temperatura do dossel e a temperatura do ar. Com relação à temperatura do dossel, utilizou-se uma câmera termográfica (FLIR ONE PRO®) com sensibilidade térmica entre -20 e 120 °C, com precisão de ± 3 °C, resolução térmica de 160×120 pixels e emissividade em 0,95. A obtenção das imagens térmicas ocorreu entre as 08:00 às 10:00 horas (manhã), sem sombreamento de nuvens, a uma distância de 1,0 m das plantas e nas mesmas folhas utilizadas para obtenção das trocas gasosas.

As imagens térmicas foram analisadas no software FLIR Tools (Figura 25A e B) para obtenção da temperatura média do dossel. Para determinar a temperatura térmica média do dossel da planta do morangueiro foi aplicada a ferramenta elipse. A utilização desta ferramenta possibilitou marcar três pontos de interesse na imagem termométrica do dossel, e posteriormente, foi realizado o cálculo da média de todos os pontos, tendo como resultado um valor térmico estimado representativo de todo o dossel do morango.

Figura 26 – Imagens sendo analisadas com utilização do software FLIR Tools (A e B)



Fonte: autor (2023).

Com relação à obtenção dos dados da temperatura do ar (°C), utilizou-se um termo-higrômetro (modelo THAL-300) posicionado ao lado de cada planta no momento da obtenção das imagens térmicas.

Após o processamento das imagens no software *FLIR Tools* e os dados de temperatura do ar foi determinado o índice térmico (ΔT), sendo estimado pela diferença entre a temperatura do dossel e a temperatura do ar (COSTA *et al.*, 2013):

$$\Delta(T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}}) = T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta(T_{\text{dossel}} - T_{\text{ar}})$ – Índice Térmico

T_{dossel} – Temperatura do dossel, °C;

T_{ar} – Temperatura do ar, °C.

5.4.3 Desempenho agrônômico e produtividade

As colheitas ocorrem entre os 110 e 135 DAT nas três plantas centrais das unidades experimentais (Figura 26A e B) e foram analisadas as seguintes variáveis:

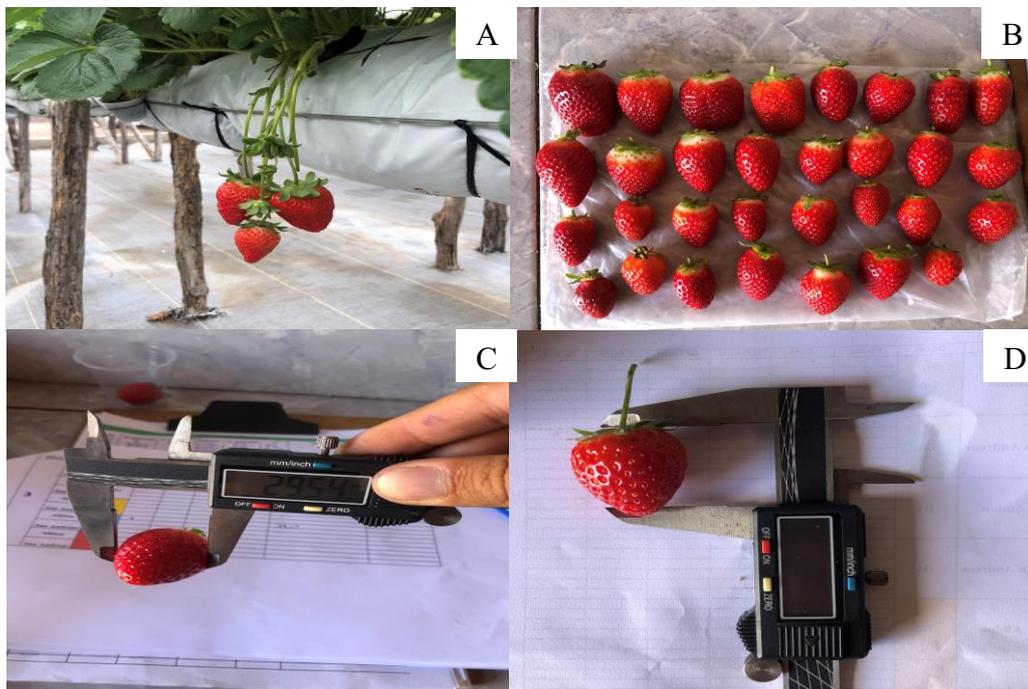
Número de morangos por planta (NM), determinado pela soma do total de morangos e posterior divisão pelo número de plantas, levando em consideração apenas os frutos comerciais, definidos como aqueles com $\geq 85\%$ de cor visual avermelhada;

Massa média dos morangos (MM), obtida em balança digital nas diferentes datas de colheita por planta

O comprimento (CM) (Figura 26C) e diâmetro do morango (DM) (em milímetros) (Figura 26D) foram obtidos com auxílio de um paquímetro digital.

A produtividade foi estimada pela massa média dos frutos em função do número de plantas por unidade experimental, expressos em kg ha^{-1} .

Figura 27 – Frutos de morango (A e B), diâmetro (C) e comprimento do fruto de morango (D)



Fonte: autor (2023).

5.5 Análises estatísticas

Para analisar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de *Kolmogorov-Smirnov* ($p \leq 0,05$) seguido da análise de variância. Nos casos de significância, para concentração de hidrogel ou interação entre os fatores, foram realizadas análises de regressão polinomial. E nos casos de significância para as cultivares de morango, as médias foram submetidas ao teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$), utilizando o software *Assistat 7.7 Beta* (SILVA; AZEVEDO, 2016).

5.6 Resultados e discussão

5.6.1 Variáveis de trocas gasosas, índices fisiológicos e índice térmico aos 90 DAT

A condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO_2 , eficiência intrínseca do uso da água e eficiência instantânea no uso da água apresentaram efeito significativo para fator cultivar. Com relação ao efeito das concentrações de hidrogel,

verificou-se ajuste ao modelo de regressão linear para condutância, transpiração, CO₂ interno e eficiência intrínseca do uso da água. Assim como, interação significativa para os fatores concentrações de hidrogel no substrato e cultivares para o índice térmico aos 90 DAT.

Ao analisar a condutância estomática, a transpiração e a concentração interna de CO₂ aos 90 DAT em função do fator cultivar, notou-se diferença entre as cultivares de 18,75; 7,72 e 5,60%, respectivamente. Isto é, os resultados demonstram que a cultivar Albion foi superior estatisticamente a cultivar San Andreas na condutância estomática, refletindo diretamente na transpiração e CO₂ interno (Tabela 3).

Tabela 3 – Condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*), concentração interna de CO₂ e eficiência instantânea no uso da água (*A/E*) em plantas de morango aos 90 DAT em função do fator cultivar

Cultivares	Teste de <i>Tukey</i> ($p < 0,05$)			
	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>Ci</i>	<i>A/E</i>
Albion	0,38 a	5,30 a	249,42 a	3,56 b
San Andreas	0,32 b	4,92 b	236,20 b	3,84 a

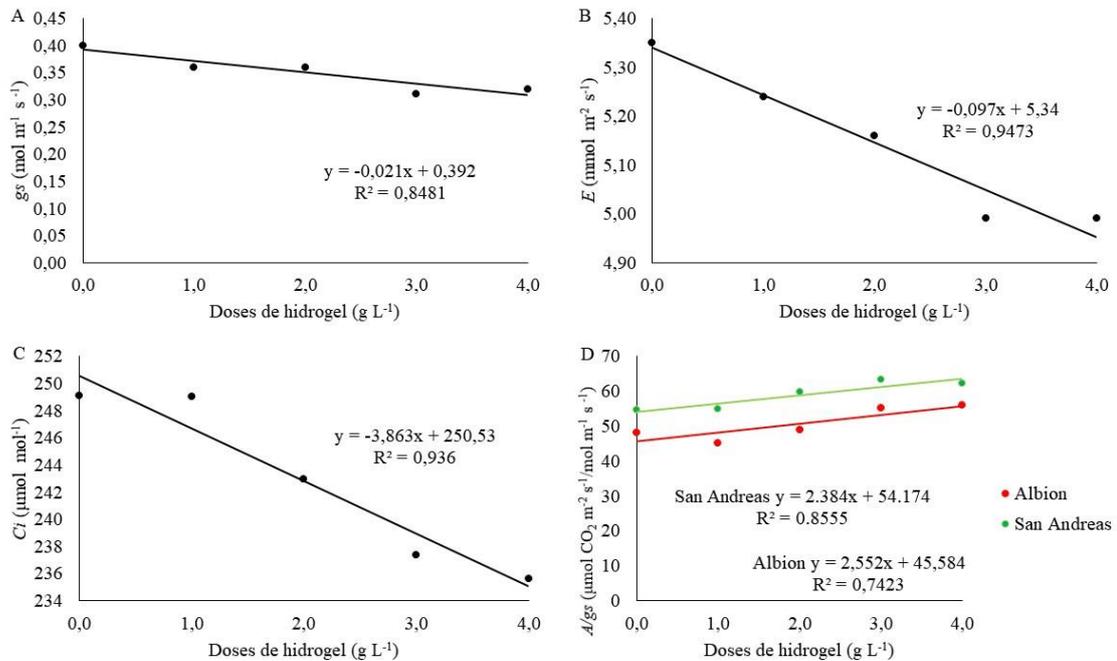
Valores médios seguidos pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* ($p \leq 0,05$)

As repostas dos estômatos podem diferir entre culturas da mesma espécie, sendo influenciado por fatores ambientais, como umidade do solo, temperatura e intensidade de luz (BERTOLINO *et al.*, 2019). Silva *et al.*, (2019) estudaram as trocas gasosas e crescimento de cultivares de algodoeiro sob salinidade da água e verificaram que condutância estomática diferiu significativamente entre as cultivares de algodão, independentemente da salinidade da água de irrigação.

Com relação à eficiência instantânea do uso da água em função do fator cultivar, verificou-se que a cultivar San Andreas foi superior estatisticamente a cultivar Albion (Tabela 3). Hatfield e Dold (2019) descrevem que a *A/E* é um parâmetro utilizado para identificar genótipos eficientes no uso da água sob regimes climáticos em mudança, estresse por déficit de calor e água e interações entre eles.

Diferentemente dos 60 DAT (Figura 13A), a condutância estomática aos 90 DAT apresentou comportamento linear decrescente em função das concentrações de hidrogel no substrato (Figura 28A), e conforme a equação verificou-se uma diferença de 21,42% entre as plantas que foram cultivadas sem a presença de hidrogel (0,0 g L⁻¹) e as plantas que foram cultivadas sob a maior concentração de hidrogel (4,0 g L⁻¹).

Figura 28 – Condutância estomática (A), transpiração (B) e concentração interna de CO₂ em função de diferentes concentrações de hidrogel no substrato (C), e eficiência intrínseca do uso da água em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango aos 90 DAT (D)



Fonte: autor (2023).

Segundo Mikiciuk e Mikiciuk (2010), uma concentração alta de hidrogel pode prejudicar as relações hídricas, em virtude do acúmulo de substâncias tóxicas. Além disso, os mesmos autores descrevem que os hidrogéis podem competir por água com as plantas cultivadas. Desta forma, essas afirmações possivelmente justificam a redução e a resistência estomática aos 90 DAT.

Em contraste ao presente estudo, Pedroza-Sandoval *et al.*, (2017) observaram que o aumento da aplicação do hidrogel aumentou o teor de umidade do solo em 20,8% em relação ao controle, promovendo aumento da condutância estomática na cultura do milho.

Em função da restrição parcial dos estômatos, a transpiração do morangueiro reduziu linearmente com aumento da concentração polímero hidrorretentor no substrato (Figura 28B). Em conformidade com a equação, no tratamento testemunha ($0,0 \text{ g L}^{-1}$) a transpiração foi de $5,35 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e na maior dose ($4,0 \text{ g L}^{-1}$) $4,99 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ representando uma diferença de 7,26%.

Algumas espécies agrícolas submetidas a condições adversas reduzem a transpiração foliar devido à baixa abertura estomática, acarretando menor absorção de água e

nutrientes, uma vez que, a transpiração tende a originar uma pressão negativa na parte aérea vegetal que só pode ser equilibrada através de uma absorção de água pelas raízes (ROQUE *et al.*, 2022).

Resultados semelhantes aos obtidos no presente estudo foram encontrados por Araújo *et al.*, (2022), que observaram na cultura do maracujá uma diminuição de forma linear na taxa de transpiração, na proporção de $1,118 \text{ mmol m}^2 \text{ s}^{-1}$ por unidade de incremento do hidrogel.

A concentração interna de CO_2 aos 90 DAT (Figura 28C) apresentou um comportamento linear decrescente com aumento das concentrações de hidrogel no substrato, onde o desdobramento da equação demonstrou uma diferença de 6,16% entre as plantas que foram cultivadas sem a presença de hidrogel e cultivadas sob a maior concentração ($4,0 \text{ g L}^{-1}$).

Em ambientes prejudiciais, as plantas reduzem a condutância estomática para diminuir a perda de água para atmosfera através do fluxo transpiratório, em razão de efeitos secundários, como, por exemplo, a indução da acumulação de ácido abscísico (ABA) (TAIZ *et al.*, 2017). No entanto, essa estratégia reduz a assimilação e difusão de CO_2 que possivelmente pode afetar os processos fotossintéticos (SHABALA, 2017).

Beltramin *et al.*, (2020) ao estudarem o polímero hidroretentor em diferentes regimes hídricos na cultura da *Schinus terebinthifolia* verificaram que até o início do retorno diário da irrigação a concentração intercelular de CO_2 manteve-se semelhante em todos os regimes hídricos com ou sem a presença de hidrogel.

Para eficiência intrínseca do uso da água aos 90 DAT, constatou-se uma interação entre os fatores, onde as culturas responderam de forma linear e positivamente (Figura 27D). Conforme a equação, a cultivar San Andreas no tratamento testemunha ($0,0 \text{ g L}^{-1}$) apresentou uma A/gs de $54,58 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ e nas concentrações mais altas de hidrogel no substrato ($3,0$ e $4,0 \text{ g L}^{-1}$) a A/gs foi de $63,28$ e $62,28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$, respectivamente, correspondendo a uma diferença de 13,20 e 17,60%, respectivamente.

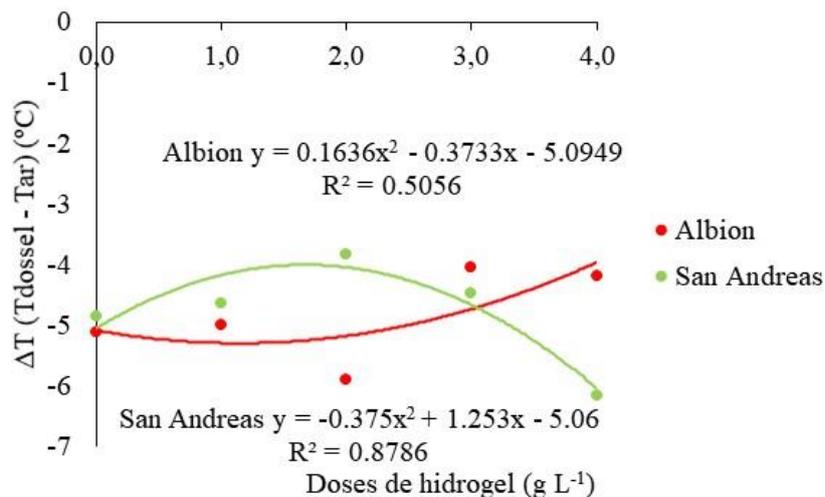
Semelhantemente a cultivar San Andreas, a cultivar Albion apresentou valor inferior $48,16 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ no tratamento testemunha ($0,0 \text{ g L}^{-1}$) e valor superior $55,88 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$ na maior concentração de hidrogel no substrato ($4,0 \text{ g L}^{-1}$), com diferença de 16,79%.

Uma possível explicação para o maior valor da eficiência intrínseca do uso da água em função do incremento da concentração de hidrogel no substrato pode estar relacionado a uma possível adaptação das cultivares em manter um uso eficiente da água em

condições adversas, com redução da condutância estomática e manutenção da fotossíntese (ZHANG *et al.*, 2019; HAWORTH *et al.*, 2021).

Com relação ao índice térmico do morangueiro aos 90 DAT (Figura 29), verificou-se que houve interação entre as diferentes concentrações de hidrogel e cultivares e distintas respostas em modelos polinomiais quadráticos com aumento das concentrações do polímero no substrato, sem contudo haver significância para nenhum dos dois fatores. O modelo polinomial quadrático para cultivar a San Andreas demonstrou um valor mínimo observado de $-3.85\text{ }^{\circ}\text{C}$ e máximo observado de $-6.18\text{ }^{\circ}\text{C}$ para as doses 2,0 e 4,0 g L^{-1} , respectivamente. Por outro lado, a cultivar Albion apresentou um valor mínimo observado de $-4.06\text{ }^{\circ}\text{C}$ e máximo observado de $-5.92\text{ }^{\circ}\text{C}$ para as concentrações 3,0 e 2,0 g L^{-1} , respectivamente.

Figura 29 – Índice térmico do morango em função da interação entre concentrações de hidrogel no substrato e diferentes cultivares de morango aos 90 DAT



Fonte: autor (2023).

O resfriamento da folha ocorre quando a energia térmica é atraída para a folha por meio da evaporação. Este efeito de resfriamento permite uma redução na temperatura e atenuação do índice térmico (TAIZ *et al.*, 2017).

Desta forma, os resultados demonstraram que as plantas da cultivar San Andreas cultivadas sob 4,0 g L^{-1} e Albion sob uma concentração de 2,0 g L^{-1} possuíam o menor índice térmico. Possivelmente, os ambientes que essas plantas estavam sendo cultivadas promoveu condições favoráveis para maior abertura estomática e transpiração, resultando em menor índice térmico (COSTA *et al.*, 2019).

Gerhards *et al.*, (2019) descrevem que o infravermelho é uma termal técnica estabelecida para detectar estresse abiótico pré-visual, porém, por si só não pode estimar diretamente o estado fisiológico das plantas cultivadas.

5.6.2 Variáveis do desempenho agrônomico e produtividade

A análise de variância demonstra que nenhuma das variáveis avaliadas na produção apresentou efeito significativo (Tabela 4), seja pelas concentrações de hidrogel no substrato e/ou cultivares ou interação.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância para o número de morangos por planta (NM), diâmetro dos morangos (DM) e comprimento dos morangos (CM); massa média dos morangos, (MM) e produtividade (Prod) de cultivares de morango submetidas a diferentes concentrações de hidrogel

Fator de variação	Quadrado médio					
	GL	NM	DM	CM	MM	Prod
C hidrogel (CH)	4	0,28 ^{ns}	2,50 ^{ns}	3,76 ^{ns}	31,19 ^{ns}	58857,34 ^{ns}
Cultivares (C)	1	0,48 ^{ns}	0,10 ^{ns}	18,61 ^{ns}	17,69 ^{ns}	13254,47 ^{ns}
CH x C	4	0,18 ^{ns}	9,43 ^{ns}	20,71 ^{ns}	26,16 ^{ns}	42476,11 ^{ns}
Bloco (B)	3	0,27 ^{ns}	29,03 ^{ns}	27,18 ^{ns}	250,67 ^{ns}	167065,89 ^{ns}
Resíduo	27	0,28	11,44	15,77	117,87	114807,11
Total	39					

GL = Graus de liberdade; (--) Os tratamentos são quantitativos. O Teste F não se aplica; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$) e ns não significativo ($p \geq .05$).

Como mencionado anteriormente no resumo da análise de variância (Tabela 4), não foram encontradas diferenças significativas em relação ao número de morangos por plantas (Tabela 5). Esse resultado pode ser atribuído alguns fatores, como atraso na retirada dos estolões e curto período de colheita ocorrido no experimento. O curto espaço de colheita foi devido a problemas não experimentais que impediram a continuação da colheita. Por outro lado, os estolões são considerados sumiduros que apresentam um alto grau de competitividade por assimilados, água e nutrientes com as flores e frutos em desenvolvimento (SØNSTEBY *et al.*, 2021; MORRISON *et al.*, 2018).

Tabela 5 – Número de morangos por planta (NM), diâmetro dos morangos (DM) e comprimento dos morangos (CM); massa média dos morangos (MM) e produtividade (Prod) em função de cultivares de morango.

Cultivares	NM	DM (mm)	CM (mm)	MM (g)	Prod. (g m ²)
Albion	1,81 a	29,76 a	36,74 a	30,62 a	590,52 a
San Andreas	1,59 a	29,86 a	38,11 a	31,95 a	554,11 a

Médias seguidas pela mesma letra não indicam diferenças significativas entre si pelo teste de *Tukey* em $p \leq 0,05$.

O atraso da retirada dos estolões também contribuiu com o início tardio do período de produção e colheita. Segundo Cantillano e Silva (2010), a colheita normalmente inicia cerca de 60 a 80 dias após o plantio das mudas e pode se estender por quatro a seis meses, dependendo das condições climáticas, tipo de solo, cultivar e práticas culturais. No entanto, no presente estudo, a colheita começou entre 110 e 135 dias após o plantio (DAT), ocorrendo em um período significativamente mais curto, de apenas 20 dias.

Diferentemente ao resultado encontrado no presente estudo, Cocco *et al.*, (2020), verificaram uma quantidade média de morangos por planta foi superior a 20, valor superior em mais de 10 vezes às obtidas no presente trabalho, em um período superior a quatro meses. Castro (2017) também estudando as cultivares Albion e San Andreas em *slabs*, obteve para a variável NM, valores de 6,3 e 3,8 para SAN e ALB, respectivamente, sem diferença significativa entre cultivares.

Apesar da não diferença significativa no diâmetro médio das frutas de morangueiro, verificou-se para a cultivar Albion um valor de 29,7 mm e 29,8 mm para cultivar San Andreas, apresentando um bom tamanho (Tabela 5). Esses valores são superiores aos obtidos por Castro (2017), que cultivou em três sistemas diferentes e obteve uma média de 14,27 mm para produção em *slabs*. Ao analisar as cultivares, verificou-se que o diâmetro foi de 16,9 mm para SAN e 18,82 mm para ALB, não havendo diferença estatisticamente significativa entre as culturas.

Becker *et al.*, (2020) obtiveram valores de diâmetro médio de 39,54 mm para Albion e de 40,75 mm para San Andreas, com valor máximo de 42,70 mm, quando observaram a variação originada dos tratamentos utilizados (diferentes soluções nutritivas).

Os resultados obtidos para o comprimento das frutas do morangueiro foram de 36,74 mm para a cultivar Albion e 38,11 mm para a cultivar San Andreas (Tabela 5). Esses valores indicam que, em um período de colheita curto, as variações no comprimento das frutas podem não ocorrer significativamente devido às condições de cultivo. No entanto, se a

colheita fosse realizada ao longo de um período mais prolongado, é provável que houvesse uma maior variação no desempenho agrônômico do morangueiro, influenciado por fatores edafoclimáticos e parâmetros genéticos da cultura (CHIOMENTO *et al.*, 2021).

Em estudos com soluções nutritivas, verificou-se que o comprimento das frutas do morangueiro foi maior na cultivar San Andreas nos dois ciclos avaliados, com medidas de 59,11 mm em 2018 e 39,67 mm em 2019 (BECKER *et al.*, 2020). Já para a cultivar Albion, foram observados 56,03 mm em 2018 e 36,59 mm em 2019 de forma geral, valores superiores aos obtidos neste estudo.

Richter *et al.*, (2017) observaram comprimentos de 44 mm para a cultivar San Andreas e 41 mm para a cultivar Albion ao analisar a produção de morangueiros em diferentes sistemas de cultivo. Essas diferenças no tamanho das frutas entre as cultivares Albion e San Andreas são influenciadas pelo fator genético. Como destacado por esses estudos, comumente existe tal diferença e o que pode explicar a falta de diferenças significativas de comprimento no presente estudo, possivelmente é o curto período de colheita.

De acordo com Zanin *et al.*, (2019) as características economicamente mais importantes para a cultura do morangueiro, como tamanho do fruto e teor de sólidos solúveis, são, em sua maioria, altamente variáveis entre os genótipos e influenciadas pelo ambiente.

Contribuindo para se considerar o curto período de colheita um fator impeditivo para se alcançar maior produtividade, e possivelmente assim diferenças estatísticas, podemos utilizar a comparação desses dados de massa média dos morangos com os obtidos por Cocco *et al.*, (2020). Os autores obtiveram MM de morango de 24,1 e de 25,5 gramas por fruta, para Albion e San Andreas, respectivamente. Aproximadamente 79% da massa obtida por pseudofruto no presente estudo (Tabela 5).

Esta observação é importante, pois o tamanho dos morangos influencia na sua comercialização. Uma cultivar pode ser até produtiva, entretanto se as frutas não tiverem potencial de comercialização in natura, pode resultar em um baixo valor agregado (WURZ *et al.*, 2019).

Apesar do valor encontrado no presente estudo ser superior ao valor encontrado no estudo de Cocco *et al.*, (2020), possivelmente os morangos obtidos no presente trabalho ainda poderiam alcançar maior massa. Tal fato, poderia ter ocorrido se os estolões tivessem sido retirados no período recomendado. Portz e Nonnecke (2010), observaram que a retirada

dos estolões aumentou o peso dos frutos da cultivar Albion e Tribute em comparação aos frutos da cultivar Seascape.

Com relação à produtividade do morangueiro em função das cultivares é possível observar que o baixo número de frutos por plantas devido ao curto período de colheita, influenciou diretamente o resultado, ou seja, contribuiu para que não houvesse diferença significativa entre as cultivares (Tabela 5).

Segundo Madail *et al.*, (2010) a produtividade média do morango pode atingir 30 t ha⁻¹ em ambientes abertos e mais de 45 t ha⁻¹ em ambientes protegidos, vale ressaltar que esses valores foram alcançados em uma colheita que dura mais de 5 meses (160 dias) em solo.

Relacionando o número médio de morangos por planta: 1,81 e 1,59 para Albion e San Andreas, com a massa média dos frutos de aproximadamente 31 g planta⁻¹; chegamos a um valor de produção por planta de aproximadamente 50 gramas, valores 10 vezes inferiores aos obtidos por Cocco *et al.*, (2020), e como isso refletiu diretamente na produtividade.

Outro fator que possivelmente contribuiu para baixa produtividade foi retirada tardia dos estolões, uma vez que, só ocorreu 60 DAT. A presença dos estolões e a retirada das inflorescências e flores possibilitaram exportação dos compostos produzidos pela fotossíntese para o crescimento vegetativo impedindo que o morangueiro entrasse no período reprodutivo (BLANKE, 2007).

Hughes *et al.*, (2016) estudaram os efeitos da remoção dos estolões na produtividade e no crescimento das plantas de cultivares de morango com dois dias neutros no Canadá e verificaram remoção dos estolões aumentou a produtividade total e comercial da cultivar Albion.

Nenhuma das concentrações de hidrogel no substrato influenciou o desempenho agrônomico das cultivares estudadas (Tabela 5), o que não foi observado durante o desenvolvimento vegetativo das mesmas plantas aos 30 e 60 DAT. O principal fator que contribuiu para não influência do hidrogel no rendimento produtivo do morangueiro foi o curto espaço de colheita. Isto significa que um maior período de colheita poderia expressar os efeitos positivos ou negativos do hidrogel.

Makowska *et al.*, (2005) verificando a influência do hidrogel na cultura do morango com outras cultivares, em diferentes tipos de solo, observaram aumento de fotossíntese e de evapotranspiração em plantas com dose igual a 3 g L⁻¹, e por sua vez na dose de 6 g L⁻¹ observaram influência negativa nas variáveis vegetativas e produtivas.

Mikiciuk e Mikiciuk (2010) utilizando o hidrogel, adicionados no substrato, para a cultura do morango da cultivar Elsanta, testaram duas doses (1,8 e 3,6 g L⁻¹). Os autores não verificaram nenhuma diferença significativa das doses de hidrogel nas variáveis, massa, diâmetro e comprimento dos morangos, entretanto a dose de 3,6 g L⁻¹ casou diminuição na produção total.

5.7 Conclusões

A cultivar Albion apresenta maior condutância estomática, transpiração e concentração interna de CO₂, porém, a cultivar San Andreas demonstrou maior eficiência instantânea no uso da água aos 90 DAT, independentemente das concentrações de hidrogel no substrato.

O incremento das concentrações de hidrogel no substrato reduziu a condutância estomática, transpiração, concentração interna de CO₂ aos 90 DAT, independentemente das cultivares.

As plantas da cultivar San Andreas apresentam maior eficiência intrínseca do uso da água e menor índice térmico com incremento das concentrações de hidrogel no substrato aos 90 DAT.

O desempenho agrônômico e produtividade das cultivares de morango cultivadas sob diferentes concentrações não apresentaram diferenças significativas no período avaliado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo conduzido na Empresa Estufa Timbaúba no município de Guaraciaba do Norte, no Estado do Ceará, permitiu verificar que o cultivo de cultivares neutras de morango sob concentrações de hidrogel no substrato em ambiente protegido, pode ser uma alternativa para adaptação e expansão da cultura em regiões de climas tropicais.

O hidrogel reduziu o índice térmico das cultivares de morango cultivadas em substrato, conseqüentemente, possibilitou um aumento no crescimento e desenvolvimento das plantas aos 60 dias após o transplântio (DAT). Entretanto, o incremento das concentrações de hidrogel no substrato causou efeitos deletérios nas trocas gasosas aos 90 DAT, independentemente das cultivares. Além disso, desempenho agrônômico e produtividade das cultivares de morango não apresentaram diferenças significativas para o período avaliado.

Desta forma, apesar do curto período de colheita, os resultados sob uma visão agrônômica, foram satisfatórios; principalmente, no sentido de propor uma alternativa para implantação de uma cultura de região temperada na região Nordeste. Porém, é necessário que haja novas pesquisas com a utilização de novas cultivares associadas ao uso do hidrogel no substrato na região Serra da Ibiapaba.

REFERÊNCIAS

- ABDALLAH, Ahmed M.; MASHAHEET, Alsayed M.; BURKEY, Kent O. Super absorbent polymers mitigate drought stress in corn (*Zea mays L.*) grown under rainfed conditions. **Agricultural Water Management**, v. 254, n. 1, p. 1-13, 2021.
- ABOBATTA, Waleed. Impact of hydrogel polymer in agricultural sector. **Advances in Agriculture and Environmental Science**, v.1, n. 2, p. 59-64, 2018.
- ADJUIK, Toby A.; NOKES, Sue E.; MONTROSS, Michael D.; WENDROTH, Ole. The Impacts of Bio-Based and Synthetic Hydrogels on Soil Hydraulic Properties: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 21, p. 4721, 2022.
- AHMED, Enas M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, v. 6, n. 2, p. 105-121, 2015.
- ANDRADE, Edilene Pereira. **Avaliação do ciclo de vida de hidrogéis para aplicação na agricultura**. 2016. 99f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2016.
- ANDRIOLO, Jerônimo Luiz; JÄNISCH, Djeimi Isabel; SCHMITT, Odair José; VAZ, Marcos André Braz; CARDOSO, Francieli Lima; ERPEN, Lígia. Concentração da solução nutritiva no crescimento da planta, na produtividade e na qualidade de frutas do morangueiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 684-690, mai./jun. 2009.
- ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; BONOW, Sandro; REISSER JÚNIOR, Carlos. Morango crescimento constante em área e produção. **Anuário Campo & Negócios - Hortifrúti**, v. 37, p. 88-92, 2020.
- ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; REISSER JÚNIOR, Carlos; BONOW, Sandro. Morango: produção aumenta ano a ano. **Anuário Campo & Negócios - Hortifrúti**, v. 1, p. 87-90, 2021.
- ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; REISSER JÚNIOR, Carlos; SCHWENGBER, José Ernani. **Morangueiro**. 1 ed. Brasília, DF: Embrapa Clima Temperado, 2016.
- ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; FAGHERAZZI, Antonio Felipe; VIGNOLO, Gerson Kleinick. Morangos tem produção crescente. **Anuário Campo & Negócios - Hortifrúti**, v.1, p. 96-102. 2017.
- AOUADA, Fauze Ahmad. **Síntese e caracterização de hidrogéis de poli(acrilamida e metilcelulose para liberação controlada de pesticidas)**. 2009. 124f. Tese. (Doutorado Ciências Exatas e da Terra) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, São Carlos, 2009.

ARAGÃO, Márcio F.; PINHEIRO NETO, Luis G.; VIANA, Thales V. de A.; MANZANO-JUAREZ, Juan; LACERDA, Claudivan F.; COSTA, James do N.; LIMA, Joilson S.; AZEVEDO, Benito M. Evaluation of crop water status of melon plants in tropical semi-arid climate using thermal imaging. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, n. 6, p. 447-456, 2023.

ARAGÃO, Márcio Facundo. **Utilização de imagens termométricas na estimativa do estado hídrico do meloeiro cultivado em solo com e sem cobertura vegetal**. 2019. 74f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2019.

ARAÚJO, Danila Lima de; SOUTO, Antônio Gustavo de Luna; CAVALCANTE, Adailza Guilherme; CAVALCANTE, Lourival Ferreira; PEREIRA, Walter Esfrain; MELO, Alberto Soares de. Physiological aspects of yellow passion fruit with use of hydrogel and mulching. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 2, p. 382-392, abr./jun. 2022.

BAHUGUNA, Rajeev N.; JAGADISH, Krishna S. Temperature regulation of plant phenological development. **Environmental and Experimental Botany**, v. 111, p. 83-90, mar. 2015.

BECKER, Tais Barbosa; SCHIAVON, Andressa Vighi; DELAZERI, Eloi Evandro; ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa. Qualidade de morangos em cultivo sem solo sob diferentes soluções nutritivas. **Scientia Rural**, v. 22, p. 1-17, 2020.

BECKER, Tais Barbosa. **Produção de morangos em sistema sem solo: frequência de irrigação, substrato, soluções nutritivas e regulador de crescimento**. 2020. 195f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Pelotas, 2020.

BEHERA, Sabyasachi; MAHANWAR, Prakash A. Superabsorbent polymers in agriculture and other applications: A review. **Polymer-Plastics Technology and Materials**, v. 59, n. 4, p. 341-356, 2020.

BELTRAMIN, Francisco A.; SILVA, Willian C.; SANTOS, Cleberton C.; SCALON, Silvana de P. Q.; VIEIRA, Maria do C. Water-retaining polymer mitigates the water deficit in *Schinus terebinthifolia*: photosynthetic metabolism and initial growth. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 40, n. 6, p. 684-691, nov./dec. 2020.

BERTOLINO, Ligia T.; CAINE, Robert S.; GRAY, Julie E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-11, mar. 2019.

BLANCO, Armando; GONZÁLEZ, Gema; CASANOVA, Euro; PIRELA, Maria E.; BRICEÑO, Alexander. Mathematical modeling of hydrogels swelling based on the finite element method. **Scientific Research**, v. 4, n. 8, p. 1-10. 2013.

BLAYA-ROS, Pedro José; BLANCO, Víctor; DOMINGO, Rafael; SOTO-VALLES, Fulgencio; TORRES-SÁNCHEZ, Roque. Feasibility of low-cost thermal imaging for

monitoring water stress in young and mature sweet cherry trees. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, p. 5461, 2020.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira; VIDAL, Maria de Fátima; LEÃO, Hellen Cristina Rodrigues Saraiva; XIMENES, Luciano J. F. Caracterização da produção de morangos na Serra da Ibiapaba, Estado do Ceará. **Informe Rural ETENE**, Banco do Nordeste do Brasil, n. 5, p. 1-18, 2015.

BUCKLEY, Thomas N. How do stomata respond to water status?. **New Phytologist**, v. 224, n. 1, p. 21-36, 2019.

CANTILLANO, Rufino Fernando Flores; SILVA, Médelin Marques da. **Manuseio Pós-Colheita de Morangos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 36p.

CASTRO, Hamilton Abraham Weimar. **Produção da cultura do morango semi-hidropônico em diferentes sistemas de cultivo**. 2017. 68f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, Mato Grosso, 2017.

CASTRO, Ricardo de Lima. Melhoramento genético do morangueiro: avanços no Brasil. *In*: 2º SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO; 1º ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL. 2004. Pelotas. **Anais [...]** Pelotas: EMBRAPA. 2004.

CENTRAIS DE ABASTECIMENTO DO CEARÁ. **CEASA**. 2021. Disponível em: <https://www.ceasa-ce.com.br/boletim-diario-de-precos/>. Acesso em: 16 out. 2021.

CHAGAS, Keivia Lino; VIANA, Thales Vinícius de Araújo; VASCONCELOS, Denise Vieira; SOUSA, Geocleber Gomes de; PEREIRA FILHO, João Valdenor. Agronomic performance of strawberry plants under growing environments and organomineral fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 48, n. 4, p. 331-339, oct./dez. 2018.

CHIOMENTO, José Luís Trevizan; LIMA JÚNIOR, Edemilton Paulo; D'AGOSTINI, Márlon; NARDI, Fabiola Stockmans de; TRENTIN, Tomás dos Santos; DORNELLES, Alana Grando; HUZAR-NOVAKOWISKI, Jaqueline; CALVETE, Eunice Oliveira. Horticultural potential of nine strawberry cultivars by greenhouse production in Brazil: A view through multivariate analysis. **Scientia Horticulturae**, v. 279, p. 109738, mar. 2021.

COCCO, Carine; SCHILDT, Gabriela Weber; GIACOMEL, Fernando; FAGHERAZZI, Antônio Felipe; ZANIN, Daniel Suck; KRETZSCHMAR, Aike Anneliese. Desempenho produtivo de genótipos de morangueiro de dia neutro na Serra Gaúcha. **Revista Eletrônica Científica da UERGS**, v. 6, n. 2, p. 155-163, 2020.

COSTA, J. Miguel; EGIPTO, Ricardo; SÁNCHEZ-VIROSTA., Álvaro; LOPES, Carlos Manuel; CHAVES, M. Manuela. Canopy and soil thermal patterns to support water and heat stress management in vineyards. **Agricultural Water Management**, v. 216, n. 11, p. 484-496, 2019.

COSTA, J. Miguel; GRANT, Olga M.; CHAVES, M. Manuela. Thermography to explore plant–environment interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3937-3949, 2013.

DIEL, Maria Inês; PINHEIRO, Marcos Vinicius Marques; COCCO, Carine; FONTANA, Daniele Cristina; CARON, Braulio Otomar; PAULA, Gizelli Maiano de; PRETTO, Matheus Millani; THIESEN, Leonardo Antônio; SCHMIDT, Denise. Phyllochron and phenology of strawberry cultivars from different origins cultivated in organic substrates. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 226-232, 2017.

DUARTE FILHO, Jaime; CUNHA, Rubens Jose Pietsch; ALVARENGA, Deny Alves; PEREIRA, Giuliano Elias; ANTUNES, Luis Eduardo Correa. Aspectos do florescimento e técnicas empregadas objetivando a produção precoce em morangueiros. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 198, p. 30-35, may./jun. 1999.

FAEDI, W.; BARUZZI, G. New Strawberry cultivars from italian breeding activity. **Acta Horticulturae**, v. 649, p. 81-84, 2004.

FAGHERAZZI, A. F.; GRIMALDI, F.; KRETZSCHMAR, A. A.; MOLINA, A. R.; GONÇALVES, M. A.; ANTUNES, L. E. C.; BARUZZI, G.; RUFATO, L. Strawberry production progress in Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 1, p. 937-940, 2017.

FAGHERAZZI, A. F.; ZANIN, Daniel Suek; SANTOS, M. F. Soares dos; LIMA, Juliana Martins de; WELTER, P. D.; RICHTER, Adrik Francis; NERBASS, Francine Regianini; KRETZSCHMAR, Aike Anneliese; RUFATO, L.; BARUZZI, G. Initial crown diameter influences on the fruit yield and quality of strawberry Pircinque. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 184, 2021.

FAGUNDES, Miriã Cristina Pereira; CRUZ, Maria do Céu Monteiro; CARVALHO, Raoni Pereira de; OLIVEIRA, Jéssica de; SOARES, Blenda Calazans. Polímero hidroabsorvente na redução de nutrientes lixiviados durante a produção de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 121-129, jan./mar. 2015.

FELIPPE, Dionéia; NAVROSKI, Marcio Carlos; SAMPIETRO, Jean Alberto; MOTA, Clenilso Sehnen; PEREIRA, Mariane de Oliveira; ALBUQUERQUE, Jackson Adriano; ANDRADE, Ramon Silveira de; MORAES, Carolina. Hydrogel and irrigation frequencies in survival, growth and gas exchanges in *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria v. 31, n. 4, p. 1569-1590, oct./dec. 2022.

FILGUEIRA, Fernando Antonio Reis. **Novo Manual de Olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2008.

FURLANI, Pedro Roberto; FERNANDEZ JÚNIOR, Flavio. Cultivo hidropônico de morango em ambiente protegido. *In*: 2º SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO; 1º ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL. 2004. Pelotas. **Anais [...]** Pelotas: EMBRAPA. 2004.

GARCIA, João A. F.; MOURA, Márcia R. de; AOUADA, Fauze A. Efeito do pH, espécie e concentração iônica na absorção de água de hidrogéis bionanocompósitos constituídos de cmc/Paam/laponita RDS. **Química Nova**, v. 42, n. 8, p. 831-837, 2019.

GARG, Sweta; GARG, Ashish. Hydrogel: Classification, properties, preparation and technical features. **Asian Journal of Biomaterial Research**, v. 2, n. 6, p. 163-170, 2016.
GERHARDS, Max; SCHLERF, Martin; MALLICK, Kaniska; UDELHOVEN, Thomas. Challenges and future perspectives of multi-/Hyperspectral thermal infrared remote sensing for crop water-stress detection: A review. **Remote Sensing**, v. 11, n. 10, p. 1240, 2019.

HANCOCK, James F. **Strawberries**. 2 ed. Michigan: USA: Michigan State University, CABI, 2020.

HARRISON, Emily L.; ARCE CUBAS, Lucia; GRAY, Julie E.; HEPWORTH, Christopher. The influence of stomatal morphology and distribution on photosynthetic gas exchange. **The Plant Journal**, v.101, n. 4, p. 768-779, 2020.

HATFIELD, Jerry L.; DOLD, Christian. Water-use efficiency: advances and challenges in a changing climate. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 103, 2019.

HAVRILYUK, M.; FEDORENKO, V.; ULIANYCH, O.; KUCHER, I.; YATSENKO, V.; VOROBIOVA, N.; LAZARIEV, O. Effect of superabsorbent on soil moisture, productivity and some physiological and biochemical characteristics of basil. **Agronomy Research**, v. 19, n. 2, p. 394-407, 2021.

HAWORTH, Matthew; MARINO, Giovanni; LORETO, Francesco; CENTRITTO, Mauro. Integrating stomatal physiology and morphology: evolution of stomatal control and development of future crops. **Oecologia**, v. 197, n. 4, p. 867-883, 2021.

HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Nelda R.; BLANCHARD, Caroline; WELLS, Daniel; SALAZAR-GUTIÉRREZ, Melba R. Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. **Scientia Horticulturae**, v. 312, p. 111893, mar. 2023.

HUGHES, B. R.; ZANDSTRA, John; TAGHAVI, Toktam; DALE, Adam. Effects of runner removal on productivity and plant growth of two day-neutral strawberry cultivars in Ontário, Canadá. *In: VIII INTERNATIONAL STRAWBERRY SYMPOSIUM, 2016, Québec City. Anais [...]* Québec City: International Society for Horticultural Science, 2016. p. 327-332.

HUSAINI, Amjad M.; NERI, Davide. **Strawberry: growth, development and diseases**. 1 ed. Massachusetts, USA: CABI, 2016.

IFTIME, Manuela Maria; AILIESEI, Gabriela Liliana; UNGUREANU, Elena; MARIN, Luminita. Designing chitosan based eco-friendly multifunctional soil conditioner systems with urea controlled release and water retention. **Carbohydrate Polymers**, v. 223, p. 115040, 2019.

ILHA, Luciano Larruscahim Hamilton. Produção de morango semi-hidropônico. *In: VII SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS, 7., 2013, Vacaria. Anais [...]*. Vacaria: Embrapa Uva e Vinho, 2013. p.16-22. Disponível em: chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bits/tream/doc/1011623/1/anaispequenasfrutasminicursos2013.pdf. Acesso em: 6 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**. 2017. Censo agropecuário. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6953>. Acesso em: 6 out. 2021.

JONES, Hamlyn G.; SERRAJ, Rachid; LOVEYS, Brian R.; XIONG, Lihong; WHEATON, Ashley; PRICE, Adam H. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. **Functional Plant Biology**, v. 36, n. 11, p. 978-989, 2009.

KAUR, Gurpreet; SINGH, Gurbir; MOTAVALLI, Peter P.; NELSON, Kelly A.; ORLOWSKI, John M.; GOLDEN, Bobby R. Impacts and management strategies for crop production in waterlogged or flooded soils: A review. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 1475-1501, 2020.

KILIC, Neslihan; BURGUT, Aysegul; GÜNDESLI, Muhammet Ali; NOGAY, Gozde; ERCISLI, Sezai; KAFKAS, Nesibe Ebru; EKIERT, Halina; ELANSARY, Hosam O.; SZOPA, Agnieszka. The Effect of Organic, Inorganic Fertilizers and Their Combinations on Fruit Quality Parameters in Strawberry. **Horticulturae**, v. 7, n. 10, p. 354, 2021.

KOEPPEN, Wilhelm. **Climatologia**: com un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Economica, 1948. 478p.

KUMAR, Rakshith; NADUKERI, Sadashiv; KOLAKAR, Shashikala S.; HANUMANTHAPPA, M.; SHIVAPRASAD, M.; DHANANJAYA, B. N. Effect of hydrogel on growth, fresh yield and essential oil content of ginger (*Zingiberofficinale Rosc.*). **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 3, p. 482-485, 2018.

LAWSON, Tracy. Guard cell photosynthesis and stomatal function. **New Phytologist**, v. 181, n. 1, p. 13-34, 2009.

LAWSON, Tracy; MATTHEWS, Jack. Guard cell metabolism and stomatal function. **Annual Review of Plant Biology**, v. 71, p. 273-302, 2020.

LI, Qingming; WEI, Min; LI, Yiman; FENG, Gaili; WANG, Yaping; LI, Shuhao; ZHANG, Dalong. Effects of soil moisture on water transport, photosynthetic carbon gain and water use efficiency in tomato are influenced by evaporative demand. **Agricultural Water Management**, v. 226, p. 105818, 2019.

LI, Simeng; CHEN, Gangue. Agricultural waste-derived superabsorbent hydrogels: Preparation, performance, and socioeconomic impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 251, p. 119669, 2020.

LIMA, R. S. N.; GARCÍA-TEJERO, I.; LOPES, T. S.; COSTA, J. M.; VAZ, M.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; CHAVES, M.; GLENN, D.M.; CAMPOSTRINI, E. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. **Agricultural Water Management**, v. 164, p. 148-157, 2016.

LIMA, Juliana Martins de; WELTER, Paola Daiane; SANTOS, Marilon Fernando Soares dos; KAVCIC, Wanda; COSTA, Bruna Miranda; FAGHERAZZI, Antonio Felipe; NERBASS, Francine Regianini; KRETZSCHMAR, Aike Anneliese; RUFATO, Leo; BARUZZI, Gianluca. Planting density interferes with strawberry production efficiency in southern Brazil. **Agronomy**, v. 11, n. 3, p. 408, 2021.

LOPES, Helio Roberto Dias; ALVES, Rodrigo Teixeira; SOARES, João Ricardo Ramos; OLIVEIRA, Nadja de Moura Pires. **A cultura do morangueiro no Distrito Federal**. 2 ed. Brasília, DF: Emater, 2019.

LOPES, Marília Barcelos Souza; TAVARES, Taynar Coelho de Oliveira; VELOSO, Danilo Alves; SILVA, Niléia Cristina da; FIDELIS, Rodrigo Ribeiro. Cowpea bean production under water stress using hydrogels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 87-92, jan./mar. 2017.

MA, Lin; CHAI, Chunxiao; WU, Wenna; QI, Ping; LIU, Xingcen; HAO, Jingcheng. Hydrogels as the plant culture substrates: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 305, p. 120544, 2023.

MADAIL, João Carlos Medeiros; BELARMINO, Luiz Clovis; BINI, Dienice Ana. **Avaliação de impactos econômicos, sociais e ambientais de sistema de produção de morango orgânico em Pelotas, RS**. Pelotas: EMBRAPA, 2010. 12 p.

MADRAMOOTOO, Chandra A.; JAIN, Anshika; OLIVA, Camélia; WANG, Yixiang; ABBASI, Naeem A. Growth and yield of tomato on soil amended with waste paper based hydrogels. **Scientia Horticulturae**, v. 310, p. 111752, 2023.

MAKOWSKA, M.; BOROWSKI, E.; ZIEMBA, A. The gas exchange and yielding of strawberry plants cultivated in black soil and sandy soil with the addition of hydrogel. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 4, n. 1, p. 153-161, 2005.

MALIK, Shweta; CHAUDHARY, Kautilya; MALIK, Anurag; PUNIA, Himani; SEWHAG, Meena; BERKESIA, Neelam; NAGORA, Mehak; KALIA, Sônia; MALIK, Kamla; KUMAR, Deepak; KUMAR, Pardeep; KAMBOJ, Ekta; AHLAWAT, Vishal; KUMAR, Abhishek; BOORA, Kavita. Superabsorbent Polymers as a Soil Amendment for Increasing Agriculture Production with Reducing Water Losses under Water Stress Condition. **Polymers**, v. 15, n. 1, p. 161, 2022.

MARQUES, Gabriel Nachtigall; LUZ, Thiago Freitas da; PERIN, Lais; NEUTZLING, Cristiane; REISSER JÚNIOR, Carlos; PEIL, Roberta. Marins Nogueira. Validação de medidas de condutividade elétrica e ph do drenado da solução nutritiva frente à solução no meio radicular em substrato cultivado com morangueiro. *In*: XVII Encontro de Pós-Graduação UFPEL, 2015, Rio Grande do Sul. **Anais [...]**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Pelotas, 2015. p. 1-4.

MARQUES, Tadeu Alcides; SANTOS, Arleto Tenório dos; MARQUES, Patricia Angélica Alves. Polímero hidrogel e profundidade de plantio na produção de cana-de-açúcar. **Irriga**, v. 18, n. 1, p. 126-138, 2013.

MCGRATH, Justin M.; LOBELL, David B. Reduction of transpiration and altered nutrient allocation contribute to nutrient decline of crops grown in elevated CO₂ concentrations. **Plant, Cell & Environment**, v. 36, n. 3, p. 697-705, 2013.

MENDONÇA, Heloisa Ferro Constâncio; CALVETE, Eunice Oliveira; COSTA, Rosiani Castoldi da; NIENOW, Alexandre Augusto. Performance production of strawberry in environment cultivated with fig tree. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 39, n. 4, p. 1-10, 2017.

MIKICIUK, Grzegorz; MIKICIUK, Malgorzata. Evaluation of the direct and subsequent influence of a supersorbent polymer on cropping and rate of gas exchange of strawberry (*Fragaria ananassa Duch*) 'Elsanta'. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 18, n. 2, p. 93-108, 2010.

MIRANDA, Fabio Rodrigues de; SILVA, Valsérgio Barros da; SANTOS, Francisco Sérgio Ribeiro dos; ROSSETTI, Adroaldo Guimarães; SILVA, Christiana de Fatima Bruce da. Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 4, p. 833-841, out./dez. 2014.

MONTEIRO NETO, João Luiz Lopes; ARAÚJO, Wellington Farias; CHAGAS, Edvan Alves; SIQUEIRA, Raphael Henrique da Silva; OLIVEIRA, Gabriela Almeida; RODRIGUEZ, Carlos Abanto. Hydrogels in Brazilian agriculture. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 4, p. 347-360, out./dez. 2017.

MORALES, Rafael Gustavo Ferreira; FARIA, Marcos Ventura; RESENDE, Juliano Tadeu Vilela de; RISSINI, Adriano Luiz Lodi; CARMINATTI, Rafaela; FARIA, Cacilda Marcia Duarte Rios. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica complementar em cultivo protegido. **Ambiência**, Guarapuava, PR, v. 8, n. 1, p. 23-33, jan./abr. 2012.

MOREIRA, Aline Fabiana Paladini; RESENDE, Juliano Tadeu Vilela de; SHIMIZU, Gabriel Danilo; HATA, Fernando Teruhiko; NASCIMENTO, Daniele do; OLIVEIRA, Luiz Vitor Barbosa; ZANIN, Daniel Suek; MARIGUELE, Keny Henrique. Characterization of strawberry genotypes with low chilling requirement for cultivation in tropical regions. **Scientia Horticulturae**, v. 292, p. 110629, 2022.

MORRISON, Donna M.; BLANKENSHIP, Erin E.; READ, Paul E.; PAPAROZZI, Ellen T. Stolon development and cultural production practices of winter-grown strawberries. **International Journal of Fruit Science**, v. 18, n. 2, p. 138-152, 2018.

NADAL, Miguel; FLEXAS, Jaume. Variation in photosynthetic characteristics with growth form in a water-limited scenario: implications for assimilation rates and water use efficiency in crops. **Agricultural Water Management**, v. 216, p. 457-472, may. 2019.

NASCIMENTO, Carla Danielle Vasconcelos; FEITOSA, Judith Pessoa de Andrade; SIMMONS, Robert; DIAS, Carlos Tadeu dos Santos; NASCIMENTO, Ícaro Vasconcelos do; MOTA, Jaedson Cláudio Anunciato; COSTA, Mirian Cristina Gomes. Durability indicatives of hydrogel for agricultural and forestry use in saline conditions. **Journal of Arid Environments**, v. 195, p. 104622, dec. 2021.

NASSAJ-BOKHARAEI, Sahar; MOTESHAREZEDEH, Babak; ETESAMI, Hassan; MOTAMEDI, Elaheh. Effect of hydrogel composite reinforced with natural char nanoparticles on improvement of soil biological properties and the growth of water deficit-stressed tomato plant. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 223, p. 112576, 2021.

NAVARRO, Franz E. C.; SANTOS JÚNIOR, José A.; MARTINS, Juliana B.; CRUZ, Ruana I. F.; SILVA, Manassés M. da; MEDEIROS, Salomão de S. Physiological aspects and production of coriander using nutrient solutions prepared in different brackish waters. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, n. 11, p. 831- 839, 2022.

NAVROSKI, Marcio Carlos; ARAÚJO, Maristela Machado; CUNHA, Fernando da Silva; BERGHETTI, Álvaro Luís Pasquetti; PEREIRA, Mariane de Oliveira. Redução da adubação e melhoria das características do substrato com o uso do hidrogel na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 4, p. 1155-1165, out./dez. 2016.

NISSI, F. G.; RAJASHEKARAM, T.; LAKSHMI, M. L.; SWAMI, D. V.; KRISHNA, U. K.; SALOMI, D. R. Effect of soil conditioners on soil, physiological and photosynthetic parameters of sweet orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). **The Pharma Innovation Journal**, v. 10, n. 5, p. 587-593, 2021.

NOBRE, Reginaldo G.; RODRIGUES FILHO, Ricardo A.; LIMA, Geovani S. de; LINHARES, Edna L. da R.; SOARES, Lauriane A. dos A.; SILVA, Luderlândio de A.; TEIXEIRA, Antônio D. da S.; MACUMBI, Nelson J. V. Gas exchange and photochemical efficiency of guava under saline water irrigation and nitrogen-potassium fertilization. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 27, n. 5, p. 429-437, 2023.

NUNES, Graziela; TEIXEIRA, Flávia; SCHWARZ, Kélin; CAMARGO, Cristiano Kopanski; RESENDE, Juliano Tadeu Vilela de; SANTOS, Elisvânia Freitas dos; FRANCO, Bruna Callegari; NOVELLO, Daiana. Influence of genetic variability on the quality of strawberry cultivars: sensorial, physical-chemical and nutritional characterization. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 43, p. 1-10, 2021.

PALANIVELU, Swarna Devi; ARMIR, Nur Amira Zainul; ZULKIFLI, Amalia; HAIR, Ainul Hafiza Abdul; SALLEH, Kushairi Mohd; LINDSEY, Keith; CHE-OTHMAN, Muhamad Hafiz; ZAKARIA, Sarani. Hydrogel application in urban farming: Potentials and limitations—A review. **Polymers**, v. 14, n. 13, p. 2590, 2022.

PARVATHY, Prabha C.; JYOTHI, Alummoottil N.; JOHN, K. Susan; SREEKUMAR, Janardhanan. Cassava Starch Based Superabsorbent Polymer as Soil Conditioner: Impact on Soil Physico-Chemical and Biological Properties and Plant Growth. **CLEAN-Soil, Air, Water**, v. 42, n. 11, p. 1610-1617, 2014.

PEDROZA-SANDOVAL, Aurelio; YÁÑEZ-CHÁVEZ, Luis Gerardo; COHEN, Ignacio Sanchez; GAXIOLA, José Alfredo Samaniego; TREJO-CALZADA, Ricardo. Hydrogel, biocompost and its effect on photosynthetic activity and production of forage maize (*Zea mays* L.) plants. **Acta Agronómica**, v. 66, n. 1, p. 63-68, 2017.

PIMENTEL, Carlos. **A relação da planta com a água**. 1 ed. Seropédica, RJ: EDUR - Editora Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. 191p.

RASHAD, Rama T. Silicon (Si) use efficiency in sandy soil amended by Si-loaded hydrogel. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 51, n. 6, p. 746-756, 2020.

REISSER JÚNIOR, Carlos; ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; ALDRIGHI, Michael; VIGNOLO, Gerson. Panorama do cultivo de morangos no Brasil. **Revista Campo & Negócios - Hortifrúti**, v. 8, p. 58-59, dez. 2014.

RICHTER, Adrik; FAGUERAZZI, Antonio Felipe; ZANIN, Daniel Suck; SILVA, Pricila Santos da; ARRUDA, Ana Luiza; TILWITZ, Katiana Vanusa; KRETZSCHMAR, Aike Anneliese. Produção de morangueiro em diferentes sistemas de cultivo. **Revista da 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, v.14, n.14, p. 2307-2314, 2017.

ROQUE, Iara Almeida; SOARES, Lauriane Almeida dos Anjos; LIMA, Geovani Soares de; LOPES, Iracy Amélia Pereira; SILVA, Luderlândio de Andrade; FERNANDES, Pedro Dantas. Biomass, gas exchange and production of cherry tomato cultivated under saline water and nitrogen fertilization. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 35, n. 3, p. 686-696, jul./set. 2022.

RUAN, Jiwei; LEE, Young Hun; YEOUNG, Young Rog. Flowering and fruiting of day-neutral and ever-bearing strawberry cultivars in high-elevation for summer and autumn fruit production in Korea. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 54, n. 2, p. 109-120, 2013.

SAHA, Abhisekh; SEKHARAN, Sreedeeep; MANNA, Uttam. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104736, oct. 2020.

SAHMAT, Siti Sahmsiah; RAFII, Mohd Y.; OLADOSU, Yusuff; JUSOH, Mashitah; HAKIMAN, Mansor; MOHIDIN, Hasmah. A systematic review of the potential of a dynamic hydrogel as a substrate for sustainable agriculture. **Horticulturae**, v. 8, n. 11, p. 1026, 2022.

SCHIAVON, Andressa Vighi; BECKER, Tais Barbosa; DELAZERI, Eloi Evandro; VIGNOLO, Gerson Kleinick; MELLO-FARIAS, Paulo; ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa. Production and quality of strawberry plants produced from different nutrient solutions in soilless cultivation. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 69, n. 3, p. 348-357, may./jun. 2022.

SHABALA, Sergey. **Plant Stress Physiology**. 2 ed. Boston, Massachusetts: CABI, 2017.

SHAW, Douglas V.; LARSON, Kirk D. **Strawberry Plant Named 'Albion'**. Depositante: Universidade da Califórnia. U.S. Patent Application n. 10/769.471. Depósito: 29 jan. 2004. Concessão: 31 jan. 2006.

SILVA, André A. R. da; VELOSO, Luana L. de S. A.; NASCIMENTO, Ronaldo do; NASCIMENTO, Elka C. S.; BEZERRA, Carlos V. de C.; PEREIRA, Márcia C. de A. Gas exchanges and growth of cotton cultivars under water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 23, n. 6, p. 393-399, 2019.

SILVA, Francisco de Assis Santos e; AZEVEDO, Carlos Alberto Vieira de. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, sep. 2016.

SØNSTEBY, Anita; WOZNICKI, Tomasz L.; HEIDE, Ola M. Effects of runner removal and partial defoliation on the growth and yield performance of 'Favori' everbearing strawberry plants. **Horticulturae**, v. 7, n. 8, p. 215, 2021.

SOPPELSA, Sebastian; GASSER, Michael; ZAGO, Massimo. Optimizing Planting Density in Alpine Mountain Strawberry Cultivation in Martell Valley, Italy. **Agronomy**, v. 13, n. 5, p. 1422, 2023.

SOUSA, Naara I. G.; SOUSA, Alan B. O. de; LACERDA, Claudivan F. de; SALES, Jonnathan R. da S.; MESQUITA, Rosilene O.; CAVALCANTE, Eduardo S.; CANJÁ, Juvenaldo F.; CAMARA, Wembley A. R. Hydrogel as mitigator of salt stress during the establishment of *Tagetes patula* L. seedlings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 26, n. 11, p. 807-814, 2022.

SOUZA, Antonio Jackson Jesus; GUIMARÃES, Rubens José; DOMINGHETTI, Anderson William; SCALCO, Myriane Stella; REZENDE, Tiago Teruel. Water-retaining polymer and seedling type when planting irrigated coffee. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 334-343, abr./jun. 2016.

STRASSBURGER, André Samuel; PEIL, Roberta Marins Nogueira; SCHWENGBER, José Ernani; MEDEIROS, Carlos Alberto Barbosa; MARTINS, Denise de Souza; SILVA, Jurandir Buchweitz. Crescimento e produtividade de cultivares de morango de "dia neutro" em diferentes densidades de plantio em sistema de cultivo orgânico. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 623-630, 2010.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TAJDINIAN, Samaneh; RAHMATI-JONEIDABAD, Mostafa; PARIZIPOUR, Mohamad Hamed Ghodoum. Macroalgal treatment to alleviate the strawberry yield loss caused by *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. in greenhouse cultivation system. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 6, p. 1089553, 2022.

TAYLOR, K. C.; HALFACRE, R. G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *Ligustrum lucidum*. **HortScience**, Praha, v. 21, n. 5, p. 1159-1161, 1986.

TRIPODI, Pasquale; MASSA, Daniele; VENEZIA, Accursio; CARDI, Teodoro. Sensing technologies for precision phenotyping in vegetable crops: current status and future challenges. **Agronomy**, v. 8, n. 4, p. 57, 2018.

URBANO, José; INGWERS, Milhas W.; MCGUIRE, Maria Ana; TESKEY, Robert O. Increase in leaf temperature opens stomata and decouples net photosynthesis from stomatal conductance in *Pinus taeda* and *Populus deltoides* x *nigra*. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 7, p. 1757-1767, 2017.

VERDIAL, Marcelo Fontanetti; TESSARIOLI NETO, João; MINAMI, Keigo; SCARPARE FILHO, João Alexio; CHRISTOFFOLETI, Pedro Jacob; SCARPARE, Fabio Vale; BARELA, Juliano Francisco; AGUILA, Juan Saavedra del; KLUGE, Ricardo Alfredo. Vernalização em cinco cultivares de morangueiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 4, p. 976-981, jul./ago. 2007.

VIGNOLO, Gerson Kleinick; PICOLOTTO, Luciano; GONÇALVES, Michel Aldrighi; COCCO, Carine; ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa. Origem e Botânica. *In*: ANTUNES, Luis Eduardo Corrêa; REISSER JÚNIOR, Carlos; SCHWENGBER, José Ernani. **Morangueiro**. Brasília, DF: EMBRAPA, 2016.

WEI, Jun; YANG, Haiyuan; CAO, Hui; TAN, Tianwei. Using polyaspartic acid hydro-gel as water retaining agent and its effect on plants under drought stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 23, n. 5, p. 654-659, sep. 2016.

WURZ, Douglas André; FAGHERAZZI, Antonio Felipe; RUFATO, Leo; NIZER, Mauro; ARENDARTCHUCK, Cleiton. Desempenho agrônômico de genótipos de morangueiro cultivados no planalto norte catarinense. **Revista Ciência Agrícola**, v. 19, n. 3, p. 211-218, 2021.

YANG, Min; SHI, Yan. Categories and Application Fields and Manufacturing Process and Action Mechanism of Water Retaining Agent. **Advances in Polymer Technology**, v. 2022, p. 1-11, 2022.

YANG, Wei; GUO, Shiwen; LI, Pinfang; SONG, Riquan; YU, Jian. Foliar antitranspirant and soil superabsorbent hydrogel affect photosynthetic gas exchange and water use efficiency of maize grown under low rainfall conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 1, p. 350-359, 2019.

YATSENKO, Viacheslav; POLTORETSKYI, Serhii; MOSTOVIK, Ivan; VOROBIOVA, Natalia; LAZARIEV, Oleh; KRAVCHENKO, Vitalii. The effect of superabsorbent and different rates of the local fertilizer on garlic productivity in the forest-steppe of Ukraine. **Journal of Agricultural Science**, p. v. 33, n. 1, 209–221, 2022.

YOKOYAMA, G.; ONO, S.; YASUTAKE, D.; HIDAKA, K.; HIROTA, T. Diurnal changes in the stomatal, mesophyll, and biochemical limitations of photosynthesis in well-watered greenhouse-grown strawberries. **Photosynthetica**, v. 61, n. 1, p. 12-23, 2023.

YONEZAWA, Uilian Gabaldi. **Síntese, caracterização e aplicação de hidrogéis nanoestruturados contendo nanoargila para melhorar a germinação e qualidade de muda de hortaliça**. 2016. 98f. Dissertação (Ciência dos Materiais) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016.

ZANIN, Daniel Suck; FAGHERAZZI, Antonio Felipe; SANTOS, Aline Melo dos; MARTINS, Robson; KRETZSCHMAR, Aike Anneliese; RUFATO, Leo. Agronomic performance of cultivars and advanced selections of strawberry in the South Plateau of Santa Catarina State. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 66, n. 3, p. 159-167, mai./jun. 2019.

ZEIST, André Ricardo; RESENDE, Juliano Tadeu V de. Strawberry breeding in Brazil: current momentum and perspectives. **Horticultura Brasileira**, v. 37, n.1, p. 7-16, ja./mar. 2019.

ZHANG, Quan; FICKLIN, Darren L.; MANZONI, Stefano; WANG, Lixin; WAY, Danielle; PHILLIPS, Richard P.; NOVICK, Kimberly A. Response of ecosystem intrinsic water use efficiency and gross primary productivity to rising vapor pressure deficit. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 7, p. 074023, 2019.