

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DE MINAS GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ
BACHARELADO EM AGRONOMIA

Marcelo Antônio de Sousa Gouvêia

**MECANISMOS DE DEFESA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE PIMENTA,
DO GÊNERO *CAPSICUM* SPP.**

BambuÍ
2021

MARCELO ANTÔNIO DE SOUSA GOUVÊIA

**MECANISMOS DE DEFESA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE PIMENTA,
DO GÊNERO *CAPSICUM* SPP.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Ana Cardoso Clemente Filha
Ferreira de Paula

Coorientador: Luciano Donizete Gonçalves

G719m Gouvêia, Marcelo Antônio de Sousa.

Mecanismos de defesa ao déficit hídrico em plantas de pimenta, do gênero *Capsicum* spp. / Marcelo Antônio de Sousa Gouvêia. – 2021. 47 f.; il.: color.

Orientadora: Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Bacharelado em Agronomia, 2021.

1. Estresse hídrico. 2. Solanaceae. 3. Irrigação. I. Paula, Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 635.7

DECLARAÇÃO

MECANISMOS DE DEFESA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS DE PIMENTA, DO GÊNERO *CAPSICUM* SPP

Aluno (a): Marcelo Antônio de Sousa Gouvêia

Data de aprovação: 07/05/2021

Banca Examinadora:

- **Orientadora:** Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula, Doutora, IFMG Campus Bambuí.
- **Coorientador:** Luciano Donizete Gonçalves, Doutor, IFMG Campus Bambuí
- **Membro:** Alcilene de Abreu Pereira, Doutora, IFMG Campus Bambuí.
- **Membro:** Fernando Henrique Silva Garcia, Doutor, Membro Externo.

Bambuí, 07 de maio de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Henrique Silva Garcia, Usuário Externo**, em 10/05/2021, às 15:01, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Alcilene de Abreu Pereira, Professora**, em 12/05/2021, às 20:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula, Professora**, em 12/05/2021, às 21:36, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luciano Donizete Gonçalves, Professor**, em 13/05/2021, às 09:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoes> informando o código verificador **0834456** e o código CRC **6F9754FE**.

A minha avó Luzedi (in memoriam).

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre iluminar meu caminho e por me dar forças para nunca desistir desta jornada.

Aos meus pais Mauri e Zulma, agradeço por toda dedicação e apoio em todos os momentos e principalmente por acreditarem em mim.

Aos meus irmãos Tânia e Mauricélio, agradeço pelo companheirismo e apoio durante todos estes anos.

Ao meu cunhado Tiago, por todo incentivo e apoio durante esta jornada.

Ao meu afilhado Paulo Vitor, pelo amor e carinho.

A minha madrinha Maria Elza, por todo carinho e incentivo durante a graduação.

Aos meus queridos avós Laurita, Antônio e José por sempre me colocarem em suas orações e me proporcionarem todo o apoio durante estes anos. À minha avó Luzedi (*in memoriam*).

À minha namorada Synara, agradeço pelo companheirismo, carinho, apoio e por sempre estar ao meu lado durante todos os principais momentos desta jornada.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - *Campus Bambuí*, pela oportunidade de me proporcionar a realização da graduação.

A todos os professores, pelos momentos de aprendizado e experiências compartilhadas durante toda a graduação.

À professora Ana Cardoso, pela orientação desde a monitoria até a finalização desse trabalho, contribuindo para o meu crescimento profissional. Agradeço pela paciência, confiança e compreensão durante a formação acadêmica. Muito obrigado pela amizade e por todos os conselhos.

Ao professor Luciano Donizete, por todos os aprendizados passados e pelas experiências durante a graduação. Agradeço pelo carinho e compreensão nesta jornada acadêmica.

A professora Alcilene, por todos os ensinamentos e experiências durante esta jornada. Agradeço pela compreensão, carinho, confiança e por todos os conselhos.

Aos meus amigos de faculdade, por tornarem meus dias mais alegres durante todos estes anos, em especial ao Weliton Luiz, por todo companheirismo durante toda essa jornada.

E a todos que contribuíram de alguma forma na minha graduação, a minha gratidão!

“Pare de desejar, comece a fazer”

(Autor Desconhecido)

RESUMO

A olericultura é um dos setores agrícolas que mais se destacam no Brasil, principalmente por ter uma grande importância social, econômica e alimentar no país. Dentre as hortaliças produzidas, a pimenta se destaca, pois apresenta grande importância na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica, a qual é produzida principalmente pela agricultura familiar. No ciclo produtivo de olerícolas, a água é utilizada em todas as fases, fornecida através de sistemas de irrigação e a demanda hídrica do Brasil apresenta previsões de um incremento crescente. Além do aumento da demanda, as mudanças climáticas são fatores que podem limitar a produção agrícola em números expressivos, em especial, a seca. Portanto, em condições de déficit hídrico as plantas ativam mecanismos fisiológicos, metabólicos e morfológicos de defesa ao déficit hídrico, como estratégia para tolerar, adaptar ou se aclimatizar diante das situações descritas acima. Desta maneira, diversos grupos de pesquisa de melhoramento genético em pimenta, têm buscado selecionar indivíduos adaptados ao déficit hídrico. Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar dados sobre a cultura da pimenta e os principais mecanismos de tolerância das plantas ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Estresse hídrico. Solanaceae. Irrigação.

ABSTRACT

Olericulture has been grown substantially in Brazil due to its significant social, economic and food role. Pepper, which is produced mainly by family farming, stands out because of its huge importance in the food, cosmetics, and pharmaceutical industry. As water is a constant part of all process during the oleraceous productive circle, irrigation is used, and its demand will increase even more. Besides the constant need for water, climate changes may limit the growth considerably, especially during the dry season. For this reason, plants will use their own physical, metabolic, and morphological defense against water scarcity, in order to endure, and adapt in such condition. Taking this fact into account, many research groups who study the genetic improvement of the pepper, have selected specimens more suitable to water scarcity. Therefore, the purpose of this study is to present data about pepper growth and the main mechanisms of the plant resistance in water scarcity.

Keywords: Water scarcity. Solanaceae. Irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mudanças fisiológicas quando submetidas ao déficit hídrico.....	26
Figura 2 - Efeitos adversos e adaptações das plantas ao estresse hídrico.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de cultivo da pimenta.....	23
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	Importância econômica da pimenta	16
3.2	Características botânicas	17
3.3	Variabilidade do gênero <i>Capsicum</i> spp.	18
3.4	Uso da água na agricultura	19
3.5	Necessidade de irrigação em função da demanda hídrica das plantas	21
3.6	A água na planta	24
3.7	Mecanismos de tolerância ao déficit hídrico	27
3.7.1	Desenvolvimento fenológico	29
3.7.2	Plasticidade Fenotípica	29
3.7.3	Fechamento Estomático	30
3.7.4	Adaptação do sistema radicular	31
3.7.5	Ajustamento Osmótico	33
3.7.5.1	Açúcares	33
3.7.5.2	Prolina	34
3.7.6	Aquaporinas	35
3.7.7	Proteínas Late Embriogenesis Abundant (LEA)	36
3.7.8	Proteínas de Choque Térmico	36
3.7.9	Espécies reativas de oxigênio	37
3.8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39

1 INTRODUÇÃO

A olericultura é um dos setores agrícolas que mais se destacam no Brasil, principalmente por ter uma grande importância social, econômica e alimentar no país. O setor é responsável por movimentar cerca de 25 bilhões de reais, gerar 7 milhões de empregos de forma direta e indireta e uma área de cultivo de aproximadamente 537 mil hectares, uma produção anual superior a 16 milhões toneladas (ANUÁRIO HORTI & FRUTI, 2020).

As pimentas do gênero *Capsicum* spp. estão entre as olerícolas mais consumidas e comercializadas no mundo, o consumo do fruto pode ser na forma processada, como molhos, conservas, pastosa e desidratada ou na forma *in natura* (HORTIFRUTI, 2015). Diante de suas características, a pimenta tem grande importância no mercado agrícola brasileiro, com destaque na indústria alimentícia, cosmética e farmacêutica, produzida principalmente pela agricultura familiar.

Atualmente, as mudanças climáticas globais têm demonstrado estarem entre os principais desafios encontrados pela sociedade no século XXI, consequência de seus inúmeros impactos, que proporcionam problemas para as diversas atividades econômicas de todo mundo.

Dentre os principais fenômenos climáticos, podemos destacar o aquecimento global, a limitação dos recursos hídricos, a sazonalidade de chuvas e períodos intensos de secas em certas regiões (IPCC, 2019). Desses fatores, o déficit hídrico é o principal estresse ambiental ocorrido, causado pela alta radiação e temperatura associada a uma baixa precipitação (SELEIMAN *et al.*, 2021). Dessa forma, a restrição hídrica é o fator ambiental mais limitante na agricultura (FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016). O déficit hídrico, segundo estimativas, poderá limitar a produtividade de metade das terras agricultáveis no mundo nos próximos 50 anos (DHANKHER; FOYER, 2018).

Na produção de hortaliças, a água é utilizada em todo o ciclo produtivo, fornecida por meio de sistemas de irrigação. O sistema de irrigação por aspersão é método mais utilizado, tornando-se uma prática de grande importância para uma boa produção, desde que apresente alta eficiência no uso da água (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2017). A demanda hídrica do Brasil é crescente, com previsão de um incremento de 24% na demanda até 2030 (ANA, 2019).

Portanto a implementação de estratégias que utilizem de forma racional os recursos hídricos, são fundamentais para que a cadeia produtiva do agronegócio brasileiro não passe por dificuldades futuras (CARLOS; CUNHA; PIRES, 2019).

O melhoramento genético de plantas tem sido uma das ferramentas utilizadas para aumentar a produtividade e qualidade dos alimentos, através da seleção de genótipos superiores

e desenvolvimento de novas cultivares adaptadas aos estresses abióticos e bióticos (AMABILE; PEIXOTO; VILELA, 2018). Portanto, o melhoramento genético tem papel essencial, para produção de alimentos, de forma que possa suprir a demanda de acordo com crescimento populacional e suas exigências (FERRÃO, 2018).

Diante da intensificação das mudanças climáticas, diversos grupos de pesquisa de melhoramento genético em pimenta, têm buscado selecionar indivíduos mais adaptados aos estresses abióticos, visando identificar genótipos resistentes ao déficit hídrico (REGO *et al.*, 2011). Portanto, através desses estudos, é possível reduzir os impactos da agricultura no ambiente, através da produção de alimentos sustentáveis, com redução do uso de insumos e principalmente na otimização dos recursos hídricos, através do melhor uso eficiente da água das plantas (AMABILE; PEIXOTO; VILELA, 2018).

Assim, objetiva-se com este trabalho apresentar dados da literatura sobre a cultura da pimenta e os mecanismos de resistência que atuam em condições de déficit hídrico, ressaltando a importância da água no desenvolvimento vegetal, bem como, uma alternativa que auxilie o cultivo em locais que apresentam limitação de disponibilidade de água.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar dados da literatura sobre a cultura da pimenta (*Capsicum* spp.) e os principais mecanismos de tolerância que atuam em condições de déficit hídrico.

2.2 Objetivos Específicos

- Descrever a variabilidade genética do gênero *Capsicum* spp., as características botânicas e os aspectos econômicos do cultivo pimenteiro a nível mundial e brasileiro;
- Apresentar as finalidades do uso da água na agricultura e nas plantas, além da necessidade hídrica de cada cultura;
- Detalhar os principais mecanismos de tolerância ao déficit hídrico nas plantas e os estudos realizados na cultura da pimenta;
- Contribuir para a difusão do conhecimento científico, sobre os principais mecanismos de tolerância ao déficit hídrico, em especial, os mecanismos observados em plantas de pimenta do gênero *Capsicum* spp.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Importância econômica da pimenta

No ano de 2018 em todo o mundo a produção de pimentas e pimentões do gênero *Capsicum*, foi cerca de 36,77 milhões de toneladas em uma área estimada de 1,99 milhões de hectares, representando um acréscimo na produção de cerca de 1,0 milhão de toneladas, quando comparado a produção de 2017 (FAOSTAT, 2020).

Em 2018, os cinco maiores produtores mundiais de pimenta e pimentão foram a China, Turquia, Espanha, México e Indonésia, que juntos somaram uma produção de 27,91 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2020). A China lidera o ranking com uma produção de 18,2 milhões de toneladas, representando 49% da produção mundial total. No entanto, Espanha e Estados Unidos lideram as estatísticas de maior produtividade, com 62,3 e 36,9 t/ha, respectivamente. A média mundial foi de 18,2t/ha, esta diferença é devido ao nível tecnológico e insumos utilizados (FAOSTAT, 2020).

A produção de pimentas no Brasil em 2017, foi de aproximadamente 46.702 toneladas, em uma área aproximada de 5 mil hectares, para o consumo tanto *in natura*, quanto processado (IBGE, 2017). Ainda segundo o Instituto, essa produção está dividida em 51,3% na região Norte, 19,2% Nordeste, 17,1% Sudeste, 11,2 Centro Oeste e 1,2% na região Sul do país.

No Brasil, a produção de pimenta do gênero *Capsicum* ocorre na maioria dos Estados, no entanto os principais produtores do país são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul (CALDAS *et al.*, 2016). No ano de 2018, o estado de Minas Gerais teve uma produção do gênero *Capsicum* de aproximadamente 22 mil toneladas, foram 21 mil toneladas de pimentão e cerca de 970 toneladas de pimenta (CONAB, 2018).

Segundo Alves e colaboradores (2019), o consumo da pimenta se destaca principalmente pelo sabor exótico dos frutos, pela grande diversidade de preparo para consumo e por apresentar características funcionais. Ainda de acordo com o autor, a pimenta pode ser consumida tanto de forma *in natura*, quanto processada e utilizada em uma variedade de produtos alimentícios.

Além do uso na indústria alimentícia, a produção de pimentas tem sido também uma alternativa para fins ornamentais, por apresentarem características de alto valor estético, como formato dos frutos, variadas colorações e principalmente por serem de fácil cultivo e terem alta durabilidade, o que torna uma opção de geração de renda para agricultura familiar em todo Brasil (LIMA *et al.*, 2018).

No Brasil o cultivo de pimentas, é realizado principalmente pela agricultura familiar, o que torna uma cultura de grande importância socioeconômica, permitindo a geração de renda para produção em pequenas áreas de cultivo, concebendo fontes de emprego e auxiliando na manutenção do agricultor regional (VALERA, 2017). Portanto, de acordo com Signorini e colaboradores (2013), a produção da pimenta emprega um amplo número de contratações no período da colheita.

3.2 Características botânicas

A pimenta é uma cultura pertencente à família Solanaceae e ao gênero *Capsicum*, originária da América Tropical, com expansão para outras regiões do mundo somente a partir dos meados do século XVI, por meio dos europeus e pelos indígenas (SANTOS *et al.*, 2019). Segundo o mesmo autor, atualmente o Brasil é o país onde está compreendido a maior variabilidade genética do gênero *Capsicum*.

As pimentas do gênero *Capsicum*, apresentam ciclo perene, possuem um sistema radicular pivotante, bem ramificados lateralmente e com uma profundidade variando entre 70 e 120 cm. Suas folhas são geralmente com coloração verde, bem distintos, se destacando o lanceolado, deltoide e ovalado (LOPES *et al.*, 2007). Por outro lado, existe alteração na altura e forma de crescimento das plantas de acordo com as condições de cultivo e principalmente conforme a espécie (LOPES *et al.*, 2007).

As flores de plantas do gênero *Capsicum* spp. são hermafroditas, com capacidade de autofecundação e polinização cruzada, apresentando uma taxa de alogamia que varia aproximadamente entre 5 a 15% (FERRÃO *et al.*, 2011; FILGUEIRA, 2013). De forma geral, as flores apresentam corola pentâmera e de coloração brancas, amarelas, verdes e roxas, podendo ser de forma sólida ou com manchas (BOSLAND; VOTAVA, 2013).

Conforme Miranda (2014), os frutos das pimenteiras são do tipo baga, com variadas formas, colorações, tamanhos e pungência, o que o torna muito atraente aos consumidores. A coloração dos frutos de maneira geral, quando maduros, é vermelha, com variações de amarelo, roxo, alaranjado ou até preto. Os frutos possuem formatos arredondados, quadrados, triangulares e alongados de acordo com a espécie (LOPES *et al.*, 2007). Eles são considerados um alimento nutritivo, devido sua composição química com destaque aos carotenoides, flavonoides, ácido ascórbico e capsaicinoides (ARANHA *et al.*, 2017).

3.3 Variabilidade do gênero *Capsicum* spp.

Os produtores de pimentas têm realizado o processo de seleção natural durante muitos anos, com objetivo de obter características comerciais, alterações morfológicas do fruto, como tamanho, cor, sabor, forma, flores e número variado de pedicelos por nó (CARNEIRO, 2017).

O gênero *Capsicum* contém aproximadamente 35 espécies classificadas conforme o nível de domesticação, são subdivididas em três grupos: 5 espécies domesticadas, 10 semidomesticadas e aproximadamente 20 silvestres (PORTO; SILVA, 2013). O nível de espécies domesticadas pertence aquelas que são comumente cultivadas pelo homem, já as semidomesticadas dispõem de um baixo índice de cultivo, e as espécies silvestres não são cultivadas comercialmente (CARVALHO *et al.*, 2006).

O Brasil destaca-se como um dos principais centros de diversidade genética, entre espécies domesticadas, semidomesticadas e silvestres do gênero *Capsicum*, com uma ampla variabilidade de espécies distribuídas por todas as regiões do país (SOUZA, 2011; WAGNER, 2003). A Amazônia se destaca por ser considerada o centro de diversidade do gênero *Capsicum* no país, com um destaque para pimenta Bode Vermelha (*Capsicum chinense*), considerada uma espécie com uma ampla variabilidade genética, em especial para características de fruto (RIBEIRO *et al.*, 2008).

O gênero *Capsicum* é considerado o maior presente no banco de germoplasma na coleção da Embrapa Hortaliças, com cerca de 4.200 acessos, dividido em linhagens, híbridos, espécies domesticadas e silvestres (FERRAZ *et al.*, 2016). De acordo com o mesmo autor, dentre as 35 espécies conhecidas, apenas cinco são geralmente utilizadas e cultivadas, destacando-se as pimentas Bode Vermelha (*C. chinense*), Dedo de moça (*C. baccatum*), Malagueta (*C. frutescens*), Rocoto (*C. pubescens*) e os pimentões (*C. annuum*).

Com o avanço das pesquisas de melhoramento genético, tem se buscado selecionar cultivares com alta produção, resistentes a estresses bióticos e abióticos e que apresentem frutos com melhores qualidades nutricionais (FERRÃO *et al.*, 2015). Desse modo, tem se como objetivo atender as exigências do mercado, afim de lançar novas cultivares comerciais que atendam às necessidades dos produtores (MIRANDA, 2014).

3.4 Uso da água na agricultura

Segundo Silva *et al.*, (2020), a água é um recurso natural abundante e indispensável para a sobrevivência de todos os seres vivos do planeta, participando de processos bioquímicos e fisiológicos dos organismos. Apesar de ser um recurso abundante na superfície terrestre, apenas uma parte dessa água, é potável e disponível para o consumo, uma vez que, o restante é água salgada e não pode ser consumida e aplicada na agricultura (SILVA *et al.*, 2020).

De acordo com Silva e Pereira (2019), a distribuição de água salgada e doce em todo o planeta, corresponde a 97,5% e 2,5% respectivamente. Diante do percentual de água doce, em torno de 68,9% está em águas subterrâneas, em forma de gelo na região do Ártico e da Antártica, 30,8% em pântanos e umidade do solo e somente 0,3% está disponível na superfície (SILVA; PEREIRA, 2019).

O Brasil possui aproximadamente 12,5% da água doce de todo o mundo, por ser um país de grande extensão territorial, contudo apresenta uma distribuição desigual, em relação a cada região. Dessa maneira, cerca de 80% da água no país está concentrada na região Norte, onde possui apenas 5% da população do país e o restante distribuído entre as demais regiões (ANA, 2021).

Segundo pesquisas realizadas pela Agência Nacional de Águas (2020), entre as utilizações da água pelos brasileiros, se destaca o uso principalmente para irrigação, representando cerca de 66%. Além disso, abastecimento urbano e animal possuem respectivamente 9,0% e 11,6%, processos industriais 9,7%, termelétricas 0,3%, mineração 0,9% e o abastecimento rural 2,4%. Em contrapartida, a demanda por recursos hídricos é crescente com um aumento de consumo em 80% nas duas últimas décadas (ANA, 2020).

Com o crescimento populacional mundial, estima-se que até o ano de 2050 seja necessário um aumento de 70% na produção de alimentos, para atender uma demanda de 9,7 bilhões de pessoas (ALEXANDRATOS; BRUINSMA, 2012; UNDESA, 2019). Portanto, diante da importância de incrementar a cadeia produtiva, consequentemente, ocorrerá o aumento do consumo de água nos cultivos agrícolas, com objetivo de produzir alimentos para toda população (BORGHETTI *et al.*, 2017).

A escassez hídrica se torna cada vez mais visível, a qual é um dos principais problemas sociais em um futuro próximo (SILVA *et al.*, 2020). Dessa forma, são necessárias práticas que melhorem o uso racional da água. Portanto, o gerenciamento dos recursos hídricos torna-se imprescindível para as políticas públicas, com objetivo de trazer segurança hídrica para

população, através da sustentabilidade econômica e ambiental, por meio do aumento da eficiência no uso desse recurso (A.N.A, 2020).

O cultivo agrícola mundial é responsável por utilizar 70% da água doce e que se encontra em constante aumento, devido à alta demanda de alimentos em decorrência do crescimento da população (FAO, 2017). A utilização corresponde as práticas agrícolas, sendo equipamentos ou técnicas, que buscam suprir a demanda parcial ou total das culturas, de acordo com as exigências, tipo de solo, clima e relevo (A.N.A, 2020).

Dentre as práticas agrícolas para atender à exigência hídrica das espécies, se destaca os sistemas de irrigação (A.N.A, 2021). Em pesquisa realizada pela Agência Nacional de Águas (2021), o cultivo agrícola brasileiro está entre os 10 países mundiais com maiores áreas equipadas para irrigação, com aproximadamente 8,2 milhões de hectares, divididos em 64,5% por águas de mananciais e 35,5% fertirrigações com águas de reuso. Estima-se que entre 7% a 9% da produção física da agricultura no Brasil, ocorra em áreas irrigadas. No ano de 2019, a agricultura irrigada contribuiu com cerca de R\$ 55 bilhões (A.N.A, 2021).

Na irrigação, existem quatro importantes métodos de aplicação de água: irrigação por superfície, aspersão, subterrânea e localizada (A.N.A, 2021). No primeiro, a água é disposta na superfície do solo e controlada pela necessidade das plantas. No método por aspersão, a água é aplicada por pressão acima do solo, através de aspersores. No sistema subterrâneo, a aplicação da água é abaixo da superfície. Por fim, a irrigação localizada, é baseada na aplicação em área limitada, com baixa pressão e alta frequência. Para esses métodos, existem diferentes sistemas como o sistema de pivô central na irrigação por aspersão, o sistema de inundação na irrigação superficial e o sistema de gotejamento nos métodos localizado e subterrâneo (A.N.A, 2021).

No Brasil, as principais culturas irrigadas são arroz, cana-de-açúcar, café, feijão, milho, soja e hortaliças (ANA, 2021). Portanto, a distribuição das áreas irrigadas no Brasil (exceto fertirrigação), estão dispostas da seguinte maneira: arroz ocupa 25% do total, a cana 15%, o café 8%, as culturas anuais em pivôs centrais 27% e as outras culturas e sistemas 25%. Estima-se que a demanda de irrigação para 2040, deverá crescer cerca de 79%, aumentando sua colaboração na demanda hídrica total de 29% para 31% (A.N.A, 2021).

Com base neste cenário, é importante que se utilize a água de maneira eficiente, com ferramentas que utilizem os recursos de maneira racional, com aplicação de lâminas de irrigação eficientes e manejo que garanta alta produtividade sem causar desperdício (SANTANA *et al.*, 2020). O uso da irrigação na agricultura deve ser sustentável, por meio da aplicação de lâmina de irrigação de acordo com a demanda hídrica para planta (MIRANDA, 2019).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), o estresse hídrico nas plantas pode ocorrer tanto com o excesso e com o déficit de água, o que causa distúrbios metabólicos nos vegetais. Ainda segundo o autor, quando a planta está submetida ao alagamento, ocorre o processo de lixiviação dos nutrientes, a hipoxia e anoxia, além da redução da respiração e metabolismo do vegetal. Da mesma forma, quando a planta é submetida ao déficit hídrico, expostas a longos períodos de desidratação, o aparato fotossintético é prejudicado causando a redução da expansão celular e foliar, menor atividade celular e metabólica, fechamento estomático, além de ocasionar a morte celular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

3.5 Necessidade de irrigação em função da demanda hídrica das plantas

De acordo com Martins e colaboradores (2010), a irrigação é uma prática agrícola que tem como objetivo a aplicação de água no solo de maneira eficiente, no momento certo, na quantidade adequada, de modo a atender às necessidades hídricas das culturas. Com isso, evita a diminuição da produtividade ocasionada pelo déficit hídrico, em consequência da insuficiência ou má distribuição das precipitações durante as etapas de desenvolvimento das plantas (MARTINS *et al.*, 2010).

Segundo Santana e colaboradores (2007) a utilização da irrigação tem aumentado de forma significativa a produção agrícola, além de ter contribuído com o cultivo em regiões que apresentam limitação hídrica devido as variações dos regimes pluviais. Entretanto, quando o sistema de irrigação não é manejado de forma correta, desencadeia uma série de problemas, como a salinização de solos, lixiviação de solutos, aumento da proliferação de doenças de solo, e principalmente, a captação excessiva em mananciais, provocando desperdício de água (SANTANA *et al.*, 2007).

Para realizar o manejo adequado da irrigação, é necessário determinar o momento certo de irrigar, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação, objetivando a máxima eficiência da lâmina de água aplicada (OLIVEIRA, 2014). De acordo com Zhang e colaboradores (2018), essas tomadas de decisões são definidas de acordo com a textura do solo, precipitação, condições climáticas e a necessidade hídrica da cultura em relação a sua fase de desenvolvimento.

A demanda hídrica, é um fator determinado por características biológicas de cada cultura e condições climáticas de onde está sendo realizado o cultivo da mesma (RIBEIRO *et al.*, 2008). Esse parâmetro relaciona a evapotranspiração da cultura em condições ótimas de umidade, fertilidade e salinidade, com a evapotranspiração de referência nos diferentes estágios

de seu desenvolvimento (ALLEN *et al.*, 1998). Portanto, corresponde ao total de água perdida pela planta e pelo solo para a atmosfera de forma que a evapotranspiração da cultura e a sua quantificação definirão a lâmina líquida requerida (OLIVEIRA, 2021).

De acordo com Oliveira e colaboradores (2020), a definição da evapotranspiração se torna essencial para a definição da lâmina de irrigação a ser aplicada no dado sistema, pois é a partir dela que se estima o consumo de água pelas plantas. Este parâmetro pode ser estimado por diversos métodos, baseados em dados meteorológicos, que de forma geral são muito complexos e de difícil aplicação, por exigirem muitos elementos meteorológicos. O método de Penman-Monteith, é considerado o padrão pela *Food and Agriculture Organization* (FAO), por ser muito preciso e apresentar excelentes resultados em diferentes condições climáticas. Para estimá-lo, são necessários os dados de temperatura, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento (LI *et al.*, 2016). Porém, quando não há a disponibilidade de todos esses dados, são utilizados métodos mais simples, como o método de Hargreaves Samani e Jensen Haise que aplicam como base, a temperatura do ar, fotoperíodo e radiação solar (COUTINHO *et al.*, 2020).

As hortaliças são um grupo de espécies muito sensíveis às mudanças em temperatura e necessidade hídrica, portanto a irrigação na produção de hortaliças é muito importante para que haja uma produção rentável (CLEMENTE; HABER, 2012). Na cultura da pimenta, a necessidade hídrica é variável em relação ao tempo do seu ciclo de vida e ao sistema de irrigação implantado (MAROUELLI; SILVA, 2011).

Segundo Marouelli e Silva (2011), as pimentas necessitam em média para completar seu ciclo, cerca de 500 mm a 800 mm, e de até 1000 mm para cultivares com ciclo mais longo. No caso da necessidade diária, a mesma é calculada pela evapotranspiração da cultura, que pode variar entre 4 a 10 mm/dia para atingir a produção máxima. Na tabela 1, são apresentados os diferentes coeficientes de cultivo (kc), em relação a sua fase de desenvolvimento, sistema de irrigação e a profundidade efetiva das raízes (z) da cultura da pimenta.

Tabela 1 - Coeficiente de cultivo da pimenta.

Fase	Kc		Z(cm)
	Aspersão/sulco	Gotejamento	
Inicial	0,35	0,4	5-10
Vegetativa	0,60	0,50	10-20
Reprodutiva	1,05	1,0	20-30
Maturação	0,85	0,80	30-50

Kc - Coeficiente da cultura; Z - Profundidade. *Se o destino da produção de pimentas é para páprica ou molhos líquidos, usar Kc de 0,75 para aspersão ou sulco e 0,70 para gotejamento.

Fonte: Adaptado de: MAROUELLI.; SILVA, 2011.

Entretanto, mesmo utilizando os valores dos coeficientes de cultivos tabelados, a precisão na estimativa hídrica de cultivo pode variar muito, uma vez que, os dados foram estimados em condições climáticas e agrônômicas diferentes de grande parte das regiões de cultivo brasileiras (SANTANA *et al.*, 2018). O autor ainda afirma que, é importante que haja uma calibração desses dados de cultivo, de forma que evite a superestimação ou subestimação de lâminas de irrigação para cada cultura, em regiões distintas do país.

Segundo Gomes e colaboradores (2006), existe uma escassez de informações em relação as necessidades hídricas das culturas e de suas respectivas fases vegetativas, que possam suprir o manejo das irrigações. Diante da carência de informações a respeito desses parâmetros, na maioria das vezes, a irrigação é baseada em informações empíricas e com base no senso prático do irrigante, demonstrando a necessidade do estudo desses parâmetros para um manejo eficiente (GOMES *et al.*, 2006).

No momento em que a água se torna um fator limitante na produção agrícola, a utilização da irrigação com déficit hídrico controlado permite utilizar a água de forma racional de maneira que a produtividade não seja afetada, se tornando uma importante estratégia para o manejo de irrigação (RAMOS *et al.*, 2012). Dessa maneira, é relevante selecionar cultivares mais resistentes aos estresses abióticos, com objetivo de minimizar os possíveis problemas e utilizar a irrigação de uma maneira racional, reduzindo o uso da água (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2012).

3.6 A água na planta

A água é um elemento essencial na manutenção dos processos bioquímicos das plantas e em tecidos metabolicamente ativos, atuando como solvente, constituindo de 80 a 95% de massa fresca em vegetais vivos não lenhosos e de 35 a 75% em tecidos lenhosos (KERBAUY, 2013). Dessa forma, a água é essencial como solvente de compostos orgânicos e inorgânicos, responsável pelo transporte de nutrientes nos tecidos vasculares, no equilíbrio de temperatura e na fotossíntese (KERBAUY, 2013).

Para que ocorram os processos celulares nos vegetais, é necessário que haja o transporte de moléculas entre células, tecidos, do solo para raízes e de folhas para atmosfera (KERBAUY, 2013). Segundo o mesmo autor, nas plantas ocorrem dois processos, o de difusão que envolve um movimento espontâneo de substâncias de regiões mais concentradas, para regiões de concentração menor, e quando ocorre a difusão da água por meio de barreiras seletivas permeáveis, é denominada osmose. O outro processo é denominado de fluxo de massa, que ocorre com o movimento de partículas de um fluido em resposta ao gradiente de pressão, ou seja, a concentração de íons na solução do solo e a transpiração do vegetal determinará a quantidade transportada por esse mecanismo (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), de toda água absorvida pelas raízes das plantas, cerca de 97% é transportada e evaporada pelas superfícies foliares, processo definido como transpiração. Em contrapartida, somente uma pequena porção de água absorvida pelo sistema radicular, é utilizada para o processo de crescimento da planta, representando cerca de 2% e 1% utilizada para realizar os processos metabólicos e nas reações bioquímicas da fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2017). Portanto, o processo de perda de água por transpiração ocorre na condição de diferença de pressão ou concentração de vapor de água entre o meio externo e a planta (VIEIRA *et al.*, 2010). Desse modo, trata-se de um processo de absorção de água feita majoritariamente por fluxo de massa (KERBAUY, 2009).

Segundo Bonetti e Fink (2020), de modo simultâneo com a absorção da água, são absorvidos os nutrientes minerais, responsáveis pela nutrição da planta e distribuídos através dos tecidos vasculares. Os autores afirmam que, para a planta realizar todas suas funções fisiológicas, é fundamental que exista um equilíbrio no solo, entre a parte mineral, orgânica e os espaços porosos que são constituídos por ar e água.

De acordo com Taiz e Zeger (2013), a água é um fator essencial para o crescimento celular das plantas, pois é um processo relacionado com a divisão e alongamento celular. No alongamento celular, ela tem um papel importante para turgescência celular para o

afrouxamento da parede celular, promovida pela sinalização de auxina na célula, proporcionando assim o crescimento e alongamento celular (TAIZ; ZEIGER, 2013).

No processo fotossintético, a água é ótima doadora de elétrons para cadeia de transporte de elétrons. A água quebrada em hidrogênio e oxigênio doa elétrons, que irão ser transferidos para uma série de conjuntos de proteínas que participam na cadeia de transporte de elétrons. (TAIZ; ZEIGER, 2009).

É incontestável a importância da água na manutenção e funcionamento de todos os processos bioquímicos nas espécies vegetais (BIANCHI, GERMINO e SILVA, 2017). Em condições de estresse hídrico pode ser causado pela limitação ou excesso de água, ocasionando diversos distúrbios fisiológicos e bioquímicos na planta.

O déficit hídrico é um problema que acontece em diferentes ecossistemas agrícolas ou naturais, causado por longos períodos instáveis de precipitação pluviométrica ou mesmo contínuos de seca (TAIZ; ZEIGER, 2017). Assim, o déficit hídrico é um termo que pode ser definido como, o instante em que uma célula ou tecido vegetal está com um volume de água abaixo de sua capacidade máxima de hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2013). Segundo Neto e Borém (2011), entre os estresses abióticos, o déficit hídrico é um dos principais fatores que tem reduzido de forma significativa a produtividade das culturas em todo o mundo.

De acordo com Lopes e Lima (2015), o processo de déficit hídrico é iniciado no período em que a taxa de transpiração se torna maior que a taxa de absorção hídrica da planta, momento em que as células e tecidos vegetais perdem a turgescência e se desidratam. Portanto, a partir desse déficit, a planta fecha os estômatos, restringindo o processo de transpiração, com objetivo de evitar a perda de água das células e tecidos (LOPES; LIMA, 2015).

Quando as plantas são submetidas ao déficit hídrico, é desencadeada uma série de alterações nos processos fisiológicos, principalmente a fotossíntese, abertura estomática, síntese de proteínas, hormônios e atividade enzimáticas (SELEIMAN *et al.*, 2021). O autor complementa que, essas alterações fisiológicas e bioquímicas, variam de acordo com o estágio fenológico do vegetal. Por exemplo, se ocorre um déficit na fase de floração, pode ocorrer uma diminuição no número de frutos, já na fase de crescimento e maturação dos frutos, pode provocar a redução da qualidade e rendimento de grãos (SOBHANIAN; PAHLAVAN; MEYFOU, 2020).

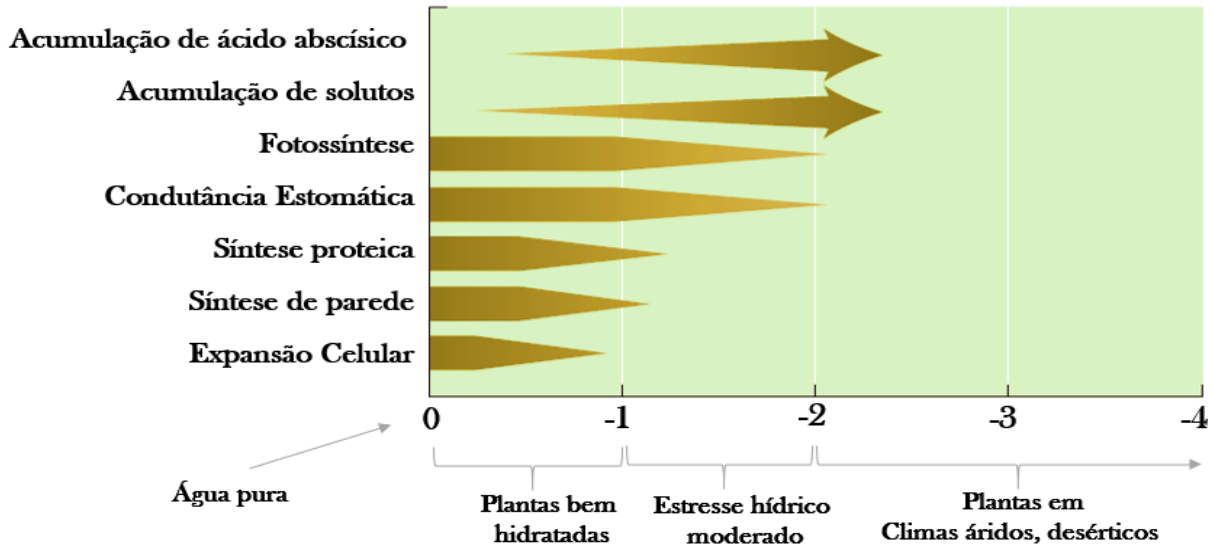
Segundo Gonçalves e colaboradores (2010), a clorofila é o principal pigmento atingido pelo déficit hídrico, provocando sua degradação no cloroplasto o que conseqüentemente reduz o processo fotossintético, que estão presentes nas folhas, modificando seu ciclo de absorção de energia luminosa. O menor teor de clorofila reduz a atividade das

enzimas do Ciclo de Calvin, uma vez que uma menor produção de ATP E NADPH na cadeia de transporte de elétrons (SUN *et al.*, 2017). Além disso, esse déficit pode causar o aumento da resistência a abertura estomática e o menor fluxo de CO₂ dentro dos cloroplastos, pois nesse instante de abertura a planta absorve o CO₂ e perde água para atmosfera pela evapotranspiração, portanto ela paralisa o processo para evitar perda de água (PELOSO; TATAGIBA; AMARAL, 2017).

Na fotossíntese, o déficit hídrico causa limitações, devido à exposição dos vegetais ao excesso da energia livre disponível, podendo causar estresse oxidativo, a partir da geração de oxigênio reativo nos cloroplastos causando danos no fotossistema II (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Portanto, o déficit hídrico causa todo um distúrbio nos principais processos fisiológicos das plantas, de forma que elas ativem mecanismos de defesa para minimizar esses problemas. Dessa maneira, na Figura 1 podemos observar os processos afetados pelo déficit hídrico, e quais são os níveis afetados por cada processo. A expansão celular foi o processo mais afetado pelo déficit hídrico, pois um dos primeiros mecanismos afetados nas plantas é a inibição do crescimento de caule e folhas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Figura 1 - Mudanças fisiológicas quando submetidas ao déficit hídrico.



Fonte: Adaptado: DE HSIAO; ACEVEDO¹, 1974 *apud* TAIZ; ZEIGER, 2017.

Dessa maneira, a deficiência hídrica, tem provocado alterações fisiológicas em plantas, tornando-se a produtividade limitada, com menor desenvolvimento das culturas, com

¹ DE HSIAO, T. C.; ACEVEDO, E. Plant responses to water deficits, efficiency, and drought resistance. *Agricultural Meteorology*, v. 14, p. 59-84, 1974.

folhas pequenas, entrenós curtos, diminuindo a área de fotossíntese, provocando abortamento de flores e enrolamento de folhas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

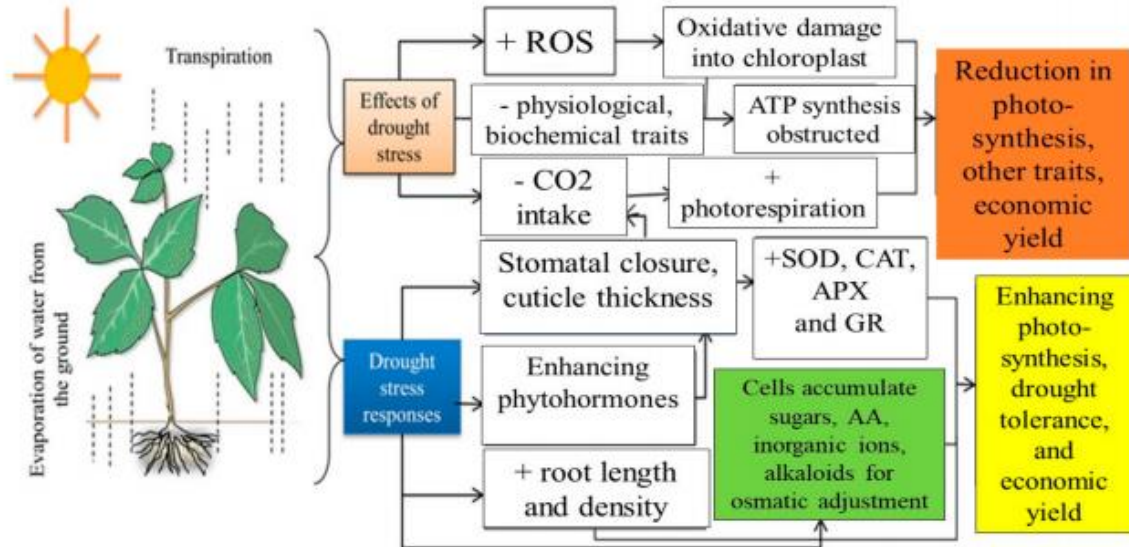
3.7 Mecanismos de tolerância ao déficit hídrico

As plantas possuem mecanismos fisiológicos, metabólicos e morfológicos, capazes de responderem às condições desfavoráveis do ambiente, de maneira que elas possam tolerar adaptar ou se aclimatizar diante das condições impostas. Dessa forma, esses mecanismos são capazes de evitarem efeitos do déficit hídrico, possibilitando a reparação de danos, exceto em casos extremos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Esses mecanismos complexos de resistência e adaptação estão relacionados com características genéticas, que diferem de acordo com cada espécie e as diferentes condições ambientais expostas (SELEIMAN *et al.*, 2021).

De acordo com Seleiman e colaboradores (2021), existe uma forte correlação entre o crescimento e a disponibilidade de água, uma vez que, afeta significativamente o alongamento e a extensibilidade da parede celular. Este mesmo autor demonstra que há uma rede complexa com diversos eventos metabólicos que são afetados pelo déficit hídrico.

Entre os eventos, formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) causam danos oxidativos nos cloroplastos, culminando com a diminuição da fotossíntese. Em contrapartida, as plantas apresentam respostas em decorrência da diminuição da disponibilidade de água, com o aumento do tamanho e volume de sistema radicular, além do fechamento estomático e a produção e ativação de enzimas do sistema antioxidante para reduzir os possíveis danos causados pela escassez de água (Figura 2).

Figura 2 - Efeitos adversos e adaptações das plantas ao estresse hídrico.



Fonte: Adaptado de: ULLAH *et al.*², 2017 *apud* SELEIMAN *et al.*, 2021.

Nas plantas, a tolerância ao déficit hídrico pode decorrer de uma maior ou menor intensidade, fator que depende principalmente das características específicas de cada espécie, cultivar e estágio de desenvolvimento (ANJUM *et al.*, 2016). Este mesmo autor explica que, as plantas podem manifestar tolerância, quando suportam as condições desfavoráveis, ou suscetibilidade em casos de redução de crescimento, ou de mortalidade em decorrência da intensidade do estresse.

Os mecanismos de tolerância ao déficit hídrico em plantas são divididos em escape, retardo e tolerância (HU; XIONG, 2014; SELEIMAN *et al.*, 2021). No escape as plantas aceleram o seu desenvolvimento fenológico através da plasticidade fenotípica. No caso do retardo, a planta previne a desidratação celular, através do crescimento radicular, fechamento estomático, redução da transpiração ou armazenamento de água em tecidos. Já na tolerância, a planta mantém o funcionamento do metabolismo, através da expressão de genes, por meio de proteínas de defesa, vias metabólicas e metabólitos de defesa.

² ULLAH, A. *et al.* Drought coping strategies in cotton: increased crop per drop. **Plant Biotechnology Journal**, v.15, p. 271-284, 2017.

3.7.1 Desenvolvimento fenológico

O desenvolvimento fenológico acelerado é uma estratégia de escape que as plantas possuem como forma de manter a perpetuação da espécie (TEKLE; ALEMU, 2016; RASOOL *et al.*, 2019). Segundo os mesmos autores, quando uma planta é submetida ao déficit hídrico, ela acelera seu processo de desenvolvimento, chegando ao florescimento e à maturidade fisiológica precoce para direcionar seus fotoassimilados para os frutos.

Dessa maneira, para acelerar o desenvolvimento fenológico, através dos mecanismos de defesas as plantas diminuem o número de folhas e espessura do caule, para acelerar seu processo de desenvolvimento, estimulando um menor crescimento da parte aérea, como mecanismo de tornar o ciclo mais precoce, mesmo em condições extremas (TAIZ; ZEIGER, 2017). Essa resposta ao déficit hídrico depende da intensidade do déficit hídrico, e principalmente pela influência do genótipo da planta. (KOOYERS, 2015).

Morales e outros (2015) verificaram as características morfofisiológicas do tomate quando submetido a diferentes níveis de déficit hídrico e observaram a redução da massa foliar com o menor número de folhas por planta. Os mesmos autores explicam que, a partir do mecanismo de desenvolvimento fenológico a planta acelera o processo de senescência e abscisão foliar para reduzir a demanda de água no solo e reduzir os níveis de transpiração.

3.7.2 Plasticidade Fenotípica

A plasticidade é um termo referente à capacidade que as plantas possuem em alterar seu fenótipo, quando submetidas às condições de estresses abióticos e bióticos. Dessa maneira, esse mecanismo é capaz de alterar alguns processos importantes na fisiologia e morfologia das plantas, como por exemplo, resultar em mudanças anatômicas adaptativas, que evitem alguns efeitos negativos dos estresses abióticos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Assim, quando submetidas ao déficit hídrico, as plantas se adaptam ao ambiente, como forma de minimizar a perda de água e sintetizá-la de maneira mais eficiente, evitando problemas no seu desenvolvimento e seu metabolismo. Como exemplo, elas podem modificar as características morfológicas das folhas, a orientação foliar, o número de tricomas e espessura das cutículas a fim de mitigar os efeitos adversos do déficit hídrico (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Essas características morfológicas e anatômicas são adaptações que as plantas criaram ao longo de décadas, para sobreviverem em condições ambientais adversas e conseguirem manter suas espécies perpetuadas. Dessa forma, essas adaptações foram resultadas

das relações de cada organismo com o ambiente e principalmente das características genéticas do indivíduo, gerando fenótipos muito particulares para cada espécie (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Lima e colaboradores (2016) verificaram os impactos causados pelo déficit hídrico na cultura do pimentão, concluindo que a disponibilidade hídrica no solo, interferiu de maneira significativa no diâmetro e comprimento do caule e número de frutos. Assim, através dos mecanismos de defesa morfológicos, as plantas se adaptaram as condições de déficit hídrico e apresentaram uma ótima produtividade.

Em pesquisas realizadas por Androcioni e colaboradores (2020), analisaram a influência do déficit hídrico em genótipos de feijão e observaram que a falta de água induziu mudanças fisiológicas nas plantas, alterando as características morfológicas, como espessura de caule, número de frutos e folhas em condições de déficit hídrico. Resultados semelhantes foram descritos por Marinho (2016), avaliando o efeito de diferentes lâminas de irrigação em pimenta Tabasco.

Concluíram que o déficit hídrico quando iniciado na fase vegetativa, promoveu uma economia de 20% de água sem causar redução na produtividade. Entretanto, foi observado que as plantas apresentaram adaptações morfofisiológicas, como redução do diâmetro do colo de caule, redução do crescimento da planta e redução do potencial de água no tecido foliar, como mecanismo de defesa, com objetivo de manter a planta sobrevivendo sob condições de déficit hídrico.

3.7.3 Fechamento Estomático

Durante o período de déficit hídrico, as plantas de forma instantânea ativam o mecanismo de retardar a perda de água, através do fechamento do estomático (TAIZ; ZEIGER, 2017). Os mesmos autores citam que, o fechamento estomático é uma estratégia de defesa contra a seca, na qual em resposta a ação do ácido abscísico, fecha suas estruturas especializadas que fazem as trocas gasosas com meio, para evitar a transpiração e manter o turgor das células.

Quando as plantas são submetidas às condições déficit hídrico, o processo de fechamento estomático é desencadeado pelo aumento da concentração de ácido abscísico nas folhas de maneira instantânea (TAIZ; ZEIGER, 2017). Portanto, os autores afirmam que o fechamento é causado por uma redução na pressão de turgor, que vai em direção ao grande fluxo de K^+ e ânions derivados das células guardas. Dessa forma, a ativação de canais

especializados de efluxo iônico na membrana plasmática é obrigatória para a perda de K^+ e ânions em alta escala provenientes das células guardas.

Com o fechamento estomático, a planta consegue perder uma menor quantidade de água por unidade de assimilação de carbono, proporcionando uma maior eficiência da sua utilização nas plantas submetidas ao estresse (BARROS *et al.*, 2020). Além disso, por meio da regulação estomática, as plantas podem evitar outros inúmeros problemas que afetariam o desempenho agrônômico (ORSINI *et al.*, 2012).

Entretanto, com o fechamento estomático, há uma menor inibição do fluxo de CO_2 e absorção dos nutrientes pelo sistema radicular (GONZAVELES *et al.*, 2008). Portanto, como cerca de 90% da produção vegetal ocorre em resposta a fotossíntese, o fechamento estomático pode causar uma redução drástica na fotossíntese total, conseqüentemente reduzindo a produtividade (SILVA R. *et al.*, 2015).

Em estudo realizado por Serrano e colaboradores (2017), foi avaliado a influência da condutância estomática em plantas do gênero *Capsicum*, sob déficit hídrico. Com isso, foi observado que ocorreram alterações causando o fechamento estomático, demonstrando que ocorreu inibição do crescimento da planta, principalmente pela redução fotossintética em decorrência da menor absorção de água pela planta.

Em uma pesquisa foi analisado a influência das trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela, sob diferentes lâminas de irrigação. Com isso, concluíram que a partir do decréscimo da disponibilidade hídrica na planta, ocorre o fechamento estomático causando problemas no funcionamento do processo fisiológico e reduzindo a taxa de fotossíntese (SILVA F. *et al.*, 2015).

Em estudos realizados por Wilduri e colaboradores (2020), avaliando as alterações morfológicas e fisiológicas em pimentas malaguetas sob déficit hídrico, observaram uma redução da taxa de transpiração. Com esse resultado, puderam concluir que a planta limitou a absorção da água através de um mecanismo de defesa, como forma de reduzir a perda de água para o ambiente.

Morales e colaboradores (2015) verificaram a taxa de transpiração do tomate quando submetido a diferentes níveis de déficit hídrico e observaram a redução da transpiração em decorrência da disponibilidade de água para planta. Assim, com a redução da transpiração, a planta reduziu também a quantidade de água intercelular, com objetivo de aumentar a eficiência da utilização da água pela planta.

3.7.4 Adaptação do sistema radicular

Outra estratégia das plantas para suportar o déficit hídrico, é a adaptação de um sistema radicular profundo e com maior presença de pelos radiculares, para aumentar a superfície de contato, com maior capacidade de absorção de água (ALSINA *et al.*, 2011). Segundo o mesmo autor, com um sistema radicular bem desenvolvido, as plantas conseguem absorver água em camadas profundas, evitando ao máximo ao déficit hídrico.

Portanto, quando submetidas ao déficit hídrico, as plantas inibem o crescimento do caule e de expansão celular, promovendo o estímulo do alongamento das raízes. Esse crescimento radicular, é estimulado pelo ácido abscísico, que em condições de estresse, induz o crescimento radicular e a emergência de raízes laterais (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, acontece o aumento significativo das raízes em relação as folhas como uma resposta conveniente à redução na disponibilidade de água, se tornando uma adaptação a seca, evitando algum problema nos processos fisiológicos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Segundo estudos conduzidos por Santos e colaboradores (2020), verificaram uma diferenciação do tamanho do sistema radicular na produção da pimenta cultivar tabasco, sob déficit hídrico. Com isso, em condição de déficit hídrico de maior intensidade, as raízes de pimenta atingiram maiores comprimentos, o que pode ser explicado como uma forma de adaptação da planta às condições ambientais desfavoráveis. Portanto, esta estratégia teve como objetivo facilitar a absorção de água e nutrientes em camadas mais profundas do solo.

Resultados promissores foram encontrados por Foday e colaboradores (2012), em que foi observada uma economia de 40% de água no ciclo da cultura da pimenta, de maneira que não houve reduções na produtividade final da cultura em condições de déficit hídrico e molhamento parcial das raízes nas fases vegetativa e reprodutiva, em ambiente protegido. Além disso, observou-se o aumento do comprimento do sistema radicular, causando mudanças anatômicas nas raízes como estratégia de melhorar a capacidade de absorção de água.

Soares e colaboradores (2020) analisaram o efeito do déficit hídrico na produtividade e desenvolvimento radicular de pimenta ornamental. Com isso, foi observado que as plantas submetidas ao déficit hídrico, apresentaram um maior número de frutos, em comparação com as demais irrigações. Portanto, mesmo em condições de déficit hídrico, as plantas apresentaram mecanismos que puderam produzir frutos com qualidade comercial.

3.7.5 Ajustamento Osmótico

O ajustamento osmótico é um outro importante mecanismo de tolerância ao déficit hídrico, que está relacionado ao acúmulo de substâncias osmóticas ativas nas células, como aminoácidos, carboidratos, e compostos nitrogenados (SINGH *et al.*, 2015). Esse mecanismo, é considerado um dos mais importantes e eficazes para manutenção da turgescência celular, sob condições de baixa concentração de água no solo (MARIJUAN; BOSCH, 2013).

Esse mecanismo é responsável por aumentar a concentração da solução nas células e redução do potencial osmótico, favorecendo uma maior retenção celular, além de auxiliar na manutenção de absorção radicular em solos com potencial hídrico baixo (KIDO *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2015). Além disso, o acúmulo de solutos confere na osmoproteção e contribui para defesa das plantas, contra os efeitos causados pelo déficit hídrico, através da proteção da integridade de membranas, eliminação de ROS, e estabilização de enzimas e proteínas (BLUM, 2017).

O processo de ajuste osmótico pode acontecer por meio de duas maneiras, por meio do acúmulo de íons nos vacúolos, através da absorção e de transporte de íons por outros órgãos das plantas para o sistema radicular, ou por meio do acúmulo de solutos compatíveis no citoplasma. Os solutos compatíveis são encontrados em grandes quantidades, e não causam efeitos nocivos ao metabolismo, por serem compostos orgânicos osmoticamente ativos nas células (TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, com o acúmulo desses solutos, o potencial hídrico foliar se torna mais negativo (menor), favorecendo assim o movimento da água do sistema radicular para as folhas, por consequência, colaborando para turgescência das mesmas (OLIVEIRA, 2017).

Aranha (2020), em que avaliou as respostas bioquímicas, metabólicas e moleculares em pimentas dedo-de-moça sob déficit hídrico. Como resultado, foi observada uma redução no potencial osmótico das folhas de pimenta, com um aumento significativo da concentração de solutos, permitindo a abertura estomática e atividade fotossintética.

Conclusões similares foram descritas por Silveira (2018) que avaliou o ajustamento osmótico da batata inglesa (*Solanum tuberosum*) em decorrência de diferentes condições de déficit hídrico. Nesta pesquisa, foi observado que as plantas acumularam maiores teores de substâncias osmóticas ativas nas células, concluindo que esse mecanismo atua de forma eficiente na manutenção da turgescência celular.

3.7.5.1 Açúcares

O acúmulo de açúcares nas células é um outro mecanismo de defesa importante para as plantas, como objetivo de manter o conteúdo de água em situação de déficit hídrico (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2017). Os mesmos autores citam que os açúcares solúveis são responsáveis por protegerem as células vegetais durante os períodos de déficit hídrico, com a formação de um estado viscoso no interior das células, reduzindo os processos bioquímicos e minimizando atividades reativas capazes de metabolizar o oxigênio.

Além disso, os açúcares solúveis são capazes de atuar no ajustamento osmótico das plantas, através da redução do potencial hídrico. Esse ajuste está relacionado à tolerância ao processo de dessecação, momento em que são acumulados os açúcares, com objetivo de reduzir o potencial hídrico e um maior acúmulo hídrico celular (BIANCHI; GERMINO; SILVA, 2017).

Em um experimento realizado por Aranha (2020), objetivou determinar os teores de aminoácidos, açúcares em pimenta dedo-de-moça em condições de déficit hídrico. Dessa forma, foi observado o acúmulo de açúcares, principalmente de frutose e glicose, atuando como uma necessidade de ação osmoprotetora.

De acordo com os estudos de Yang e colaboradores (2018), averiguaram a produção de pimenta malagueta sob déficit hídrico e evidenciaram o aumento dos sólidos solúveis totais nos frutos. Os valores de sólidos solúveis totais nos frutos de pimenta em déficit hídrico nos estágios intermediário e tardio foram maiores em comparação ao tratamento com irrigação total. Dessa maneira, pode-se concluir que esse acúmulo de sólidos foi um mecanismo de defesa da planta com objetivo de protegerem as células vegetais durante as condições adversas.

3.7.5.2 Prolina

O acúmulo de prolina tem uma função osmoprotetora, capaz de proteger as plantas de subprodutos tóxicos e principalmente durante períodos de escassez hídrica, acarretando no aumento da fonte de carbono e de nitrogênio para células desidratadas (SILVA, R. *et al.*, 2015). Quando submetidas ao déficit hídrico, o acúmulo da prolina, resulta no aumento da osmolaridade das células, proporcionando a redução no efluxo ou influxo da água, regulando a manutenção do turgor celular (ELKELISH *et al.*, 2020).

As prolina são capazes de manter a integridade das membranas, com objetivo de evitar a desnaturação proteica, por meio da interação com outras proteínas e enzimas,

preservando suas atividades e estruturas (SILVA, R. *et al.*, 2015). Plantas sob déficit hídrico, podem aumentar cerca de 100 vezes mais prolina, quando comparadas as plantas cultivadas em condições ideais (VERBRUGGEN; HERMANS, 2008).

Conforme o experimento realizado por Aranha (2020) que objetivou avaliar as respostas bioquímicas em pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum*), na fase de frutificação. Nessa pesquisa, foi observado o acúmulo de prolina em genótipos pungentes, o que pode ter contribuído para melhor tolerância do genótipo ao déficit hídrico.

Bobadilha e colaboradores (2020), avaliaram o acúmulo de prolina em pimenta malagueta, sob déficit hídrico. Assim, obtiveram como resultado um maior acúmulo de prolina no tratamento com déficit hídrico com recuperação gradual. Concluindo que nessa condição, a prolina atuou como mecanismo de defesa atuando na regulação osmótica.

Magana e outros (2019), observaram o papel dos osmólitos reguladores glicina, betaína e prolina em plantas do gênero *Capsicum* sob diferentes condições de déficit hídrico. Nesta pesquisa, os resultados obtidos demonstraram que o teor de prolina em plantas sob déficit hídrico é alto, e conseqüentemente, contribui de forma benéfica para o ajuste osmótico vegetal.

3.7.6 Aquaporinas

Nas plantas, as atividades de regulação e distribuição do volume hídrico nos tecidos vegetais estão diretamente ligadas à capacidade de absorção e transporte que as células suportam (VINNAKOTA *et al.*, 2015). Portanto, as aquaporinas são proteínas integrais presentes nas membranas, capazes de formar canais seletivos de água por meio das membranas. Essas proteínas são capazes de facilitar o movimento hídrico para dentro das células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2017).

As aquaporinas são responsáveis por facilitar não só o fluxo de água, mas também de outras moléculas específicas, como ácido sílico, arsenito e ácido bórico, por meio das membranas plasmáticas dos vegetais, permitindo a regulação de mudanças na permeabilidade em função das condições ambientais adversas (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Sahitya e colaboradores (2019), estudando duas cultivares de pimenta malagueta, avaliaram a expressão dos genes de aquaporinas em folhas e parâmetro fisiológicos, durante a exposição em déficit hídrico. Como resultado, observaram uma maior expressão dos genes de aquaporinas em condições de menor disponibilidade de água, proporcionando um melhor desempenho fotossintético na cultura quando submetida ao estresse hídrico.

Yin e colaboradores (2015), verificaram a expressão dos genes relacionados às aquaporinas em plantas de pimenta calabresa sob déficit hídrico. Assim, como resultados observaram um aumento significativo da expressão dos genes, quando comparada às plantas irrigadas, favorecendo mesmo em condições adversas o desenvolvimento das plantas.

3.7.7 Proteínas *Late Embriogenesis Abundant* (LEA)

O grupo de proteínas LEA, tem sido outro mecanismo de tolerância a longos períodos de estresse hídrico nas plantas, ligado a função enzimática e prevenção da agregação nesses períodos adversos. No momento de déficit, as plantas aumentam a produção dessas proteínas, que se acumulam nos tecidos vegetais que estão sob desidratação, por serem proteínas altamente hidrofílicas (FRACASSO; TRINDADE; AMADUCCI, 2016).

Segundo Taiz e Zeiger (2017), a maioria das proteínas LEA é pertencente aos grupos denominados de hidrofilinas, que têm uma forte atração por água, atuando de forma semelhante às proteínas de estabilização de proteínas e de membranas no momento de desidratação. Como elas possuem forte atração por água, são capazes de reduzirem a agregação de proteínas sensíveis ao déficit hídrico, propriedade denominada de proteção molecular (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Lim e colaboradores (2018) realizaram um estudo sobre a expressão das proteínas LEA na pimenta quando submetidas ao déficit hídrico. Nesta pesquisa, concluíram que as proteínas atuam como um regulador positivo para tolerar o déficit hídrico, através da regulação de respostas gênicas, por meio da sinalização mediada pelo ácido abscísico.

Em um estudo realizado por Lee e colaboradores (2018), avaliaram a expressão da LEA promovida pela sinalização do ácido abscísico, atuando como reguladores a tolerância a seca em pimentas. Como resultado, concluíram que a expressão gênica da LEA, foi maior quando submetidos ao déficit hídrico e que auxiliam positivamente para sinalização do ácido abscísico nessas condições adversas.

3.7.8 Proteínas de Choque Térmico

As proteínas de choque térmico (HSP), são ricas em metionina e são importantes no funcionamento e proteção do processo fotossintético, mais específico no transporte de elétrons do fotossistema II, durante períodos de estresses hídricos (SHAKEEL *et al.*, 2011;

KIM *et al.*, 2012). Elas ainda auxiliam e previnem a agregação de proteínas sob condições de estresse (XU; HUANG, 2010).

De acordo com Taiz e Zeiger (2017), as proteínas de choque térmico, sintetizam respostas a outras condições ambientais adversas, como exibem melhora na tolerância térmica, tornando as plantas tolerantes a exposição de temperaturas mais altas. Além disso, elas são induzidas em condições de déficit hídrico, temperaturas baixas e lesões.

Em estudos realizados por Feng e colaboradores (2019), verificaram a ação das proteínas de choque térmico em plantas de pimenta sob déficit hídrico. Com isso, foi observado que houve uma super expressão dos genes relacionados às proteínas. Dessa forma, concluíram que as proteínas conferem tolerância ao déficit hídrico, reduzindo o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, aumentando a atividade antioxidante além de regulação da expressão de outros genes relacionados ao déficit hídrico.

Huang e colaboradores (2019), observaram o papel das proteínas de choque térmico em plantas do gênero *Capsicum* sob diferentes condições de déficit hídrico. Nesta pesquisa, os resultados obtidos demonstraram que existe uma expressão significativa dessas moléculas nas plantas submetidas ao déficit, indicando que elas atuaram no auxílio e prevenção da agregação de proteínas.

3.7.9 Espécies reativas de oxigênio

Em situações de déficit hídrico, as plantas são induzidas a produzirem uma excessiva quantidade de espécies reativas de oxigênio (EROs), em diversas organelas celulares, como cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomas (FANG; XIONG, 2015). As principais espécies reativas de oxigênio são o peróxido de hidrogênio, radical hidroxila, oxigênio singlete e radicais superóxido.

Em baixas concentrações as espécies reativas de oxigênio, na sinalização para promover a expressão de genes envolvidos com a tolerância ao déficit hídrico. Assim, essas substâncias, têm sido responsáveis por influenciar inúmeros genes ligados ao metabolismo ou em vias de tradução de sinais, agindo como mensageiros secundários ou moléculas sinalizadoras em condições ambientais adversas (BARBOSA *et al.*, 2014).

Bobadilha e colaboradores (2020) analisaram o acúmulo de prolina em plantas de pimenta malagueta em diferentes níveis de déficit hídrico. Portanto, obtiveram como resultado em condições de déficit hídrico acentuado houve significativamente maior atividade de expressão gênica para peroxidase e superóxido dismutase, sugerindo aumento da atividade

antioxidante enzimática com objetivo de neutralizar as espécies reativas de oxigênio (BOBADILHA *et al.*, 2020).

Tang e Nawata (2019) analisaram as respostas fisiológicas e expressões gênicas em plantas de pimentão enxertadas, quando submetido a diferentes níveis de déficit hídrico. Dessa maneira, observaram o aumento na expressão de genes antioxidantes relacionados a superóxido dismutase, catalase e ascobato de peroxidase.

Portanto, concluíram, que as pimentas malaguetas podem ser usadas como porta enxerto, por se adaptarem às condições de déficit hídrico e na expressão de genes antioxidantes.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura possibilitou a compreensão da importância da cultura da pimenta nos aspectos sociais, econômicos e alimentares. Além disso, foi importante para destacar sobre o papel da água, pois é considerada um fator fundamental para a produção de alimentos e tem sido um recurso cada vez mais escasso, devido às mudanças climáticas e aumento populacional.

Diante do exposto, foi possível entender como os mecanismos de tolerância ao déficit hídrico atuam na cultura da pimenta. Portanto, é de grande importância realizar estudos para entender ainda melhor como eles atuam, com objetivo de selecionar plantas tolerantes a esse estresse biótico, que tem causado danos a produtividade agrícola.

A seca é o fator mais importante que limita a produção de alimentos, portanto, a utilização da água de maneira sustentável e racional, tem se tornado um desafio para produção de alimentos no mundo. Dessa maneira, entender os mecanismos de defesa ao déficit hídrico, tem sido muito relevante para que através do melhoramento genético de plantas, seja capaz de selecionar indivíduos adaptados às condições de baixa disponibilidade de água.

Nesse contexto, a difusão de conhecimentos de manejo de irrigação em função da demanda hídrica da planta, associado com o conhecimento dos mecanismos de tolerância das plantas, apresenta como objetivo obter informações relevantes para precaver possíveis problemas futuros de escassez hídrica.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (A.N.A). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (A.N.A). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://snirh.gov.br/usos-da-agua/>>. Acesso em: 20 fev. 2021.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. World agriculture towards 2030/2050. **ESA Working paper**, n. 12, p. 146, 2012.
- ALLEN, R. G. *et al.* Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper**. Rome: FAO, n. 56, p. 301, 1998.
- ALSINA, M. M. *et al.* Seasonal changes of whole root system conductance by a drought-tolerant grape root system. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 99-109, 2011.
- ALVES, J. A. *et al.* Characterization, processing potential and drivers for preference of pepper cultivars in the production of sweet or spicy jellies. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 624-633, 2019.
- AMABILE, R. F.; VILELA, M. S.; PEIXOTO, J. R. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. Brasília: Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018.
- ANDROCIOLI, L. G. *et al.* Effect of Water Deficit on Morphoagronomic and Physiological Traits of Common Bean Genotypes with Contrasting Drought Tolerance. **Water**, v. 12, n. 1, p. 217, 2020.
- ANJUM, S. A. *et al.* Effect of progressive drought stress on growth, leaf gas exchange, and antioxidant production in two maize cultivars. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 17, p. 17132-17141, 2016.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI: **Brazilian Horti&Fruti Year book**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz. p. 96, 2020.
- ARANHA, B. C. *et al.* Untargeted Metabolomic Analysis of *Capsicum spp.* by GC-MS. **Phytochemical**, v. 28, n. 5, p. 439-447, 2017.
- ARANHA, B. C. **A Respostas bioquímicas, metabólicas e moleculares de genótipos de pimenta (*Capsicum baccatum*) com níveis distintos de pungência cultivados sob déficit hídrico**. 2020. Tese (Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.
- BARBOSA, M. R. *et al.* Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.

BARROS, D. L. *et al.* **Aplicação de caulim na cultura do mamoeiro e seus efeitos sobre a condutância estomática e temperatura foliar.** 2020. Disponível em: <http://icolibri.com.br/2020/public/biblioteca/inovagri-meeting-virtual-2020/RES1320193>>. Acesso em: 22 fev. 2021.

BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. DE A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu, Cascavel**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2017.

BLUM, A. Osmotic adjustment is a prime drought stress adaptive engine in support of plant production. **Plant Cell Environ**, v. 40, n. 1, p. 4-10, 2017.

BOBADILLA, I. M. *et al.* Differential Response to Water Deficit in Chili Pepper (*Capsicum annuum* L.) Growing in Two Types of Soil Under Different Irrigation Regimes. **Agriculture**, v. 10, n. 381, p. 1-15, 2020.

BONETTI, J. DE A.; FINK, J. R. **Manejo e conservação da água e do solo.** 1. ed. Lavras: UFLA, 2020.

BORGHETTI, J. R. *et al.* **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias.** 1. ed. Brasília: Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, 2017.

BOSLAND, P. W.; VOTAVA, E. J. Peppers: Vegetable and Spice *Capsicum*. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 41, n. 2, p. 102-103, 2013.

CALDAS, A. L. D. *et al.* Manejo da irrigação em diferentes fases fenológicas da pimenta cayenne cultivada em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, CE, v. 10, n. 2, p. 553-564, 2016.

CARLOS, S. M.; CUNHA, D. A. DA.; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2019.

CARNEIRO, C. S. **Melhoramento de pimenta do tipo habanero (*Capsicum chinense* Jacq.): Avanço de geração, avaliação e seleção de genótipos promissores.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

CARVALHO, S. I. C. *et al.* **As Pimentas do gênero *Capsicum* no Brasil.** 2006. Disponível em: <file:///C:/Users/marce/OneDrive/Área%20de%20Trabalho/Downloads/digitalizar0169.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2021.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos.** 1. ed. Lavras: Editora UFLA, 2009.

CLEMENTE, F. M. V. T.; HABER, L. L. **Horta em pequenos espaços.** 1. ed. Brasília: Embrapa, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Informativo da**

classificação anual de comercialização por quantidades da Ceasa 2017/2018. 2018. Disponível em: <http://www3.ceasa.gov.br/siscomweb/?page=reports.consulta_relatorio_classificacao_hortig_ranjeiro_ranking>. Acesso em: 15 jan. 2021.

COUTINHO, E. R. *et al.* Avaliação de Métodos de Estimativa da Evapotranspiração de Referência (ET_o) Diária para Regiões dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 4, 649-657, 2020.

DHANKHER, O. P; FOYER, C. H. Climate resilient crops for improving global food security and safety. **Plant Cell Environ**, Nova Jersey, v. 41, n. 1, p. 877-884, 2018.

ELKELISH, A. *et al.* Exogenous Ascorbic Acid Induced Chilling Tolerance in Tomato Plants Through Modulating Metabolism, Osmolytes, Antioxidants, and Transcriptional Regulation of Catalase and Heat Shock Proteins. **Plants**, v. 9, n. 4, p. 431, 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA HORTALIÇAS (EMBRAPA HORTALIÇAS). **Irrigação por aspersão em hortaliças: Qualidade da Água, Aspectos do Sistema e Método Prático de Manejo.** 4. ed. Brasília, 2017.

FANG, Y.; XIONG, L. General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 72, n. 4, p. 673-689, 2015.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS STATISTICS DIVISION (FAOSTAT). **Crops: Chillies and peppers.** 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 20 jan. 2021.

FENG, X. H. *et al.* A small heat shock protein CaHsp25.9 positively regulates heat, salt, and drought stress tolerance in pepper (*Capsicum annuum L.*). **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 142, p. 151-162, 2019.

FERRÃO, L. F. V. *et al.* Divergência genética entre genótipos de pimenta com base em caracteres morfoagronômicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 3, p. 354-358, 2011.

FERRÃO, R. G. *et al.* Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incaper em Revista**, v. 6, n. 4, p. 51-71, 2015.

FERRÃO, R. G. *et al.* Melhoramento genético para obtenção da cultivar Marilândia ES 8143, variedade clonal de café conilon tolerante à seca. **Multi-Science Research (MSR)**, v. 1, n. 1, p. 1-18, 2018.

FERRAZ, R. M. *et al.* Caracterização morfoagronômica preliminar de acessos de pimentas cumari. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 4, p. 498-506, 2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.

FODAY, T. I. *et al.* Effect of water use efficiency on growth and yield of hot pepper under partial root-zone drip irrigation condition. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 3, n. 1, p. 1-14, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **FAO no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/901168/>>. Acesso em: 30 jan. 2021.

FRACASSO, A.; TRINDADE, L.; AMADUCCI, S. Drought tolerance strategies highlighted by two Sorghum bicolor races in a dry-down experiment. **Journal of Plant Physiology**, v. 190, p. 1-14, 2016.

GOMES A. R. M. *et al.* Estimativa da evapotranspiração e coeficiente de cultivo da (*Heliconia psittacorum* L. x *Heliconia spathocircinada* arist) cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 13-18, 2006.

GONÇALVES, E. R. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 378-386, abr. 2010.

GONZAVELES, J.L.M. *et al.* Assessing the effects of early silvicultural management on long - term site productivity of 49 faste growing eucalypt plantations: the Brazilian experience. **Southern Forests**, v. 70, n. 2, p. 105-188, 2008.

HORTIFRUTI BRASIL. **Ervas e especiarias. O complemento que faz toda diferença**. v. 14, n. 1, p. 147, 2015.

HU, H.; XIONG, L. Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. **Annual Review of Plant Biology**, v. 65, n. 1, p. 715-741, 2014.

HUANG, L. J. *et al.* CaHSP16.4, a small heat shock protein gene in pepper, is involved in heat and drought tolerance. **Protoplasma**, v. 256, p. 39-51, 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. 2017. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6619>>. Acesso em: 23 de fev. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change and Land**. 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/marce/OneDrive/Área%20de%20Trabalho/4.SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2021.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. Ed. Rio de Janeiro - RJ: Editora: Guanabara Koogan, 2013.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2009.

KIDO, E. A. *et al.* Expression dynamics and genome distribution of osmoprotectants in

soybean: Identifying important components to face abiotic stress. **BMC Bioinformatics**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2013.

KIM, Y. M. *et al.* Overexpression of arabidopsis translationally controlled tumor protein gene *attctp* enhances drought tolerance with rapid ABA-induced stomatal closure. *Molecules and Cells*, v. 33, p. 617-626, 2012.

KOOYERS, N. J. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. **Plant Sci**, v. 234, p. 155-162, 2015.

LEE, S. C. *et al.* The Pepper Late Embryogenesis Abundant Protein, CaDIL1, Positively Regulates Drought Tolerance and ABA Signaling. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1301, 2018.

LI, X. *et al.* Applying segmented Jarvis canopy resistance into Penman-Monteith model improves the accuracy of estimated evapotranspiration in maize for seed production with film-mulching in arid area. **Agricultural Water Management**, v. 178, p. 314-324, 2016.

LIM, J. *et al.*, The Pepper Late Embryogenesis Abundant Protein, CaDIL1, Positively Regulates Drought Tolerance and ABA Signaling. **Front Plant Sci**, v. 9, n. 1301, 2018.

LIMA, A. H. F. *et al.* Pimenta ornamental em bancadas reflexivas colorida em diferentes ambientes protegidos em transição agroecológica. **Agroecol**, Campo Grande, MS, v. 13, n. 2, 2018.

LIMA, G. S. *et al.* Impactos nutricionais e produção de pimentão submetido à deficiência hídrica. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 724-735, 2016.

LOPES, C. A. *et al.* **Pimenta (*Capsicum spp.*): Botânica**. 2007. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pimenta/Pimenta_capsicum_spp/botanica.html>. Acesso em: 15 mar. 2020.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, Viçosa, 2015.

MAGANA, C. E. *et al.* Contribution of glycine betaine and proline to water deficit tolerance in pepper plants. **HortScience**, v. 54, n. 6, p. 1044-1054, 2019.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012.

MARIJUAN, M. P.; MUNNÉ-BOSCH, S. Ecophysiology of invasive plants: Osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 12, p. 660-666, 2013.

MARINHO, L. B. *et al.* Dinâmica da água no sistema solo-planta no cultivo da pimenta tabasco sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 2, n. 1, p. 11-18, 2016.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, H. R. **Árvore do conhecimento Pimenta**. 2011. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/pimenta/arvore/CONT000gn0jdxdz02wx5ok0>>

liq1mq926zww.html#>. Acesso em: 10 fev. 2021.

MARTINS, J. D. *et al.* Potencial Hídrico Foliar Em Milho Submetido Ao Déficit Hídrico. **c**

MIRANDA, F. R. *et al.* Eficiência Do Uso Da Água Na Irrigação Do Coqueiro Anão. **Irriga, Botucatu**, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019.

MIRANDA, T. G. **Caracterização físico-química de genótipos de pimentas (*Capsicum chinense* e *Capsicum annum*)**. 2014. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2014.

MORALES, R. G. F. *et al.* Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 1, p. 09-17, 2015.

NETO, R.F.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 29-38, 2011.

OLIVEIRA, E. M. **Produtividade dos treze clones do cafeeiro conilon Vitória submetido a diferentes lâminas de irrigação**. 2014. Tese (Doutor em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

OLIVEIRA, E. R. *et al.* Evapotranspiração de referência em Januária-MG pelos métodos tanque classe “A” e Hargreaves-Samani. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 1, p. 48-54, 2020.

OLIVEIRA, H. P. *et al.* Respostas fisiológicas de forrageiras ao déficit hídrico e baixas temperaturas. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 14, n. 5, p. 7008-7014, 2017.

OLIVEIRA, R. M. *et al.* Efeito da frequência de irrigação e fósforo nas características biométricas do milho. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.

ORSINI, F. *et al.* Low stomatal density and reduced transpiration facilitate strawberry adaptation to salinity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 81, p. 1-10, 2012.

PELOSO, A. DE F.; TATAGIBA, S. D.; AMARAL, J. F. T. Limitações do crescimento vegetativo em cafeeiro arábica promovido pelo déficit hídrico. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 25, n. 2, p. 139–147, 2017.

PORTO, F. R. C.; SILVA, J. C. Etnobotânica e uso medicinal da pimenta malagueta (*Capsicum frutescens*) pelos horticultores e consumidores da horta comunitária da Vila Poty, Teresina, Piauí, Brasil. **Revista FSA**, Teresina, v. 9, n. 1, p. 139-152, 2013.

RAMOS, H. M. M. *et al.* Estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 576-583, 2012.

RASOOL, S. *et al.* Abiotic Stress and Plant Senescence. In: Senescence Signalling and Control in Plants. **Academic Press**, p. 15-27, 2019.

REGO, E. R. *et al.* Phenotypic diversity, correlation and importance of variables for fruit quality and yield traits in Brazilian peppers (*Capsicum baccatum*). **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, n. 6, p. 909-918, 2011.

RIBEIRO, C. S. C. *et al.* Pimentões e pimentas do gênero *Capsicum*. In: ALBUQUERQUE, A. C.; SILVA, A. G. **Agricultura Tropical - Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 596-607.

SAHITYA, U. L. *et al.* Integrated approaches to study the drought tolerance mechanism in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). **Physiol Mol Biol Plants**, v. 25, n. 3, p. 637-647, 2019.

SANTANA, J. S. *et al.* Diagnóstico da irrigação na agricultura familiar de Imperatriz-MA. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 515-538, jul. 2020.

SANTANA, J. S. *et al.* Regionalização de coeficiente de cultivo do milho para o planejamento da agricultura irrigada no estado do Mato Grosso. **Enciclopédia biosfera**, v. 15, n. 27, p. 20-30, 2018.

SANTANA, M. J. *et al.* Efeitos da salinidade da água de irrigação na brotação e desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) e em solos com diferentes níveis texturais. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1470-1476, 2007.

SANTOS, C. L. M. *et al.* **Teor de água na pimenta biquinho adubada com ureia em solo com diferentes conteúdos de água**. 2020. Disponível em: <<http://icolibri.com.br/2019/public/biblioteca/v-inovagri-meeting/RES0670012>> Acesso em: 22 fev. 2021.

SANTOS, R. P. L. *et al.* Manutenção da qualidade pós-colheita de pimenta de cheiro (*Capsicum chinense*) armazenadas sob atmosfera modificada e refrigeração. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 7, n. 1, p. 241-248, 2019.

SELEIMAN, M. F. *et al.* Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. **Plants**, v. 10, n. 259, p. 1-25, 2021.

SERRANO, L. L. *et al.* Physiological changes of pepper accessions in response to salinity and water stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 15, n. 3, p. 10, 2017.

SHAKEEL, S. *et al.* Ecotypic variation in chloroplast small heat-shock proteins and related thermotolerance in *Chenopodium album*. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 49, n. 8, p. 898-908, 2011.

SIGNORINI, T. *et al.* Diversidade genética de espécies de *Capsicum* com base em dados de isozimas. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 534-539, 2013.

SILVA, F. G. *et al.* Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015.

SILVA, J. F. A.; PEREIRA, R. G. Panorama global da distribuição e uso de água doce. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 263-280, 2019.

SILVA, R. C. B. *et al.* Crescimento inicial de plântulas de melancia submetidas ao aumento da

temperatura e concentrações de CO₂. **Magistra**, v. 27, n. 1, p. 33-43, 2015.

SILVA, T. L. *et al.* Sistema simplificado de tratamento de água residuária doméstica para irrigação de hortaliças. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 315-335, 2020.

SILVEIRA, T. **Resposta ao déficit hídrico e caracterização do sistema radicular de genótipos de batata**. 2018. Dissertação (Mestre em Ciências: Fitomelhoramento) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

SINGH, M. *et al.* Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnology**, v. 14, n. 3, p. 407-426, 2015.

SOARES, F. C. *et al.* Avaliação do efeito do estresse hídrico no desenvolvimento radicular e produção de pimenta ornamental. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 21037-21045, 2020.

SOBHANIAN, H.; PAHLAVAN, S.; MEYFOUR, A. How does proteomics target plant environmental stresses in a semi-arid area. **Molecular Biology Reports**, v. 47, n. 4, p. 3181-3194, 2020.

SOUZA, S. A. M.; MARTINS, K. C.; PEREIRA, T. N. Polimorfismo cromossômico em *Capsicum chinense* Jacq. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 10, p. 1777-183, 2011.

SUN, J. *et al.* The inhibition of photosynthesis under water deficit conditions is more severe in flecked than uniform irradiance in rice (*Oryza sativa*) plants. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 4, p. 464-472, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TANG, W. S.; NAWATA, E. Effect of water stress on the growth, physiological response and antioxidative gene expression of grafted sweet pepper plants. **Agriculture and Natural Resources**, v. 53, p. 581-589, 2019.

TEKLE, A.T.; ALEMU, M. A. Drought tolerance mechanisms in field crops. **World J. Biol. Med. Sci**, v. 3, n. 2, p. 15-39, 2016.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (UNDESA). Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Population Prospects 2019: Highlights** 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf> Acesso em: 12

fev. 2021.

VALERA, O. V. S. **Temperatura base, soma térmica, plastocrono e duração das fases fenológicas de cultivares de pimenta Biquinho**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2017.

VERBRUGGEN, N.; HERMANS, C. Proline accumulation in plants: A review. **Amino Acids**, v. 35, n. 4, p. 753-759, 2008.

VIEIRA, E. L. *et al.* **Manual de Fisiologia vegetal**. 1. ed. São Luís: Editora EDUFMA, 2010.

VINNAKOTA, R. *et al.* A comparison of aquaporin function in mediating stomatal aperture gating among drought-tolerant and sensitive varieties of rice (*Oryza sativa L.*). **Protoplasma**, v. 253 n. 6, p. 1593-1597, 2015.

WAGNER, C. M. **Variabilidade e base genética da pungência e de caracteres do fruto: Implicações no melhoramento de uma população de *Capsicum annum***, 2003. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, 2003.

WILDURI, L. I. *et al.* Short-term drought exposure decelerated growth and photosynthetic activities in chili pepper (*Capsicum annum L.*). **Annals of Agricultural Sciences**, v. 65 n. 2, p. 149-158, 2020.

XU, C.; HUANG, B. Comparative analysis of drought responsive proteins in Kentucky bluegrass cultivars contrasting in drought tolerance. **Crop Science**, v. 50, n. 6, p. 2543-2552, 2010.

YANG, H. *et al.* Effects of regulated deficit irrigation on yield and water productivity of chili pepper (*Capsicum annum L.*) in the arid environment of Northwest China. **Irrigation Science**, v. 36, n. 1, p. 61-74, 2018.

YIN, Y. X. *et al.* Cloning and expression analysis of CaPIP1-1 gene in pepper (*Capsicum annum L.*). **ScienceDirect**, v. 563, n. 1, p. 87-93, 2015.

ZHANG, C. *et al.* Automatic Identification of Center Pivot Irrigation Systems from Landsat Images Using Convolutional Neural Networks. **Agriculture**, v. 8, n. 10, p. 1- 19, 2018.