

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E CRESCIMENTO**  
**DE PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum* L.) COM**  
**DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

**GEAN CORRÊA TELES**

2020



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E CRESCIMENTO DE PIMENTA-DO-  
REINO (*Piper nigrum* L.) COM DIFERENTES LÂMINAS DE  
IRRIGAÇÃO**

**GEAN CORRÊA TELES**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Daniel Fonseca de Carvalho**

*Co-orientação do Professor*  
**Leonardo Oliveira Medici**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Produção vegetal.

Seropédica, RJ  
Setembro de 2020

T269a Teles, Gean Corrêa, 1991-  
AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA E CRESCIMENTO DE PIMENTA-  
DO-REINO (*Piper nigrum* L.) COM DIFERENTES LÂMINAS DE  
IRRIGAÇÃO / Gean Corrêa Teles – Seropédica, 2020.  
64 f.

Orientador: Daniel Fonseca de Carvalho.  
Coorientador: Leonardo Oliveira Medici.  
Dissertação (mestrado). -- Universidade Federal Rural do  
Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, 2020.

1. níveis de irrigação. 2. demanda hídrica. 3.  
eficiência fotossintética. I. Carvalho, Daniel  
Fonseca de, 1968-, orient. II. Medici, Leonardo  
Oliveira, 1967-, coorient. III Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em  
Agronomia - Fitotecnia. IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta Dissertação, desde que seja citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 88 / 2020 - DeptFITO  
(12.28.01.00.00.32)

Nº do Protocolo: 23083.069173/2020-27

Seropédica-RJ, 21 de dezembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

GEAN CORRÊA TELES

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre**, no Programa de Pós Graduação em Fitotecnica, Área de Concentração em Produção Vegetal.

Dissertação aprovada em 28/09/2020

**Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020**, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Daniel Fonseca de Carvalho, Dr. (UFRRJ)  
(Orientador)

Leonardo Duarte Batista da Silva, Dr. (UFRRJ)  
(Membro interno)

Robson Bonomo, Dr. (UFES)  
(Membro externo)

*(Assinado digitalmente em 21/12/2020 10:46 )*  
DANIEL FONSECA DE CARVALHO PROFESSOR  
DO MAGISTERIO SUPERIOR DEPTOENG  
(12.28.01.00.00.00.44)  
Matrícula: 1224578

*(Assinado digitalmente em 21/12/2020 11:27 )*  
LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)  
Matrícula: 2353141

*(Assinado digitalmente em 23/12/2020 08:41 )*  
ROBSON BONOMO  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 914.675.867-49

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **88**, ano: **2020**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, data de emissão: **21/12/2020** e o código de verificação: **091031ed97**

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, José Ilson de Melo Teles e Maria Antônia de Melo Teles, e aos meus irmãos por todo apoio, compreensão, carinho e confiança ao longo de toda a vida.

À Juliana Alves de Araujo pelo companheirismo e apoio sempre que possível.

## AGRADECIENTOS

Primeiramente a **DEUS**, por me proporcionar essa oportunidade de aprendizado e crescimento.

Aos meus pais José Ilson e Maria Atonia e demais familiares, por todo apoio e confiança.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) pelo apoio e suporte para o desenvolvimento das atividades de pesquisa. A PPGF pelo apoio e oportunidade de me capacitar e aprender mais na área de produção vegetal. A FAPERJ e a CNPq pelo apoio financeiro e acadêmico. O presente trabalho foi realizado também com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001” (**PORTARIA Nº 206, DE 4 DE SETEMBRO DE 2018 DA CAPES**).

Aos professores Daniel Fonseca de Carvalho e Leonardo Oliveira Medici, pela oportunidade, orientação, incentivo e apoio. Proporcionando condições para realização de todas as atividades na condução do experimento e contribuindo imensamente para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

Agradeço ao grupo de pesquisa GPASSA e seus membros por todo aprendizado, companheirismo e disposição para executar as atividades de pesquisa. Aos amigos pelo apoio e ajuda sempre necessário.

A Juliana Alves de Araujo por todo apoio e companheirismo.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para minha formação meu muito obrigado!

Muito obrigado!

## RESUMO GERAL

TELES, Gean Corrêa. **Avaliação fisiológica e crescimento de pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) com diferentes lâminas de irrigação.** 2020. 67p Dissertação (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é a mais importante especiaria comercializada no mundo e é utilizada em larga escala como condimento e em indústrias de carnes e conservas. O Brasil está entre os maiores produtores mundiais, sendo os estados do Pará e do Espírito Santo os principais responsáveis pelo cultivo e produção da pimenta-do-reino. Nos cultivos comerciais, os sistemas de irrigação têm sido utilizados contribuindo para o aumento da produtividade, apesar da falta de manejo correto e da indisponibilidade de informações sobre a necessidade hídrica da cultura. O objetivo dessa pesquisa foi, portanto, avaliar a influência de níveis de suprimento de água de irrigação no crescimento da cultura da pimenta-do-reino em condição de campo. O estudo foi desenvolvido no setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de abril/2019 a maio/2020. As mudas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina, com a 6 a 8 folhas foram cultivadas em embalagens plásticas de 25 L instaladas em campo aberto e submetidas a diferentes níveis de irrigação. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com 4 tratamentos (níveis de irrigação) e 6 repetições. Foi utilizado espaçamento de 1,0 m por 1,5 m, com 2 plantas por parcela, totalizando 48 plantas. A aplicação de água foi realizada por microirrigação, com emissores autocompensantes com vazões combinadas de 2,2; 3,3; 4,3 e 5,3 L h<sup>-1</sup>. O sistema de irrigação foi manejado automaticamente pelo Acionador Simplificado de Irrigação (ASI) e o volume aplicado medido por leituras diárias em um hidrômetro. Durante a condução do experimento foram avaliados, com periodicidade de 15 dias, a altura da planta, o diâmetro do caule, o número total de folhas e os teores de clorofila (*a*, *b* e total). Foram também avaliadas a fluorescência da clorofila *a* aos 120, 238, 386 e 391 dias após o transplantio (DAT). Aos 391 DAT foram mensurados a área foliar, a massa fresca e seca de parte aérea, a massa seca de raiz, além do número, comprimento e massas seca e fresca de espigas em diferentes estádios de maturação. Os dados foram submetidos à análise de variância, ao nível de 5% de probabilidade. Quando significativos, os dados foram comparados por análise de regressão, a 5% de probabilidade pelo teste F. Todos os parâmetros avaliados apresentaram aumento de valor com o aumento dos níveis de irrigação, com variação de 40% na altura, 55% no número de folhas, 57% na área foliar entre o maior e o menor nível de irrigação. A pimenta-do-reino é considerada sensível ao estresse hídrico apresentando perdas expressivas no acúmulo de massas fresca e seca. A eficiência fotossintética e a concentração dos pigmentos de clorofila das plantas foram negativamente afetadas pelo estresse hídrico e o número e massa das espigas foram reduzidos.

Palavras chave: níveis de irrigação, demanda hídrica, eficiência fotossintética.

## ABSTRACT

TELES, Gean Corrêa. **Physiological evaluation and growth of black pepper (*Piper nigrum* L.) with different irrigation depths.** 2020. 67p Dissertation (Master in Agronomy, Phytotechnics). Institute of Agronomy, Plant Science Graduate Program, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Black pepper (*Piper nigrum* L.) is the most important spice sold worldwide and it is used on a large scale as a condiment and the meat and canning industries. Brazil is among the largest world producers, with the states of Pará and Espírito Santo the main responsible for the cultivation and production of black pepper. In commercial crops, irrigation systems have been used contributing to the increase in productivity, despite the lack of correct management and the availability of information on the water needs of the crop. The objective of this research was to evaluate the influence of water supply levels on the growth of black pepper culture in field conditions. The study was developed in the Horticulture sector of the Agronomy Institute of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, from April / 2019 to May / 2020. The black pepper seedlings, *cv.* Bragantina, with 6 to 8 leaves were grown in plastic containers of 25 L installed in an open field and submitted to different irrigation levels. The experimental design used was in randomized blocks (DBC), with 4 treatments (irrigation levels) and 6 replications. Spacing of 1.0 m by 1.5 m was used, with 2 plants per plot, totaling 48 plants. The water was applied by micro-irrigation system, using self-compensating emitters with combined flow rates of 2.2; 3.3; 4.3 and 5.3 L h<sup>-1</sup>. The irrigation management was carried out automatically by the Simplified Irrigation Controller (SIC) and the applied volume measured by daily readings on a hydrometer. During the experiment, the height of the plant, stem diameter, total number of leaves and the levels of chlorophyll (*a*, *b* and total) were evaluated every 15 days. Chlorophyll *a* fluorescence at 120, 238, 386 and 391 days after transplantation (DAT) were also evaluated. At 391 DAT, leaf area, fresh and dry shoot weight, dry root weight, and number, length and dry and fresh weight of ears at different maturation stages were measured. The data were subjected to analysis of variance, at a 5% significance level. In the cases of significance, the data were compared by regression analysis, at 5% probability by the F test. There was an increase in the values of all parameters with the increase in irrigation levels, with a variation of 40% in height, 55% in the number of leaves, 57% in the leaf area between the highest and the lowest irrigation level. Black pepper is considered sensitive to water stress with significance loss in the accumulation of fresh and dry mass. The photosynthetic efficiency and the concentration of chlorophyll pigments in plants were negatively affected by water stress and the number and weight of ears was reduced.

Keywords: irrigation levels, water demand, photosynthetic efficiency.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	11
2.1 Histórico da Pimenta-do-Reino .....	11
2.2 Importância Econômica.....	11
2.3 Fatores Climáticos .....	12
2.4 Botânica e Características da Planta.....	12
2.5 Plantio e Tratos Culturais .....	13
2.6 Estresse Hídrico e Necessidade Hídrica da Pimenta-do-Reino.....	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Caracterização da Área Experimental .....	17
3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos .....	17
3.3 Plantio e Manejo Cultural.....	19
3.3.1 Preparo do Substrato.....	19
3.3.2 Preparo da Área de Plantio e Tratos Culturais .....	19
3.3.3 Sistema de Irrigação .....	21
3.4 Monitoramento Meteorológico.....	22
3.5 Avaliações do Experimento.....	23
3.5.1. Características Biométricas .....	23
3.5.2. Características Fisiológicas .....	23
3.6. Coeficiente de Resposta ao Déficit Hídrico .....	23
3.7 Proposta de Classificação de Espigas de Pimenta-do-Reino.....	24
3.8 Análise Estatística .....	25
3.9 Visão Geral do Experimento .....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	27
5. CONCLUSÕES .....	53
6. REFERÊNCIAS .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura mundial demanda cada vez mais conhecimento e tecnologia para otimização dos recursos hídricos e conservação do meio ambiente sem afetar o desenvolvimento e produtividade das culturas. A água é essencial para o crescimento das plantas, sendo um dos recursos mais limitantes ao desenvolvimento vegetal. Dessa forma, é fundamental conhecer a necessidade hídrica de cada cultura evitando o desperdício de água ou a ocorrência de déficit hídrico indesejável ao longo do desenvolvimento vegetal.

O uso racional da água na irrigação proporciona economia de recursos, além de ser um dos pilares da gestão ecologicamente sustentável de propriedades com culturas irrigadas. Por meio do uso eficiente do recurso hídrico é possível aumentar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, uma vez que o suprimento de água na capacidade de absorção da planta pode evitar perdas de nutrientes no solo e diminuir o risco de doenças nas plantas.

Apesar de constituir uma importante fonte de renda e emprego, sobretudo nos estados do Pará e Espírito Santo, a necessidade hídrica da cultura da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) em diferentes condições edafoclimáticas ainda é pouco estudada, principalmente em regiões com precipitações irregulares ou insuficientes para atender a sua demanda. Tendo em vista a crescente expansão das áreas de cultivo, a falta de um manejo de irrigação adequado e o fato de muitos dos pimentais serem cultivados em condição de sequeiro principalmente no estado do Pará (PARTELL, 2009), sujeitos a ocorrência de déficit hídrico, é necessário se conhecer a morfologia e a fisiologia da pimenta-do-reino, estudar e investigar as melhores condições para o uso correto da água e entender como o déficit hídrico afeta o desenvolvimento dessa cultura.

Assim, a irrigação com déficit hídrico pode comprometer o crescimento e o desenvolvimento da pimenta-do-reino, e o manejo racional da irrigação, mediante uso do acionador simplificado de irrigação (ASI), pode atender à demanda hídrica da cultura, proporcionando condições adequadas para que a planta expresse seu máximo crescimento e desenvolvimento.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes níveis de irrigação sobre o desenvolvimento e o desempenho fotossintético de plantas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina, com uso do ASI nas condições edafoclimáticas de Seropédica-RJ, no primeiro ano de cultivo. Os objetivos específicos deste trabalho foram avaliar: (a) o efeito das diferentes lâminas de irrigação no crescimento em altura, diâmetro, número de folhas, área foliar e massa fresca e seca da cultura da pimenta-do-reino; (b) a sensibilidade ao déficit hídrico da pimenta-do-reino com coeficiente de resposta  $K_y$ ; (c) o efeito das diferentes lâminas de irrigação sobre o conteúdo de clorofila e fluorescência da clorofila  $a$ ; e (d) o efeito de diferentes lâminas de irrigação na produtividade de espigas da cultura da pimenta-do-reino.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Histórico da Pimenta-do-Reino

A origem da denominação pimenta-do-reino vem da época da colonização, pois nesse período esse produto ficou conhecido no Brasil como pimenta de Portugal (do “reino”) (SERRANO et al., 2012). Também conhecida como pimenta preta ou pimenta-da-Índia, a pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) é considerada a mais importante das especiarias (HEERASING et al., 2019; HAMMOUTI et al., 2019), sendo utilizada há séculos como tempero ou alimento na forma de pimenta preta ou pimenta vermelha (TU et al., 2014)

A pimenta preta é uma espécie perene, arbustiva e trepadeira, originária de regiões tropicais da Índia. A *P. nigrum* é considerada a única especiaria cujos frutos podem ser comercializados em 4 diferentes versões de grãos; a chamada pimenta preta, que apresenta grãos em sua maioria maduros, desbulhados e secos ao sol ou com secadores; a pimenta branca, proveniente de grãos desbulhados, descascados e secos; pimenta verde, que são os grãos desbulhados ainda imaturos; e a pimenta vermelha, que são os grãos maduros e desbulhados, embora a sua forma mais comum de comercialização seja a preta (RAVINDRAN et al., 2000; BALASUBRAMANIAN et al., 2016). Além disso, é um dos mais valorizados condimentos do mundo, permitindo que a atividade desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável (LIMA, et al., 2010). É utilizada como condimento na alimentação, indústrias de carne e conservas como preservadoras, e os óleos essenciais extraídos das sementes são usados como fragrâncias em produtos de higiene pessoal e na indústria de perfumaria (NAIR, 2011).

A cultura foi introduzida no Brasil no século XVII, no estado da Bahia, se difundindo para os estados da Paraíba, Maranhão e Pará. Contudo, o destaque econômico ocorreu no século XX, em meados de 1933, quando foi reintroduzida na cidade de Tomé-Açu no estado do Pará por imigrantes japoneses. Com o plantio intensivo, a cultura se tornou um dos principais cultivos agrícolas de interesse econômico na Amazônia, tornando o país autossuficiente na produção (SERRANO et al., 2012; MARTINS et al., 2018).

### 2.2 Importância Econômica

A pimenta-do-reino é considerada a mais importante especiaria consumida no mundo e chegou a ser usada como moeda até mesmo para pagamento de impostos em função de sua procura pela nobreza europeia. Tradicionalmente usada como aromatizante de alimentos, conservante, medicamentos e agentes bioquímicos desde os tempos antigos (ABUKAWSAR et al., 2018), representando um importante recurso medicinal em todos os sistemas médicos conhecidos, além de estar presente na culinária de uma forma muito abrangente (RAVINDRAN, 2012; SILVA & FERNANDES, 2019).

Na década de 80, o Brasil foi o maior exportador mundial de pimenta preta (CONAB, 2015). Segundo PEREIRA et al. (2014) e ANDRADE et al. (2017), a pimenta-do-reino está entre os mais relevantes produtos exportados na região Amazônica fazendo do Brasil o quarto maior produtor mundial, principalmente de pimenta preta.

Os principais estados produtores brasileiros são o Pará e o Espírito Santo, nos quais a atividade apresenta grande importância socioeconômica, como geradora de renda para famílias rurais, e correspondem a 48,5 e 45,8%, respectivamente, do total de pimenta-do-reino produzido no país (IBGE, 2020). A atividade emprega cerca de 50 mil pessoas no período da safra e gera divisas em torno de US\$ 50 milhões ao ano por meio das exportações (IBGE, 2019). Socialmente, é absorvedora de mão de obra, com destaque para sua importância social e econômica, pois, ao gerar trabalho e riqueza, sobretudo no meio rural, diminui consequentemente o êxodo rural (GONTIJO et al., 2012). Para NELSON & CANNON-EGER

(2011) e ASSIS et al. (2015), cerca de 85% da produção brasileira é proveniente da agricultura familiar, gerando entre 30 e 80 mil empregos diretos e indiretos durante o ano. Os principais mercados consumidores no mundo são Índia e Indonésia, com 65% do consumo mundial. Contudo, os maiores mercados importadores da pimenta brasileira são os Estados Unidos (em média 40% do total exportado), México, Holanda, Alemanha, Espanha e França. Porém, uma das grandes características do comércio de especiarias e, particularmente da pimenta-do-reino, é a instabilidade de preços junto ao mercado internacional devido às oscilações da produção anual e disponibilidade do produto, entre outros (SABU & KURUVILA, 2016; FAO, 2018).

A importância econômica da pimenta-do-reino é indiscutível, pois influencia positivamente a balança comercial do país, sendo altamente utilizada na agroindústria, na indústria de alimento e na indústria química e farmacológica (NELSON & CANNON-EGGER, 2011; ASSIS et al., 2015; SILVA & FERNANDES, 2019).

### 2.3 Fatores Climáticos

A produção de pimenta encontra-se bem distribuída nas regiões de clima tropical, com condições ideais entre as latitudes de 20° N e 20° S e altitudes máximas de 2400 m. A principal região produtora é o continente asiático, com destaque para Índia, Indochina, Sri-Lanka, Indonésia e Malásia. No continente africano é muito cultivada em Camarões, Nigéria, República centro da África e no Congo. Nas Américas, tem-se destaque para Porto Rico, Jamaica e Brasil (SERRANO et al., 2012).

O clima é um fator fundamental para produção de qualquer cultura, sobretudo aquelas de ciclo longo que ficam expostas à ação de chuvas e da evapotranspiração e suas variações ao longo do ano. Segundo PARTHASARATHY (2008), o total pluviométrico anual ideal para a pimenteira-do-reino varia de 1500 a 3000 mm. A cultura tolera temperaturas entre 10 e 40 °C, sendo a faixa ideal de 23 a 32 °C, e umidade relativa do ar de 80% a 88% (KRISHNAMURTHY et al., 2016). A temperatura do solo indicada para o crescimento radicular é de 26 a 28 °C e o brilho solar deve ser maior que 2000 horas ano (SIVARAMAN et al., 1999).

A insolação é um fator de grande importância para a produção da cultura da pimenta-do-reino, pois a insolação/radiação solar está relacionada à produtividade pelos processos de fotossíntese e transpiração (OLIVEIRA et al., 2018). Outro fator que tem grande influência para maioria dos vegetais é a umidade do ar que está associada à demanda evaporativa da atmosfera. As chuvas por sua vez, se mostram fundamentais para o crescimento das plantas visto que, a água exerce importante papel na fotossíntese influenciando a produção.

### 2.4 Botânica e Características da Planta

A pimenta-do-reino pertence ao gênero *Piper*, classe das Eudicotiledôneas, ordem Piperales e família Piperaceae, que abrange cerca de 1000 espécies de regiões tropicais (AGBOR et al., 2012; HEERASING et al., 2019). No Brasil são encontrados quatro gêneros com aproximadamente 500 espécies, sendo o maior deles o gênero *Piper*, com cerca de 700 espécies, sendo 170 nativas do Brasil (YUNCKER, 1972).

A espécie apresenta centenas de cultivares catalogadas na Índia (MATHEW et al., 2001), mas atualmente as principais são Bragantina e Cingapura (DA LUZ et al., 2017). Muito comum entre os produtores, a cultivar Bragantina é uma seleção clonal do híbrido Panniyur-1, com origem na Índia. Apresenta folhas bem largas com formato de coração, espigas muito longas (em média de 14 cm) e flores hermafroditas, favorecendo o enchimento das espigas com frutos grandes e uniformes. Uma característica marcante é a coloração verde clara dos brotos novos em ramos de crescimento (EMBRAPA, 2004; PRADEEP KUMAR et al., 2003).

A pimenta é uma espécie perene, arbustiva e trepadeira (QUARTEZANI et al., 2013). Possui caule liso, redondo, nodoso, ramificado e lenhoso constituído por três partes distintas: o

chamado ramo ortotrópico ou haste central, que possui raízes adventícias, grampiformes, originadas nos nós e servem para aderir ao tutor ou suporte; os ramos plagiotrópicos, também conhecidos como ramos de frutificação são hastes laterais desprovidas de raízes sendo as gemas destinadas a formação flores e frutos; e os ramos ladrões, que se desenvolvem a partir da base da planta ou a partir da extremidade dos ramos ortotrópicos, permanecendo dependurados por fora da folhagem, e necessitam ser continuamente retirados da planta (SERRANO et al., 2012). Possui muitas folhas que são pecioladas e localizadas à altura dos nós, com formatos variados conforme a cultivar (CHEN et al., 2020). Geralmente são grandes, laminadas, ovaladas, com ápice agudo e bem distribuídas de forma simples e, raramente, alterna com folhas opostas (TCHOUMBOUGNANG et al., 2009; RAVINDRAN, 2000).

A pimenta preta é propagada preferencialmente por meio de estacas, embora também seja disseminada por sementes. Como as plantas propagadas por sementes não são fielmente capazes de produzir igual à planta matriz é recomendada a propagação vegetativa para o cultivo comercial, reduzindo o tempo para início da produção de frutos mantendo a constituição genética idêntica nos descendentes sem sinais de segregação e combinações genéticas (SIVARAMAN et al., 1999; ARAÚJO & BRUCKNER, 2008).

O sistema radicular de mudas de pimenta-do-reino oriundas de estaquia é composto de 3 a 6 raízes adventícias principais e uma raiz central que atinge até 60 centímetros de profundidade para fixação da planta no solo. Cerca de 82,4% do sistema radicular está localizado nos primeiros 30 centímetros de profundidade. O florescimento ocorre de 8 a 10 meses após o plantio de mudas feitas de estaca, contudo, a produção comercial de forma mais expressiva ocorre a partir do segundo ano (EMBRAPA, 2004). A planta produz inflorescências do tipo espiga, também conhecida como amentilhos, composta por flores aperiantadas, e que podem atingir de 10 a 20 cm com cerca de 150 grãos, dependendo da cultivar. A fecundação normalmente ocorre entre flores diferentes de uma mesma espiga e o fruto formado é uma drupa séssil, indeiscente, proveniente de um único óvulo (MEILAWATI et al., 2020). Em seu estado de maturação, a mucilagem do fruto adquire coloração verde clara, amarelada ou avermelhada.

A maturação varia conforme a região; no Pará, ocorre de junho a setembro, e no sul da Bahia e Espírito Santo, de março a abril e de outubro a novembro (EMBRAPA, 2004). O período do florescimento à maturação é de, aproximadamente, 6 meses, com espigas de tamanho médio de 5 a 20 cm, dependendo da cultivar (SERRANO et al., 2012).

Como alimento, a pimenta-do-reino tem despertado interesse crescente devido aos inúmeros benefícios atribuídos à saúde humana (BUTT et al., 2013). Segundo BONG et al. (2010), a pimenta-do-reino possui uma diversidade de metabólitos distribuídos em variadas classes de compostos como as amidas/alcalóides, propenilfenalinas e outros dificilmente encontrados em outras espécies. Tais compostos quando submetidos a isolamento e estudos biológicos apresentam importantes resultados na obtenção de ações anti-inflamatórias e antioxidante. Além disso, a pimenteira é rica em vitamina A (retinol), vitamina C (ácido ascórbico) e em minerais como potássio e ferro (CARNEVALLI & ARAÚJO, 2013). De acordo com GORGANI et al. (2017), a piperina é um produto natural presente no fruto da pimenteira tem destaque na indústria farmacêutica, tendo elevado potencial como agente antiparasitário, sendo obtida em grande quantidade por meio dos frutos secos.

## **2.5 Plantio e Tratos Culturais**

O terreno indicado para plantio da pimenta-do-reino deve ser plano ou levemente inclinado favorecendo uma boa drenagem, conservação do solo e facilitando a demarcação de linhas e a realização dos tratos culturais (LEMOS et al., 2014). Um ponto importante na escolha da área são os aspectos fitossanitários, principalmente com relação à fusariose, sendo

recomendado evitar áreas onde foram cultivadas cucurbitáceas ou outras plantas contaminadas por doenças, como podridão de raízes, mosaicos e fusariose.

O solo mais indicado para o cultivo é o de textura média, com boa drenagem, mas com capacidade de reter umidade durante o período mais seco. Contudo, a cultura se adapta bem a variados tipos de solos, desde que esse não seja muito arenoso, pedregoso e sujeito a encharcamento (PARTHASARATHY, 2008; LEMOS et al., 2014).

Após a escolha da área deve-se fazer o balizamento conforme o espaçamento de 1,5 x 2,0 m, 2,0 x 2,5 m, 2,5 x 2,5 m ou 3,0 x 3,0 m para monocultivo em fileiras simples (PARTHASARATHY, 2008). Em seguida se faz a fixação do escoramento, uma vez que a pimenteira é uma trepadeira e requer o uso do tutor. Este se apresenta em duas formas: o tutor morto, composto por mourões de madeira de lei ou tratada resistentes ao apodrecimento medindo cerca de 3 m; e o tutor vivo, que é o cultivo de árvores como suporte vivo, principalmente a gliricídia (*Gliricidia sepium*) (NAIR, 2011).

Após a fixação do tutor, deve-se promover o amarrio com fita plástica ou barbante do ramo ortotrópico ao tutor, facilitando a adesão das raízes de sustentação. Este procedimento deve ser realizado periodicamente até a planta atingir o ponto mais alto do tutor tendo sua formação completa (RODRIGUES et al., 2017).

O plantio deve ser feito preferencialmente no período chuvoso e com mudas provenientes de estacas sadias. A adubação é realizada conforme a necessidade apontada na análise do solo e a recomendação do manual de adubação e calagem (PREZOTTI et al., 2007).

A capina é outra prática fundamental que deve ser realizada com frequência, pois a cultura é muito sensível à competição por recursos. Porém, o corte nas raízes facilita a entrada de agentes patogênicos, com isso o uso de roçadeiras é uma prática menos danosa (LEMOS et al., 2014).

A colheita de pimenta-do-reino no estado do Pará ocorre entre junho e novembro e no Espírito Santo e Bahia de outubro a novembro. O processo de colheita é realizado de forma manual quando o fruto está maduro apresentando mudança de coloração em dois ou mais grãos para cor amarela e/ou vermelha (PARTHASARATHY, 2008). Para produção de pimenta preta, todos os frutos podem ser usados, sendo colhidos quando verde claro ou amarelo, mas para produção de pimenta branca são usados apenas os frutos com coloração vermelha ou amarela (LEMOS et al., 2014).

Após a colheita das espigas, ocorrem a desbulha e a secagem dos frutos, essas etapas normalmente ocorrer de forma natural, em terreiros a pleno sol ou com secagem automatizada facilitando o processamento da pimenta (VINHA & SECUNDINO, 2017), embora o processo de desbulha manual e o uso de secagem com lona ou jirau sejam o mais comum entre a maioria dos produtores.

## **2.6 Estresse Hídrico e Necessidade Hídrica da Pimenta-do-Reino**

A pimenta-do-reino é muito sensível ao déficit hídrico em função da alta evapotranspiração da cultura, o que exige um fornecimento contínuo de água ao solo durante o período mais seco (RAJ, 1978). É importante considerar a precipitação total e distribuição dessas, aliada à instalação de um bom sistema de drenagem e uma boa capacidade de retenção de água pelo solo, evitando o estresse por falta ou excesso de água (BIANCHI et al., 2016).

Em condição de baixa disponibilidade de água em alguma fase do desenvolvimento vegetal, mecanismos fundamentais da planta são afetados como a fotossíntese em função da abertura estomática ser comprometida (LICHTENTHALER et al., 1987). DAMATTA et al. (2006) relatam que a fotossíntese é sensível, seja por meio do efeito fotoquímico, com a deficiência do funcionamento do FSII e/ou degradação dos tilacóides, ou por problemas bioquímicos como a desativação da rubisco ou de outras enzimas do ciclo de Calvin.

Para YORDANOV et al. (2000), as plantas respondem ao estresse hídrico por meio de mecanismos adaptativos que possibilitam ao sistema fotoquímico e bioquímico suportar o estresse. Contudo, o estresse pode ocasionar danos que estão relacionados a todo um complexo de mudanças morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares.

As alterações morfológicas dizem respeito à redução do tamanho da planta e das folhas, abscisão foliar e redução da produtividade (PASSIOURA et al., 1996). Entretanto, na maioria dos vegetais antes mesmo desses danos se manifestarem de forma visível as raízes atuam como um sensor de déficit de água, enviando sinais à parte aérea da planta, que são detectados pelas células-guardas dos estômatos (SALAH & TARDIEU, 1997). Por meio desses sinais, ocorre o fechamento estomático parcial ou total associado ao potencial hídrico foliar e ao teor de água no solo, resultando na redução da taxa de transpiração e redução na concentração e assimilação de CO<sub>2</sub>. Como consequência, ocorre um desequilíbrio entre a atividade fotoquímica do FSII e o requerimento de elétrons para a fotossíntese o que é normalmente observado em déficit hídrico (MEDRANO et al., 2002; HONG-BO, 2008). Nesse contexto as plantas podem exibir tolerância, resistência ou suscetibilidade à falta de água (CAMBRAIA, 2005).

Para se ter melhores condições de polinização da pimenta, alta umidade relativa do ar é necessária. Outros fatores como sol intenso ou fortes chuvas na fase de florescimento podem comprometer a polinização, provocando secamento ou lavagem do pólen, formando assim espigas com poucos grãos e com uma série de falhas conhecida como “banguela” (SERRANO et al., 2012).

Segundo DUARTE (2008), a irrigação em plantas de pimenta-do-reino melhora o desenvolvimento vegetativo, aumenta a longevidade da cultura e reduz em 40% as perdas de produção. Em Paragominas-PA, lavouras com 13 anos de idade, irrigadas continuam com produção elevada, mesmo em uma região que apresenta 5 meses de período seco (BASTOS et al., 2005).

As maiores produtividades de pimenta-do-reino têm sido obtidas em cultivos intensivos a pleno sol, como os encontrados na região norte do Espírito Santo, onde cerca de 80% das lavouras são irrigadas, uma vez que as precipitações médias anuais são, ligeiramente superiores a 1.000 mm, com ocorrência frequente de períodos secos (FERRÃO et al., 2016; PARTELLI, 2009). Mesmo com o avanço tecnológico e a realização de pesquisas em diversas áreas do conhecimento, as recomendações de irrigação para cultivo de pimenta-do-reino ainda são empíricas sem muita investigação e comprovação científica.

A necessidade hídrica de uma cultura é representada pelo coeficiente de cultivo (Kc), e varia com as fases de desenvolvimento da planta. A demanda da planta por água é influenciada pela demanda atmosférica por vapor, sendo a temperatura do ar um dos principais elementos climáticos que influenciam o crescimento vegetal (PIRES & LIMA, 2018). Um método utilizado para descrever o desenvolvimento da planta é a soma térmica ou graus-dia (GD) que leva em consideração o tempo dos processos biológicos no desenvolvimento da planta permitindo uma estimativa com maior precisão que outro valor cronológico (SALAZAR-GUTIERREZ et al., 2013). O uso desta metodologia se baseia no fato das plantas necessitarem de uma certa quantidade de energia, representada pela soma térmica, para completar suas fases fenológicas e, conseqüentemente, o seu ciclo de desenvolvimento. A sua aplicabilidade é indicada quando a temperatura é o grande fator determinante da taxa de desenvolvimento, não existindo limitações de outros fatores ambientais para esse processo (MORAIS et al., 2010).

A soma térmica em graus-dia é caracterizada como o acúmulo diário de temperaturas que se situam acima da condição mínima (temperatura base inferior) e abaixo da máxima (temperatura base superior) exigida pela planta para completar uma fase fenológica ou seu ciclo completo (CARVALHO et al., 2011), ou seja, o acúmulo diário da energia (OMETTO, 1981).

O conhecimento de graus-dia permite avaliar as condições do local em que as cultivares estão inseridas, permitindo a realização do manejo da irrigação em diferentes fases do desenvolvimento da planta com maior precisão.

Apesar de tradicionalmente ser utilizado com base temporal (diária, semanal ou mensal), o coeficiente de cultivo vem sendo cada vez mais relacionado com graus-dia em estudos com diferentes culturas como o cafeeiro arábica (LIMA & SILVA, 2008), cenoura (CARVALHO et al., 2014), feijoeiro (MEDEIROS et al., 2016) e milho (JI et al., 2017). A associação do Kc com graus-dia elimina parcialmente as variações na duração das fases da cultura, entre locais e entre anos sucessivos que aliados às frequentes mudanças das condições climáticas podem alterar a curva de Kc (RIBEIRO et al., 2009). Segundo OMETTO (1981), após ser realizado o cálculo das constantes térmicas por um ou dois anos, obtém-se precisão suficiente para que os graus-dia possam prever momentos adequados de manejo e datas da maturação (colheita) de qualquer cultura.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da Área Experimental

O experimento foi realizado no Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia, localizado no Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no município de Seropédica – RJ (22°45'48,"S 43°41'51,2"W, 33 m). O clima da região é classificado como Aw, segundo a classificação de Köppen, com verão quente e chuvoso com chuvas concentradas entre os meses de novembro a março e inverno seco. A precipitação anual média é de 1.300 mm e temperatura média anual de 24,93° C (ALVARES et al., 2013).

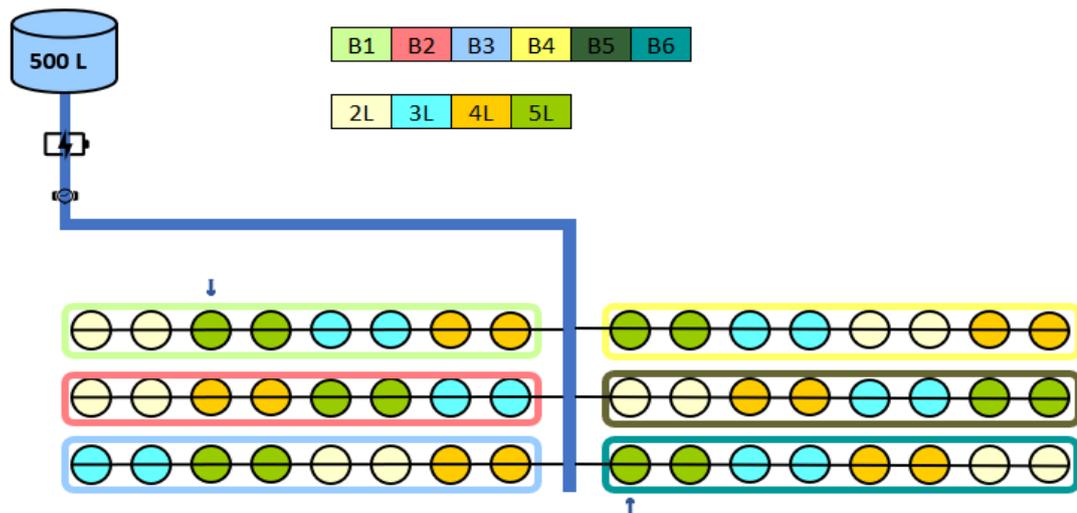
A área experimental media 5 m x 20 m (Figura 1A), na qual foram instalados mourões de eucalipto não tratados, utilizados como suporte para as plantas (Figura 1B). Em função do risco de encharcamento e para um maior controle das condições edáficas, optou-se pelo cultivo em vasos com capacidade de 25 litros (Nutriplan – com 35 cm de diâmetro e 34 cm de altura) e submetida às diferentes lâminas de irrigação.



**Figura 1.** Vista geral (A) e parcial da área experimental, com detalhe dos tutores utilizados (B). Fontes: A - Google Earth, acesso em 19/06/2020; B – Autor.

#### 3.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), com 4 tratamentos (lâminas de irrigação) e 6 blocos (repetições). Cada parcela experimental foi composta por 2 plantas, totalizando 48 vasos, espaçados de 1,0 m por 1,5 m (Figura 2).



**Figura 2.** Croqui do delineamento experimental.

As mudas de pimenta-do-reino (*cv. Bragantina*), padronizadas com 6 a 8 folhas e com 120 dias de idade, foram adquiridas em viveiro credenciado no município de São Roque do Canaã – ES (Figura 3).



**Figura 3.** Padrão médio de muda de pimenta-do-reino, *cv. Bragantina*, utilizada no experimento.

Os tratamentos foram obtidos pela combinação de gotejadores autocompensantes (mod. PCJ - Netafim) com vazões nominais de 2,0; 3,0 e 4,0 L h<sup>-1</sup>, resultando em suprimentos de água de 2,2 (T1); 3,3 (T2); 4,3 (T3) e 5,3 L h<sup>-1</sup> (T4). Para tanto, foram utilizados em cada vaso: um gotejador de vazão nominal de 2,0 L h<sup>-1</sup> (T1); um gotejador de 3,0 L h<sup>-1</sup> (T2); um gotejador de 4,0 L h<sup>-1</sup> (T3); e um gotejador de 2,0 L h<sup>-1</sup> + um gotejador de 3,0 L h<sup>-1</sup> (T4).

O manejo de irrigação foi realizado por meio do ASI, instalado em dois vasos do tratamento de maior vazão (T4), de dois blocos. O ASI é composto por uma cápsula cerâmica utilizada em filtros de água residencial, conectada por uma mangueira transparente a um pressostato (MEDICI et al., 2010). Após a montagem do sistema, a cápsula foi posicionada a

15 cm de profundidade no vaso, mantendo um desnível de 0,4 m entre o centro da cápsula porosa e o pressostato. O ASI promoveu o manejo da irrigação quando a tensão de água no solo atingia valor próximo a -4,0 kPa. Dessa forma, todas as plantas do experimento foram irrigadas com a mesma frequência, porém receberam volumes de água diferenciados de acordo com a vazão dos emissores. O volume aplicado no tratamento T4 (5,3 L h<sup>-1</sup>) correspondeu à necessidade hídrica da planta (100%), enquanto nos demais tratamentos representaram, respectivamente, 81,1 (T3); 62,3 (T2) e 41,51% (T1) da demanda da cultura.

### 3.3 Plantio e Manejo Cultural

#### 3.3.1 Preparo do Substrato

O substrato utilizado nesse experimento foi composto por 100% de material de solo proveniente do horizonte A de um Planossolo, localizado próximo ao local do experimento. O material apresentava cerca de 60% de argila, 30% de areia e 10% de silte, sendo classificado como argiloso (LEMOS & SANTOS, 1996). Antes de ser utilizado, o material foi peneirado visando remover partículas grosseiras e outros tipos de materiais indesejados. Na Tabela 1 estão apresentados os resultados da análise química.

**Tabela 1.** Resultado da análise química de terra (TEIXEIRA et al., 2017) do substrato utilizado no experimento

pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub> (1:2,5)	P	K <sup>+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Valor S	CTCe	CTCt	Valor V	m
	mg dm <sup>-3</sup>							cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		%		
5,3	56	63	0,1	3,7	2,7	1,2	0,09	4,2	4,3	7,9	52,9	2,4

Valor S – Soma de bases trocáveis; CTCe – capacidade de troca de cátions efetiva; CTCt - capacidade de troca de cátions total; Valor V – percentagem de saturação por bases; e m – percentagem de saturação por Alumínio.

De acordo com a análise química foi necessário o uso de calagem para elevar o valor V para 70%, sendo aplicado cerca de 13 g de calcário por vaso, misturado antes do transplântio.

A partir dos níveis iniciais de fertilidade do substrato, a adubação foi realizada segundo PREZOTTI et al. (2007) e PARTELLI (2009), levando-se em consideração o volume do vaso (25 L) e as recomendações baseadas em uma cova padrão de 40 cm x 40 cm x 40 cm (OLIVEIRA et al., 2007). Desta forma, em cada vaso foram aplicados 4,0 L de esterco de curral curtido e peneirado em malha de 3 mm e posteriormente misturado ao solo de forma manual até a completa homogeneização.

Os teores de K e P no substrato foram considerados médios, e por isso aplicados 15 gramas de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 80 g de K<sub>2</sub>O por planta para suprir a necessidade da cultura (PREZOTTI et al., 2007). Os autores recomendam a aplicação de N em dosagem de 50 g por planta para o primeiro ano. Os adubos utilizados foram uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio.

A adubação com nitrogênio (N) e potássio (K) foi parcelada em três doses, aplicadas aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio (DAT). O fosforo (P) foi todo aplicado no plantio sendo incorporado no solo do vaso.

#### 3.3.2 Preparo da Área de Plantio e Tratos Culturais

O plantio foi orientado no sentido Leste-Oeste, adotando o espaçamento de 1,5 m entre linhas (blocos) e 1,0 m entre vasos (dentro do bloco). Com a definição do local foram instalados mourões de eucalipto, tratados com óleo queimado e fungicida, com 3,0 m de comprimento e enterrados 50 cm de profundidade (Figura 1B). Os vasos foram colocados ao lado dos tutores

de forma a receber diretamente luminosidade pela manhã. Para garantir o nivelamento e evitar encharcamento os vasos foram acomodados sobre blocos de concreto (Figura 4).

As mudas foram transplantadas em 10 de abril de 2019 no substrato previamente preparado, sendo retirada do tubete e plantada de forma inclinada a 15 cm da estaca com as raízes grampiformes voltada para o tutor. Após o transplântio foi realizado o amarrio do ramo ortotrópico ao tutor com fitilho, para ajudar a segurar a planta enquanto as raízes ainda não tinham aderido ao suporte. Esse procedimento foi repetido sempre que necessário até o final do experimento. Foi também realizada a retirada de plantas daninhas presentes no vaso sempre que necessário, sendo também feita a roçagem em torno dos vasos para evitar o crescimento excessivo do capim evitando sua interferência no experimento.

O sistema de irrigação foi instalado antes do plantio para garantir o suprimento de água desde o início do cultivo. Nos primeiros 15 dias após transplântio (DAT), todas as plantas foram irrigadas com emissores de mesma vazão ( $2,2 \text{ L h}^{-1}$ ), visando garantir o estabelecimento das mudas. Durante este período, as mudas foram protegidas da insolação direta na parte da manhã, mediante uso de folhas de coqueiro posicionadas na face leste dos vasos.



**Figura 4.** Transplântio de mudas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina: Detalhe do padrão de mudas utilizadas, vaso, sistema de irrigação e tutor.

A proteção durante a parte da tarde era feita pelo próprio tutor, o qual foi posicionado na face oeste do vaso (Figura 5). Tais procedimentos são comumente adotados por produtores brasileiros de pimenta-do-reino.



**Figura 5.** Sombreamento de mudas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina.

### **3.3.3 Sistema de Irrigação**

O sistema de irrigação foi composto por tubos de PVC soldável de 32 mm, que conduzia água de um reservatório de 500 L, localizado a 20 m de distância, até o início do experimento, por meio de uma bomba de ½ cv modelo BSK63E2104 (DANCOR S.A. Ind. Mecânica). Para a distribuição da água nos vasos foi utilizado tubo plano PEBD de 16 mm (PN 30 – Rivulis), montado conforme Figura 6, e nesses foram conectados os gotejadores.

Além de testes para determinação da vazão média dos gotejadores, o coeficiente de uniformidade de distribuição de água foi avaliado, sendo obtidos valores superiores a 95 % para todos os tratamentos. Durante o experimento, o volume aplicado foi monitorado diariamente por meio de leituras em um hidrômetro (Alpha mnf/FAE) instalado na área experimental, sendo possível quantificar o volume de água aplicado pelos emissores.



**Figura 6.** Disposição do sistema para irrigação dos vasos.

### 3.4 Monitoramento Meteorológico

Para a estimativa dos dados de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) durante o período experimental, foram utilizados dados meteorológicos referentes à estação meteorológica Ecologia Agrícola (código A601), mantida pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, instalada no município de Seropédica/RJ. O período considerado foi de 10/04/2019 a 05/05/2020.

A demanda hídrica da cultura (ET<sub>c</sub>) foi determinada pela quantificação do volume de água aplicado via sistema de irrigação no tratamento T4, acrescida da lâmina de precipitação efetiva (P<sub>ef</sub>), estimada pelo método do Número da Curva, proposto pelo Soil Conservation Service (SCS) (CARVALHO et al., 2014). Para conversão de ET<sub>o</sub> em volume, a valor diário (em mm) foi multiplicado pela área média da superfície de cada vaso (0,0961 m<sup>2</sup>). Os valores de K<sub>c</sub> mensais foram determinados por meio da relação entre ET<sub>c</sub> e ET<sub>o</sub>.

A determinação da soma térmica diária para cultura da pimenta-do-reino foi realizada com os dados de temperaturas máxima (T<sub>M</sub>) e mínima (T<sub>m</sub>) e das temperaturas de base máxima (T<sub>B</sub> = 40 °C) e mínima (T<sub>b</sub> = 10 °C) (KRISHNAMURTHY et al., 2016), utilizando o modelo proposto por OMETTO (1981):

$$\text{Situação 1: } TM > Tm > Tb: \quad GD = \frac{(TM - Tm)}{2} + (Tm - Tb) \quad (1)$$

Situação 2: TM > TB > Tm > Tb:

$$GD = \frac{2 [(TM - Tm) (Tm - Tb)] + (TM - Tm)^2 - (TM - TB)^2}{2 (TM - Tm)} \quad (2)$$

A partir dos valores K<sub>c</sub> e graus-dia foi gerado um modelo de regressão em planilha eletrônica, possibilitando a estimativa do coeficiente de cultivo para diferentes épocas do ciclo

da cultura. Os valores de ETc calculados a partir do modelo foram agrupados mensalmente e comparados com o valor real aplicado à cultura, por meio do erro percentual.

### 3.5 Avaliações do Experimento

#### 3.5.1. Características Biométricas

A altura das plantas foi medida com auxílio de uma trena métrica, com periodicidade de 15 dias ao longo do experimento, considerando a distância do solo ao ápice da planta. Com a mesma constância de avaliação foram realizadas medidas de número de folhas e diâmetro do caule, este com auxílio de um paquímetro digital, considerando o segmento entre o primeiro e segundo entre nó acima do solo.

Ao final do experimento, aos 392 DAP, foram avaliadas: massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caule (MFC), massa seca de folhas (MSF), massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSR) e área foliar (AF). Foi ainda mensurada a massa fresca da parte aérea (MFPA) e a massa seca da parte aérea (MSPA) por meio da soma de MFF com MFC e MSF com MSC, respectivamente. A área foliar (AF) foi medida por meio do integrador de área foliar (modelo Li-Cor 3100). As raízes foram lavadas de forma a eliminar todo o substrato e separadas do caule. Após essa etapa, os diferentes materiais foram colocados em sacos de papel identificados e acondicionados em estufa de circulação forçada a 60°C por 72 horas seguida da pesagem do material.

#### 3.5.2. Características Fisiológicas

Os teores de clorofila *a* e *b* no ICF (índice de clorofila Falker) foram avaliados de 0 a 180 DAT e de 345 a 390 DAT, sempre em intervalos de 15 dias. Para isso, foi utilizado um clorofilômetro modelo CRL 1030 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre/RS), posicionado na porção média das folhas mais jovens totalmente expandidas, e preferencialmente expostas à radiação solar. A determinação da clorofila total foi feita pelo somatório dos teores de clorofila *a* e *b* (*a* + *b*), teores também utilizados para a determinação da relação de clorofila *a/b*.

O transiente de fluorescência da clorofila *a* também foi medido aos 120, 238, 386, e 391 D AT, utilizando um fluorômetro portátil modelo Handy-PEA (Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK). As datas de coleta foram determinadas pela disponibilidade do equipamento e as medidas foram realizadas em folhas jovens completamente expandidas adaptadas ao escuro por 30 min, no intervalo entre 11 e 12 h da manhã.

A emissão da fluorescência foi induzida com um pulso de luz saturante ( $3 \text{ mmol}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) em um orifício com diâmetro de 4 mm durante 1 s. Foram utilizadas a fluorescência inicial ( $F_0$ ), a fluorescência máxima ( $F_M$ ) e a fluorescência variável ( $F_V = F_M - F_0$ ) para o cálculo dos parâmetros estabelecidos pelo teste JIP (TSIMILLI-MICHAEL & STRASSER, 2008). Além disso, o teste JIP foi aplicado para a análise e comparação dos transientes OJIP usando normalizações para o cálculo dos parâmetros de rendimento da fluorescência.

### 3.6. Coeficiente de Resposta ao Déficit Hídrico

A sensibilidade da pimenteira-do-reino ao déficit hídrico foi avaliada por meio do coeficiente  $K_y$  (Eq. 3) (DOORENBOS & KASSAM, 1979).

$$\left(1 - \frac{y_r}{y_m}\right) = K_y \left(1 - \frac{E_{tr}}{ET_m}\right) \quad (3)$$

em que:

$Y_r$  – rendimento real (g);

$Y_m$  – rendimento máximo ou potencial (g);

Ky – fator de resposta da produção;  
ET<sub>r</sub> – evapotranspiração real da cultura (mm) e  
ET<sub>m</sub> – evapotranspiração máxima da cultura (mm).

Para as variáveis de rendimento da cultura (Y<sub>r</sub> e Y<sub>m</sub>) foram consideradas as massas frescas (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, e massas secas da raiz (MSR) e da planta total (MSP). Como evapotranspiração da cultura, foram considerados os volumes aplicados no tratamento controle (ET<sub>m</sub>) e nos demais tratamentos (ET<sub>r</sub>), acrescidos da precipitação efetiva.

Uma vez que a Equação e representa uma relação linear, Ky corresponde ao coeficiente angular da equação ou a inclinação da reta, e é obtido de forma iterativa pela maximização do valor de ET<sub>m</sub> quando o intercepto da equação com o eixo das ordenadas (coeficiente linear) torna-se zero. O procedimento foi realizado em planilha eletrônica (MS Excel<sup>TM</sup>), utilizando o modelo Solver (CARVALHO et al., 2016).

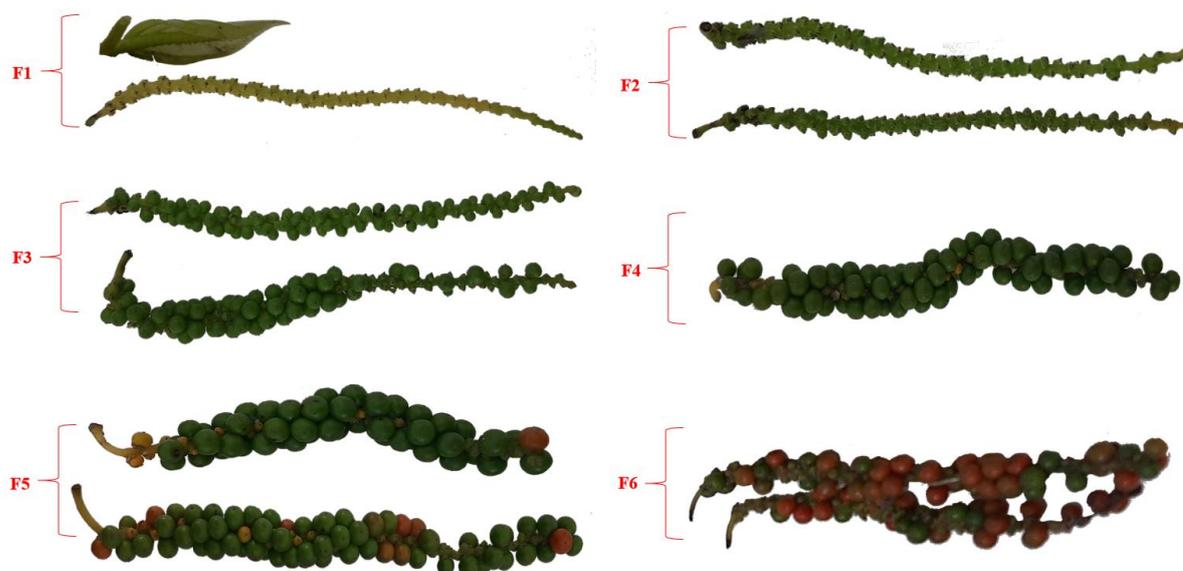
Os valores de Ky são específicos de cada cultura e variam conforme as diferentes etapas de crescimento. Valores de Ky superiores a 1,0 indicam alta sensibilidade ao déficit hídrico, com reduções proporcionais de produtividade e acúmulo de massa que são mais acentuados quando o uso da água é reduzido por causa do estresse. Valores de Ky inferiores a 1,0, por outro lado, indicam maior tolerância ao déficit hídrico exibindo menores reduções proporcionais no rendimento com uso reduzido de água. Valores de Ky igual a 1,0 indicam que a redução de rendimento é diretamente proporcional à redução na quantidade de água aplicada à cultura (SMITH & STEDUTO, 2012).

### **3.7 Proposta de Classificação de Espigas de Pimenta-do-Reino**

Aos 390 DAT, todas as espigas presentes nas plantas foram coletadas, independentemente do seu estágio de maturação. Com base nesta coleta e por existirem na mesma planta espigas com diferentes estágios de maturação, o seguinte sistema de classificação foi proposto, visando avaliar o impacto dos níveis de irrigação nesta característica:

- F1: fase caracterizada pelo surgimento e abertura das flores, englobando espigas que apresentam flores desde recém surgidas até as em fase de polinização;
- F2: fase caracterizada pelo início da formação e crescimento do fruto, em que as espigas apresentavam flores polinizadas ou até mesmo pequenos grãos já formados em até pelo menos a metade da espiga;
- F3: fase caracterizada pela presença de grãos já formados na maior parte da espiga, porém, facilmente esmagáveis quando levemente pressionados com os dedos;
- F4: fase se caracteriza pela predominância de grãos completamente formados e completamente preenchidos na espiga, porém, não maduros (coloração esverdeada);
- F5: fase caracterizada pela presença de até 50% de grãos na espiga com coloração amarelada ou avermelhada; e
- F6: fase caracterizada pela presença de mais que 50% de grãos na espiga com coloração amarelada ou avermelhada.

Na Figura 7 estão representadas as espigas das fases descritas anteriormente.



**Figura 7.** Ilustração do sistema de classificação de espigas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina, proposto. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros.

Logo após a classificação, foram determinados o comprimento e a massa fresca das espigas. Para a determinação da massa seca, as espigas foram submetidas a secagem em estufa de circulação forçada a 65 °C por 72 horas, ou até peso constante.

Vale destacar que a coleta realizada não deve ser comparada com uma produção comercial, uma vez que num sistema tradicional, somente a produção do segundo ano de cultivo é considerada. Além disso, tradicionalmente no Brasil a colheita da pimenta-do-reino do reino é realizada ao longo no período compreendido entre outubro e março, dependendo da região, o que difere dos procedimentos adotados no presente estudo.

### 3.8 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, a 5% de probabilidade. Em caso de significância, procedeu-se análise de regressão a 5% de probabilidade pelo teste t, utilizando o *software* SISVAR. Foi realizado o teste de identidade de GRAYBILL (1976), para verificar a similaridade dos modelos de regressão, nos casos significativos os modelos foram agrupados. Os valores de concentração de clorofila foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade em cada coleta e submetidos a análise de regressão local (*Loess*) ao longo do tempo realizada com auxílio do programa computacional R (R CORE TEAM, 2019).

### 3.9 Visão Geral do Experimento

Uma vista geral do experimento é apresentada na Figura 8, aos 45, 195, 295 e 390 dias após o transplante das mudas (DAT).



(A)

(B)



(C)



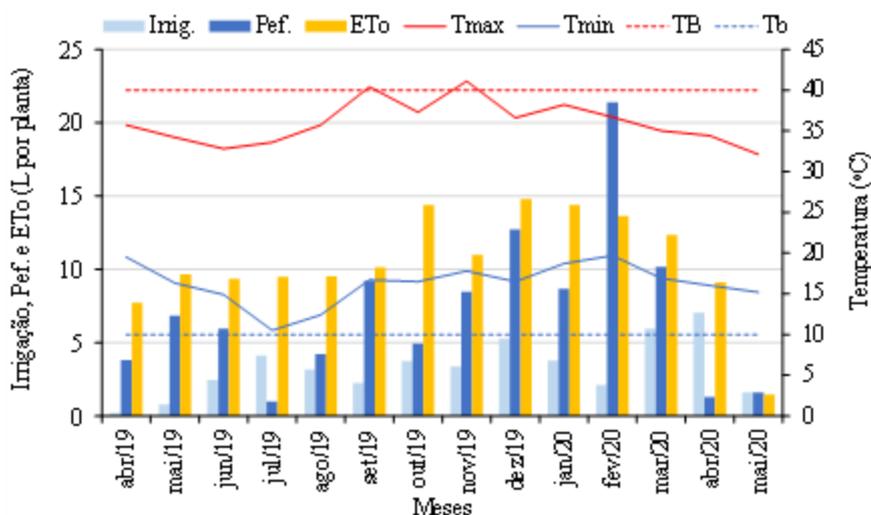
(D)

**Figura 8.** Vista parcial do experimento aos 45 (A), 195 (B), 295 (C) e 390 (D) dias após transplântio.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Condições Meteorológicas no Período Experimental e Irrigações Aplicadas

De 10/04/2019 a 06/05/2020 as temperaturas máxima e mínima do ar atingiram 41,1 e 10,5 °C, respectivamente, com temperatura média diária variando de 15,7 a 31,4 °C (Figura 9). Segundo KRISHNAMURTHY et al. (2016), as temperaturas limites toleradas pela pimenta preta são 10 °C (Tb) e 40 °C (TB) e a temperatura média ideal para um bom desenvolvimento da cultura situa-se entre 23 e 32 °C. Assim, as temperaturas observadas neste experimento provavelmente não afetaram o desenvolvimento das plantas, pois na maior parte do ano estavam dentro da faixa considerada ideal, assim como os valores de temperatura média máxima e mínima. Contudo, em alguns períodos pode ter havido alguma influência da temperatura do ar na fisiologia das plantas.



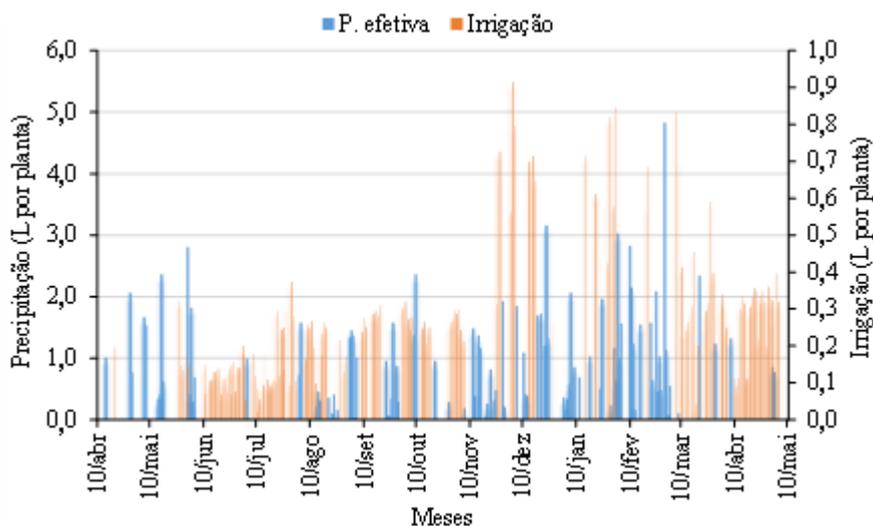
**Figura 9.** Volume de irrigação para o tratamento de referência (Irrig), precipitação efetiva (Pef.), evapotranspiração de referência (ETo), temperatura máxima (Tmax) e mínima (Tmin) do ar, temperaturas basais da cultura (TB e Tb) durante o período experimental.

Entre 12:00 e 14:00 h, a temperatura atingiu valores superiores à máxima recomendada em alguns dias do ciclo. As temperaturas acima do ideal podem causar a inibição da fotossíntese (SAGE & KUBIEN, 2007), enquanto valores de baixa temperatura podem causar o estresse pelo frio e provavelmente mudança na fisiologia da planta. O estresse relacionado às baixas temperaturas afeta o crescimento normal da planta durante seus estádios fenológicos (LIU et al., 2018). Esses extremos de temperatura podem ter causado danos a cultura quando associada a condição de falta de água.

Durante o período experimental, a ETo acumulada foi de 1.528,5 mm, correspondendo a 147,1 L por planta. O índice pluviométrico e a precipitação efetiva foram de 1.345,8 e 1.042,0 mm (100,3 L por planta). Considerando somente o período experimental com meses completos (maio de 2019 a abril de 2020), os valores de ETo mensais variaram de 94,8 a 153,8 mm, correspondendo aos volumes de 9,12 a 14,80 L planta<sup>-1</sup>, respectivamente. A Pef variou de 1,3 (13,6 mm) a 21,4 L por planta (222,3 mm). Neste período, o volume mensal de água aplicado na irrigação do tratamento controle variou de 0,777 a 7,027 L por planta.

O sistema de irrigação foi acionado 165 vezes e neste período ocorreram também 156 eventos de precipitação, fazendo com que cerca de 103 litros de água fossem adicionados ao sistema. Porém, em 91 dias não houve chuva ou irrigação e em 19 dias o sistema foi acionado

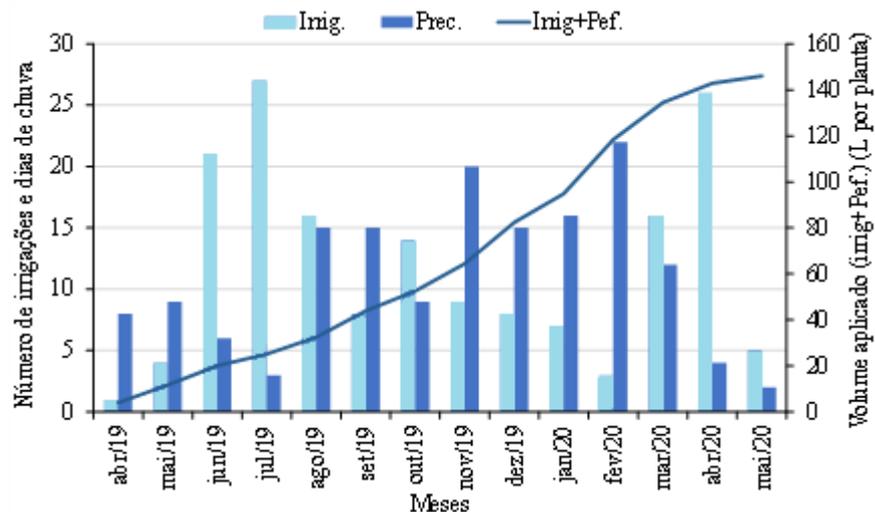
mesmo sendo registrada precipitação, fato explicado pela ocorrência de chuvas após o sistema ter sido acionado (Figura 10). Os volumes médios aplicados foram de 19,0; 28,5; 37,1 e 45,8 L por planta, respectivamente, para os tratamentos com vazões de 2,2; 3,3; 4,3 e 5,3 L h<sup>-1</sup>.



**Figura 10.** Volumes diários aplicados no tratamento irrigado com emissor de 5,3 L h<sup>-1</sup> e de precipitação efetiva durante o período experimental.

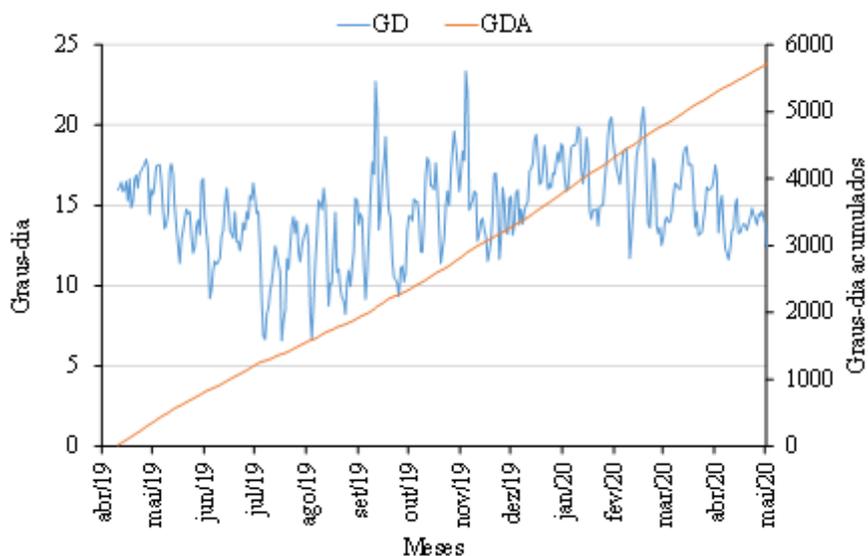
O volume total aplicado (irrigação + precipitação efetiva) por tratamento foi 119,25; 128,75; 137,38 e 146,02 L por planta, respectivamente, nos tratamentos com vazões de 2,2; 3,3; 4,3 e 5,3 L h<sup>-1</sup>, e corresponderam à aplicação de 81,7; 88,2; 94,1 e 100% do volume total aplicado no tratamento controle.

O número de irrigações variou ao longo do período de avaliação, atingindo 27 acionamentos em julho/2019 e 26 em abril/2020, enquanto o número de dias com chuva variou de 4 (abril/2020) a 22 (fevereiro/2020) (Figura 11). É possível constatar que a quantidade de água aplicada (chuva + irrigação) apresenta duas tendências ao longo do período de crescimento: de abr/19 a out/19 e de nov/19 a abr/20. Como o experimento foi concluído no dia 06 de maio de 2020, esse mês foi desconsiderado da análise. No primeiro período, o volume precipitado (35,9 L) e de irrigação (16,7 L) totalizaram 52,6 L por planta; no período posterior, ocorrido no período chuvoso, houve mais chuva (62,7 L), mas também irrigação (27,5 L), totalizando 90,2 L por planta. Essa tendência está associada não apenas às condições meteorológicas, mas também à necessidade hídrica das plantas, em resposta ao seu crescimento vegetativo.



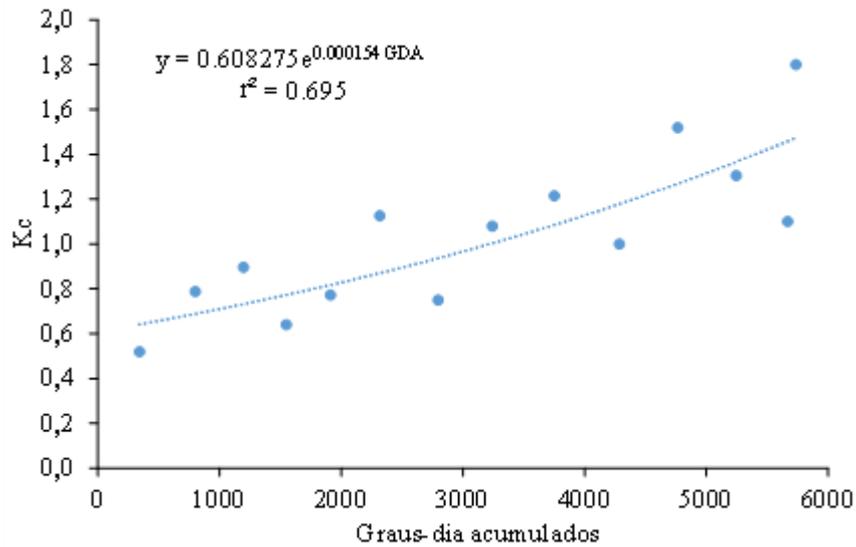
**Figura 11.** Volumes mensais de irrigação no tratamento controle e precipitação efetiva durante o período experimental.

Os valores de graus-dia variaram de 6,58 (17/07/2019) a 23,35 °C dia (04/11/2019), com valor médio de 14,66 °C dia. Nesses dias, as temperaturas máximas e mínimas foram de 21,3 e 10,9 °C dia, e 32,6 e 20,8 °C dia, respectivamente. Do transplântio ao término do período de avaliação (392 dias), a soma térmica totalizou 5748 graus dias acumulados (Figura 12).



**Figura 12.** Valores de graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) para pimenta-do-reino durante o período experimental.

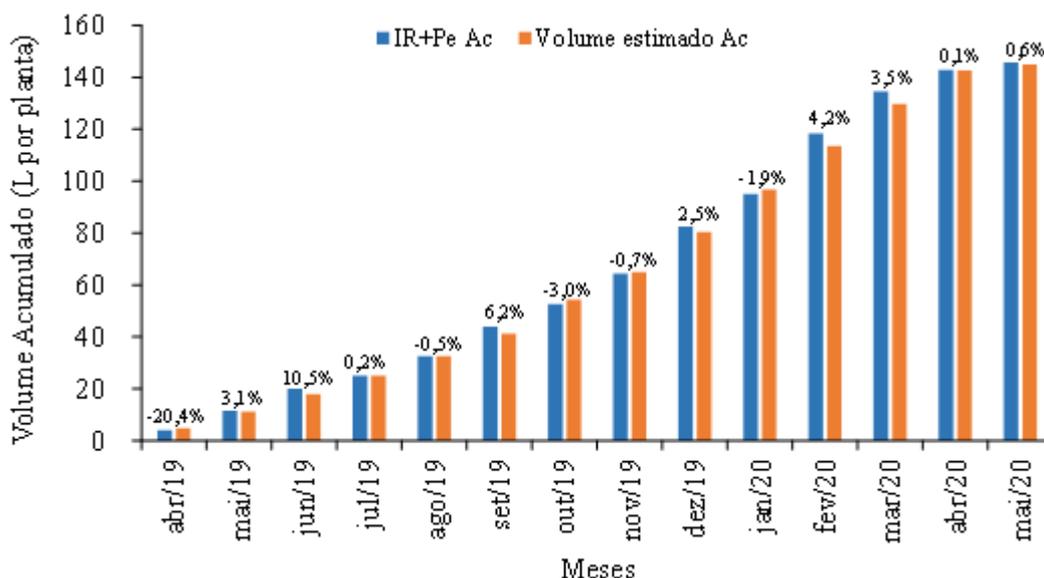
Ao contrário de cultivos anuais, o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) da pimenta-do-reino apresentou tendência de crescimento com o aumento da soma térmica (Figura 13).



**Figura 13.** Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) mensal para cultura da pimenta-do-reino em função de graus-dia acumulados no experimento.

Em cultivos comerciais de pimenteira-do-reino, os agricultores costumam podar a planta após, aproximadamente, 1 ano de transplântio. Assim, espera-se haver uma redução acentuada do  $K_c$  a partir desse período (maio/2020), pela menor demanda da planta e pela redução da quantidade de chuva na região. O ajuste do  $K_c$  utilizando graus-dia acumulados tem sido empregado em diferentes cultivos, como em melão (FIGUEIREDO et al., 2009) e café (LIMA & SILVA, 2008).

Apesar de ser uma primeira aproximação, os valores de  $K_c$  estimados a partir da equação apresentada na Figura 13 gerou volumes de água aproximados aos volumes reais aplicados à cultura, considerando a irrigação e a precipitação efetiva (Figura 14). Houve variação de -20,4 a 10,5%, mas a variação média ao longo do período experimental foi de apenas 0,3%. Para a consolidação dos valores de  $K_c$  da cultura, mais estudos são necessários visando uma melhor caracterização dos estádios de desenvolvimento.



**Figura 14.** Volume acumulado (L por planta) e erro percentual entre o valor mensal aplicado e o simulado a partir da curva de Kc para o cultivo de pimenta-do-reino.

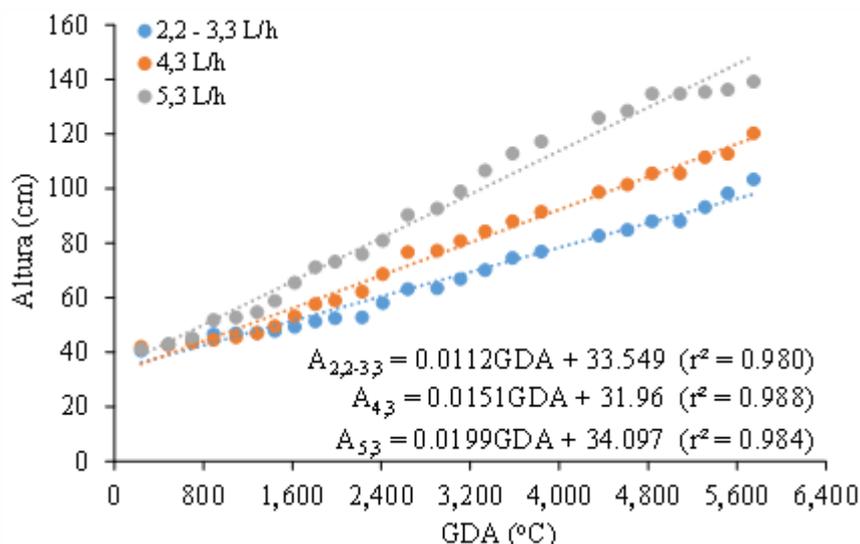
## 4.2 Variáveis Biométricas

### 4.2.1. Altura

As pimentei­ras tiveram variação expressiva de altura ao longo do período de avaliação e também entre os 2 maiores níveis de irrigação aplicados em relação aos demais, que foram estatisticamente semelhantes (Figura 15). Esse resultado justifica o uso da irrigação em plantas de pimenta-do-reino, que além de desenvolvimento superior, apresentam maior longevidade e menor incidência de doenças (DUARTE, 2008). Houve variação em altura da ordem de 62,9; 78,3 e 91,1 cm, respectivamente, para os tratamentos T1-T2, T3 e T4, com variação de 219 e 238% na altura para o menor e o maior níveis de irrigação aplicados.

Até os 60 DAT, correspondendo ao acúmulo de 702,63 °C dia, houve 172,6 mm de precipitação efetiva e as plantas de todos os tratamentos apresentavam, em média, praticamente a mesma altura. Mas a partir de 900 °C dia de soma térmica, o desenvolvimento das plantas em altura foi mais pronunciado nas maiores vazões e principalmente para as plantas irrigadas com emissores totalizando vazão de 5,3 L h<sup>-1</sup>. Essa tendência foi observada até o acúmulo de 4.800 °C dia, aos 330 DAT, quando a altura pouco variou a partir dos 135 cm.

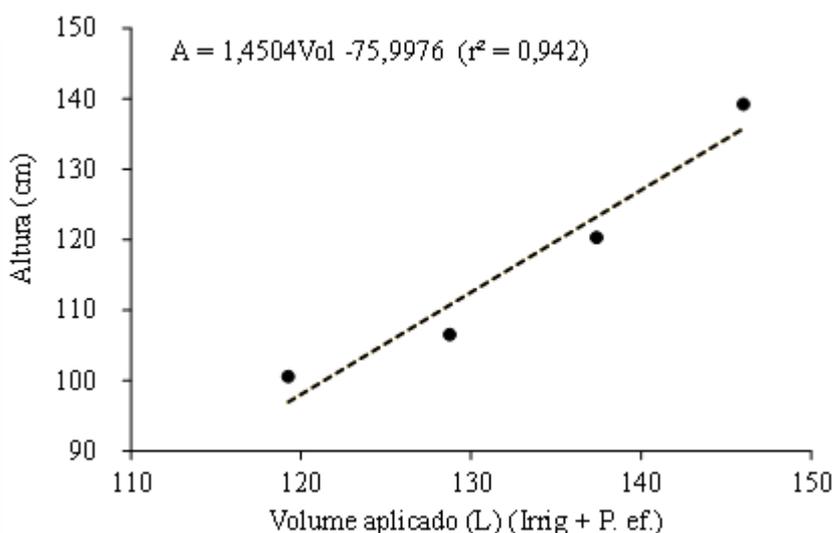
As plantas atingiram, em média, 100 cm de altura com 3.115; 4.614 e 5.740 °C dia, respectivamente, quando irrigadas com vazões de 5,3; 4,3 e 3,3-2,2 L h<sup>-1</sup>. Numa análise temporal, esses níveis térmicos foram atingidos, aproximadamente, aos 20/11/2019, 18/02/2020 e 04/05/2020. As informações apresentadas na Figura 15 evidenciam a importância do fornecimento de água via irrigação para o crescimento da planta, mesmo em condições de campo, quando há ocorrência de precipitação. O crescimento celular é um dos processos mais sensíveis ao déficit hídrico e afeta o desenvolvimento da planta (TAIZ & ZEIGER, 2013). Entretanto, a duração, a natureza do déficit hídrico e a tolerância da planta é que vão determinar a intensidade do estresse.



**Figura 15.** Crescimento em altura (A) para cultura da pimenta-do-reino com acúmulo em graus-dia (abril de 2019 a maio de 2020).

Segundo KRISHNAMURTHY et al. (2016), o crescimento da planta de pimenta-do-reino é afetado pelo estresse hídrico, principalmente em altura e área foliar o que resulta em redução e limitação do desenvolvimento. De acordo com BIANCHI et al. (2016), entre as diversas condições desfavoráveis para o desenvolvimento das plantas a falta de água é o principal fator limitante no crescimento.

Ao final do experimento (392 DAT), as plantas apresentavam, em média, 100,6; 106,6; 120,3 e 139,3 cm de altura, em resposta aos volumes aplicados de, respectivamente, 119,25; 128,75; 137,38 e 146,02 L por planta (Figura 16). Quando o volume aplicado é reduzido as plantas tem menor taxa de crescimento, o que representa um atraso no desenvolvimento da cultura. ARAGÃO et al. (2013) e PÉREZ-GUTIÉRREZ et al. (2017), trabalhando com pimentão e pimenta habanero, respectivamente, encontraram resultados semelhantes ao presente trabalho apresentando ganho em altura com aumento da irrigação.



**Figura 16.** Crescimento em altura (A) para cultura da pimenta-do-reino em função do volume total recebido no cultivo.

Possivelmente a ocorrência do déficit hídrico na pimenta-do-reino causou fechamento estomático como mecanismo de defesa (YANG et al., 2018) para reduzir a perda de água, ocasionando redução do crescimento da planta. A redução de perda de água e consequente redução da transpiração e absorção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) tem como consequência a diminuição acentuada da taxa fotossintética e de acúmulo de fotoassimilados (TAIZ et al., 2017). Esse comportamento explica a redução acentuada do crescimento em altura, tendência verificada nas plantas com menor suprimento hídrico, demonstrando que o uso correto da irrigação pode proporcionar maior rendimento no crescimento da cultura da pimenta-do-reino. Esse resultado é favorável ao produtor, uma vez que o crescimento vertical favorece o desenvolvimento de uma planta vigorosa com ramificações laterais onde acontece o florescimento e frutificação da pimenta-do-reino (CHEN et al., 2020).

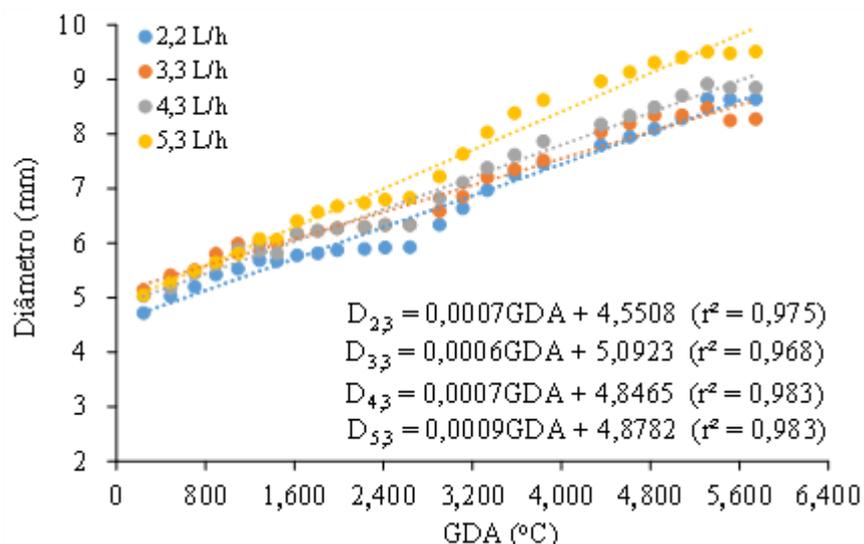
#### 4.2.2. Diâmetro

As plantas cresceram em diâmetro de forma expressiva ao longo do experimento, principalmente no tratamento com maior reposição hídrica (T4). O resultado demonstra que o uso de irrigação atendendo à necessidade hídrica da cultura favorece o desenvolvimento de forma satisfatória. Os diâmetros médios foram de 8,64; 8,25; 8,85 e 9,51, respectivamente, para T1, T2, T3 e T4, com variação percentual de 82 e 88% considerando o menor e o maior nível de irrigação. Segundo NELSON & CANHÃO-EGGER (2011), a haste da planta de pimenta-do-reino pode atingir 12 mm de diâmetro em boas condições de cultivo.

As plantas até 105 DAT acumularam 1.300 °C dia, apresentando valores de diâmetro muito próximos mesmo com a ocorrência de 182,96 mm de precipitação efetiva. Ao acumular 1.600 °C de soma térmica (120 DAT), ocorreu maior crescimento em diâmetro nas pimenteiros do tratamento T4. Essa tendência se manteve até o acúmulo de 5.156 °C aos 360 DAT quando o diâmetro não apresentou maiores alterações.

As pimenteiros atingiram, em média, 8 mm de diâmetro do caule com 3.115; 4.400, 4.400 e 4.800 °C dia, respectivamente, quando irrigadas com 5,3; 4,3; 3,3 e 2,2 L h<sup>-1</sup>. Em uma escala temporal, esses valores de soma térmica foram atingidos nos dias 20/11/2019, 05/01/2020 e 19/02/2020 aproximadamente.

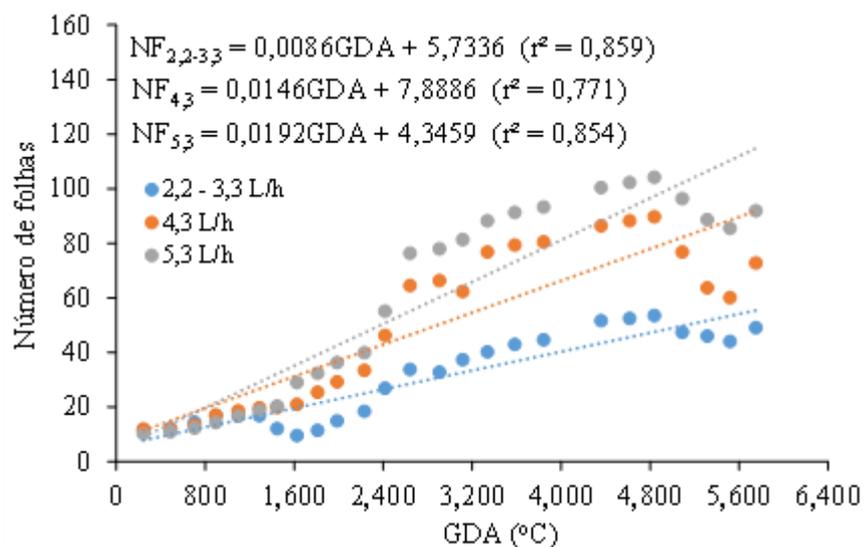
Ao final do experimento as médias de diâmetro do caule não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos, contudo foi observada redução de 10,06% quando comparados os tratamentos de maior e menor volumes de irrigação. Esse resultado é reflexo da falta de água na quantidade necessária para o crescimento normal da planta, acarretando no menor ganho em diâmetro. Os valores apresentados na Figura 17 demonstram que o fornecimento adequado de água na irrigação favorece o crescimento adequado da planta com maior incremento do diâmetro em função dos volumes de irrigação aplicados, esse dados corrobora com SOARES et al. (2011), que trabalhou com tomate, e também apresentaram diâmetro do caule menor na medida em que foi reduzida as lâminas de irrigação. As condições hídricas quando desfavoráveis para a divisão e alongamento celular, influenciando o câmbio caulinar (TAIZ & ZEIGER, 2009).



**Figura 17.** Crescimento em diâmetro (D) para cultura da pimenta-do-reino com acúmulo em graus-dia (abril de 2019 a maio de 2020).

#### 4.2.3. Número de Folhas

Houve variação do número de folhas ao longo do experimento, principalmente nas plantas irrigadas com maiores vazões. Não houve diferença estatística em relação aos tratamentos com vazões de 2,2-3,3 L h<sup>-1</sup> (Figura 18). Esse resultado evidencia a importância do fornecimento adequado de água a cultura favorecendo o aumento do número de folhas. Do início ao término do experimento o aumento do número de folhas foi na ordem de 36, 60 e 82, respectivamente, para T1-T2, T3 e T4, apresentando duas vezes mais folhas na planta que recebeu maior volume de irrigação em comparação a planta com menor volume.



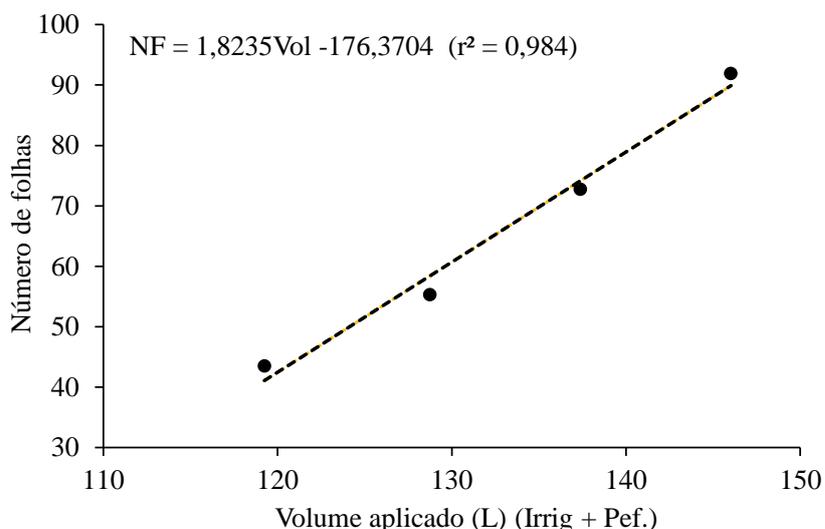
**Figura 18.** Número de folhas (NF) para cultura da pimenta-do-reino com acúmulo em graus-dia (abril de 2019 a maio de 2020).

As plantas sujeitas às maiores vazões apresentaram aumento de forma mais proeminente a partir de 105 DAT acumulando cerca de 1.300 °C dia. Houve tendência linear de variação na quantidade de folhas mesmo com a ocorrência de 182,92 mm de precipitação efetiva. Os tratamentos T1 e T2 apresentaram redução no número médio de folhas, enquanto em T3 e T4

houve aumento. Este resultado se deve à menor abscisão foliar e maior produção de folhas nas plantas com maior suprimento de água, mostrando mais uma vez a importância da irrigação adequada no desenvolvimento da pimenta-do-reino. Segundo BERNIER et al. (2008), plantas com maior vigor em condição de falta de água teoricamente tem mecanismos fisiológicos que ajudam a manutenção do seu desenvolvimento normal. Uma maior senescência e abscisão das folhas em condições de déficit hídrico são mecanismos adotados pelas plantas para reduzir a área foliar e com isso reduzir a transpiração (TAIZ & ZEIGER, 2013). INMAN-BAMBER & SMITH, (2005), SMIT & SINGELS (2006) e INMAN-BAMBER et al. (2008) relatam que a senescência foliar comumente ocorre após a redução do surgimento de novas folhas e essa redução é uma estratégia para diminuir a superfície de transpiração pela planta, reduzindo assim os gastos metabólitos e mantendo a planta viva.

O aumento do número de folhas foi observado até os 330 DAT com soma términa de 4.800 °C dia, quando todos os tratamentos apresentaram redução da quantidade de folhas. Tal fato é justificado pela ocorrência de muito vento e chuvas intensas que causaram a queda de muitas folhas em todos os tratamentos. O número de 40 folhas por planta foi atingido com 3.984, 2.199 e 1.857 °C dia, para 2,2-3,3; 4,3 L h<sup>-1</sup> e 5,3 L h<sup>-1</sup>. FERRARI et al. (2015) ratificam que a falta de água na fase vegetativa reduz o crescimento e acelera a senescência e abscisão de folhas podendo em muitos casos causar a morte da planta.

Aos 392 DAT, as plantas apresentavam, em média, 47; 58; 72 e 92 folhas, em resposta aos tratamentos T1, T2, T3 e T4, respectivamente (Figura 20). O número médio de folhas obtido em T4 (92 folhas) foi 119,05% superior ao obtido em plantas do T1 (42 folhas).



**Figura 20.** Aumento do número folhas (NF) na cultura da pimenta-do-reino em função do volume total recebido no cultivo.

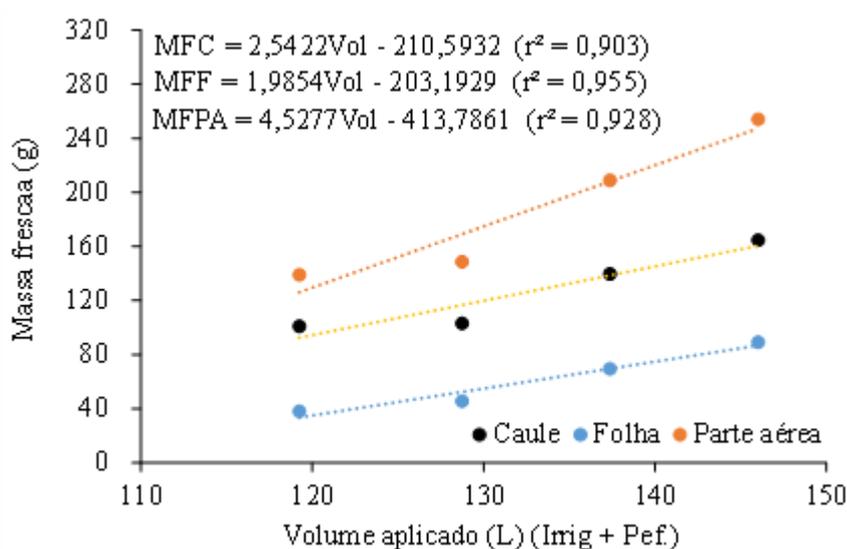
Quando a disponibilidade de água proveniente da irrigação é reduzida o número de folhas também reduz (RASANJALI et al., 2019). Resultado semelhante já foram encontrados em outros estudos com hortaliças, avaliando diferentes volumes de água aplicadas, resultando em número de folhas diretamente proporcional à quantidade de água aplicada (SOARES et al., 2011; SILVA et al., 2012; MOLINE et al., 2015).

As plantas de pimenta-do-reino com demanda hídrica atendida apresentaram o maior número de folhas em função do pleno crescimento e do atendimento à evapotranspiração da cultura, resultando em maior produção fotossintética. Com a demanda de evapotranspiração atendida a planta teve seu crescimento favorecido e pode aumentar cada vez mais sua altura e consequentemente o número de ramos e folhas. Por outro lado, as plantas em condição de déficit

hídrico apresentaram abscisão foliar para evitar a perda de água. Sabe-se que as principais respostas da planta às condições de estresse por falta de água são redução de produção, fechamento estomático, senescência precoce e abscisão foliar (TAIZ & ZEIGER, 2013). É possível constatar que a irrigação é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento da planta de pimenta-do-reino visando uma maior produção e ganhos pelo pipericultor.

#### 4.2.4. Massas Fresca e seca da Pimenta-do-Reino

Os diferentes suprimentos de água proporcionaram diferenças significativas na MFC, MFF e MFPA, que apresentaram comportamento linear pela análise de regressão ( $p < 0,05$ ) (Figura 21).



**Figura 21.** Massa fresca de caule (MFC), massa fresca de folhas (MFF) e massa fresca da parte aérea (MFPA) na cultura da pimenta-do-reino em função do volume total recebido no cultivo.

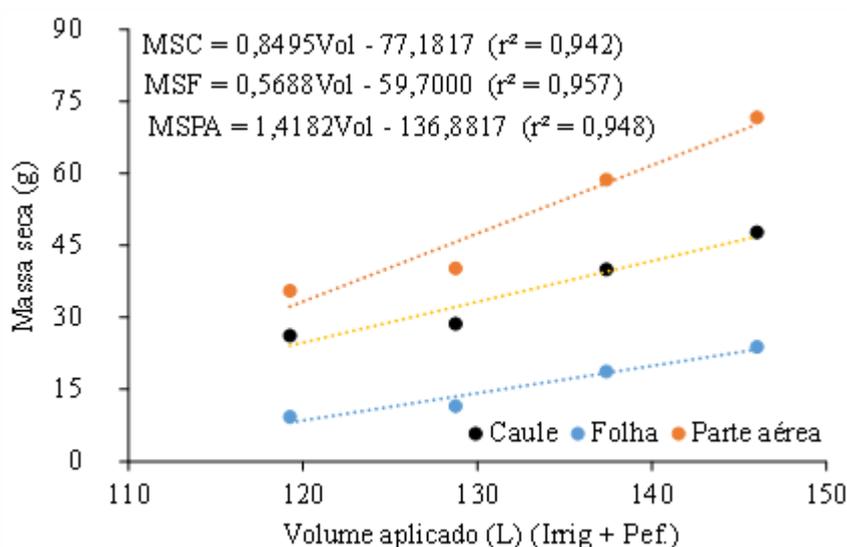
O tratamento T4 apresentou melhor desempenho quando comparada com as médias de T3, T2 e T1 em todas as variáveis. A MFC reduz 63% (de 164,7 para 101 g) e a MFF reduz 134,5% (de 89,24 para 38 g) da massa média total quando comparado T4 com T1. O percentual de redução dessas variáveis é observado conforme se reduz o volume de água aplicado (Figura 21). O mesmo comportamento ocorre quando considerado a MFPA onde o percentual de redução entre o maior e o menor volume aplicados foi 82,6% do peso médio em gramas (de 254,03 para 139,08 g).

De uma forma geral, ocorreu um incremento da massa fresca da planta seja do caule ou das folhas conforme o aumento do volume de água na irrigação. Esses dados estão de acordo com o estudo realizado por RASANJALI et al. (2019), que cultivaram pimenta-do-reino com uso de polímeros hidratados e testou diferentes intervalos de irrigação na resposta de crescimento da cultura constatando que quanto maior o turno de rega menor a massa fresca da planta. AZEVEDO et al. (2005) avaliaram a massa fresca da cultura da pimenta do gênero *capsicum* em função de lâminas de irrigação equivalentes a 40, 60, 80, 100 e 120% da evaporação do tanque classe A. os autores constataram que os maiores volume tiveram o maior valor absoluto de massa fresca da parte aérea.

As plantas de pimenta-do-reino em condição de déficit hídrico reduziram seu crescimento em parte aérea possivelmente como forma de adequação à condição de estresse, seja pela

redução do crescimento em altura e diâmetro ou pelo menor número de folhas e ramos, reduzindo a perda de água e proporcionando maior condição de sobrevivência da planta. Para SUASSUNA et al. (2012), ocorre redução da parte aérea quando a planta é submetida a falta de água, ou quando se reduz o nível de irrigação. MUNNS et al. (2002) asseguram que a diminuição da massa da parte aérea é consequência da redução da taxa fotossintética e do desvio de energia do crescimento para manutenção de atividades metabólicas.

As massas secas (MSC, MSF e MSPA) também foram influenciadas pelo suprimento de água. Os valores médios em função do volume aplicado por planta indicam que os diferentes volumes de irrigação influenciaram no acúmulo de massa seca na planta (Figura 22). Segundo SILVA et al. (2010), uma redução da massa seca é esperada, em função da proporção de folhas na matéria seca que diminui em reação à condição de déficit hídrico. De acordo com PARVEEN et al. (2019), a ocorrência de estresse hídrico afeta negativamente a atividade da planta reduzindo consideravelmente o crescimento e acúmulo de matéria seca.



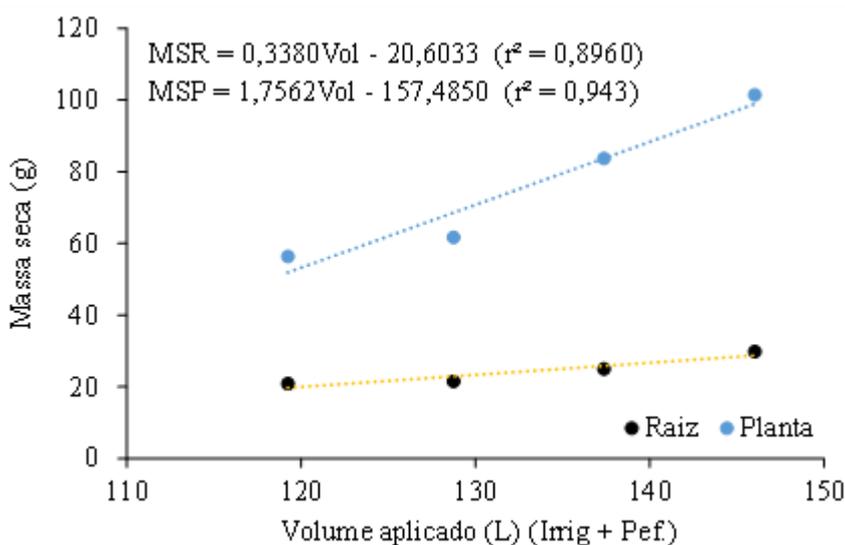
**Figura 22.** Massa seca de caule (MSC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca da parte aérea (MSPA), na cultura da pimenta-do-reino em função do volume total recebido no cultivo.

Os valores médios para T4 foram de 47,7; 23,8 e 71,62 g de MSC, MSF e MSPA, respectivamente, enquanto as pimentadeiras de T1 apresentaram médias de 26,2; 9,31 e 35,53 g. Esses valores evidenciam o acúmulo de massa seca pela planta conforme o aumento de disponibilidade hídrica. Esses resultados corroboram com RASANJALI et al. (2019), que observaram maior acúmulo de massa seca pela planta de pimenta-do-reino conforme o aumento do volume de água aplicado e redução do turno de rega.

Segundo MUNNS & TESTER (2008), a diminuição da disponibilidade de água no solo reduz o potencial de água da folha ocasionando perda de turgescência e fechamento estomático, ocorrendo assim menor acúmulo de massa seca do vegetal em condições hídricas desfavoráveis. Esse menor acúmulo de massa seca da pimenta-do-reino ocorre em função do menor crescimento da planta, pois nessa condição a planta passa a investir menos em crescimento reduzindo a altura; o tamanho e número de folhas; o diâmetro do caule; e provavelmente o rendimento fotossintético e ganho de massa seca da parte aérea. Segundo MAURI et al. (2017), o menor acúmulo de massa seca na parte aérea da planta em condição de déficit hídrico ocorre devido à redução foliar como tentativa de diminuir a transpiração para tentar manter o teor de água celular, prevenindo que não aconteçam processos fisiológicos paralisantes.

Por meio da correta disponibilidade de água para planta se tem um crescimento e desenvolvimento com produção e acúmulo de massa seca de forma satisfatória. Sendo assim, a pimenta-do-reino, cv. Bragantina, apresentou máximo desempenho de produção de massa seca no tratamento T4, no qual foi aplicado um volume de 145,73 L por planta.

Os valores médios de massa seca de raiz e massa seca da planta são apresentados na Figura 23. Fica evidente que os maiores valores de MSP ocorreram no tratamento que recebeu o maior volume de irrigação. Pois os componentes da soma MSPA + MSR foram maiores conforme a disponibilidade hídrica. As médias apontam diferença significativa entre os tratamentos a 5% de probabilidade e apresentaram modelo de regressão linear. Nesses parâmetros a planta apresentou um maior incremento de massa seca com aumento do nível de irrigação. Apesar disso, MSR representou 37% da média de MSP em T1, enquanto em T4 a massa seca das raízes foi igual a 29,3% de MSP. Essa tendência foi observada conforme a redução do nível de irrigação, ou seja, a disponibilidade de água influenciou no aumento da massa do sistema radicular das plantas em relação à massa total (MSP).



**Figura 23.** Massa seca de raiz (MSR) e massa seca da planta (MSP), na cultura da pimenta-do-reino em função do volume total recebido no cultivo.

As plantas que estavam em condição de estresse hídrico cresceram menos em parte aérea, mas desenvolveram mais raízes quando comparada à proporção raiz/parte aérea. Dessa forma, pode-se dizer que o aumento do volume de água aplicado no solo reduz a necessidade de expansão do sistema radicular, alocando menos porcentagem de massa para as raízes em relação ao restante da planta, pois não precisava buscar água. MAGALHÃES FILHO et al. (2008) verificaram redução da parte aérea de citros como mecanismo de adaptação à seca dando preferência ao crescimento radicular, visando incrementar a capacidade de absorção de água e nutrientes. Para KOORYERS (2015) e WAGHORN et al. (2015), a redução do crescimento da parte aérea concomitante com maior alocação de massa seca nas raízes sugere uma estratégia de adaptação da planta para redução da desidratação durante um período seco. Quando sujeitas à falta de água, as plantas diminuem o desenvolvimento da parte aérea para estimular o desenvolvimento radicular, como adequação à situação de restrição hídrica (BORTOLO & PACHECO, 2009).

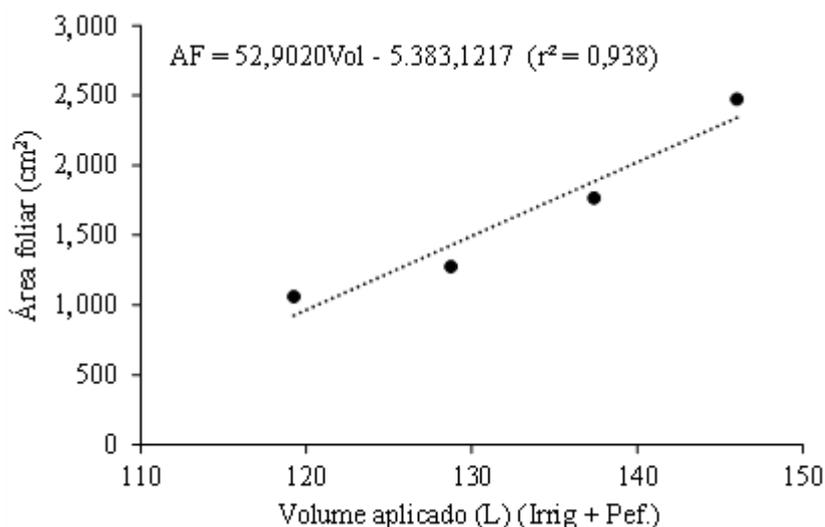
A relação raiz/parte aérea nos diferentes níveis de irrigação apresentou redução conforme o aumento da disponibilidade de água. Para T4, a relação foi de 0,41 g g<sup>-1</sup> (g de raiz por g de parte aérea) e quando reduzido ao menor volume de água aplicada essa relação chega 0,58 g g<sup>-1</sup>. Comportamento semelhante foi encontrado por OLIVEIRA et al. (2015), na

avaliação da cultura do pimentão verificando relação raiz/parte aérea decresceu com aumento da irrigação. Segundo SUASSUNA et al. (2012), ter um maior acúmulo de massa seca direcionada a parte radicular é uma característica de adaptação das plantas ao déficit hídrico, dando prioridade a absorção de água e redução de perdas pela transpiração.

#### 4.2.5. Área Foliar

A área foliar média das plantas de pimenta-do-reino aumentou com o aumento do nível de irrigação, principalmente em função do maior número médio de folhas presentes nas plantas que receberam o maior nível de irrigação (Figura 24). O maior valor médio de AF foi obtido no tratamento T4 (2.474,97 cm<sup>2</sup>) e o menor no tratamento T1 (1.061,06 cm<sup>2</sup>). RASANJALI et al. (2019) constataram que o estresse hídrico reduz o tamanho e o número de folhas de plantas de pimenta-do-reino. Resultados semelhantes foram obtidos por KOCH et al. (2019) e CEMEK et al. (2020), na cultura do tomate e do pimentão com redução da área foliar em condição de déficit hídrico.

Na razão da área foliar com o número de folhas por planta foi verificado que pimenteiros submetidas aos níveis de irrigação de T1 e T2 apresentaram folhas menores mesmo apresentando menor número, em comparação aos tratamentos T3 e T4. Segundo KRISHNAMURTHY (2016), nas fases iniciais de cultivo, a pimenta-do-reino tem sua área foliar afetada pelo estresse hídrico, afetando fortemente o desenvolvimento da área foliar e a taxa de alongamento das folhas.



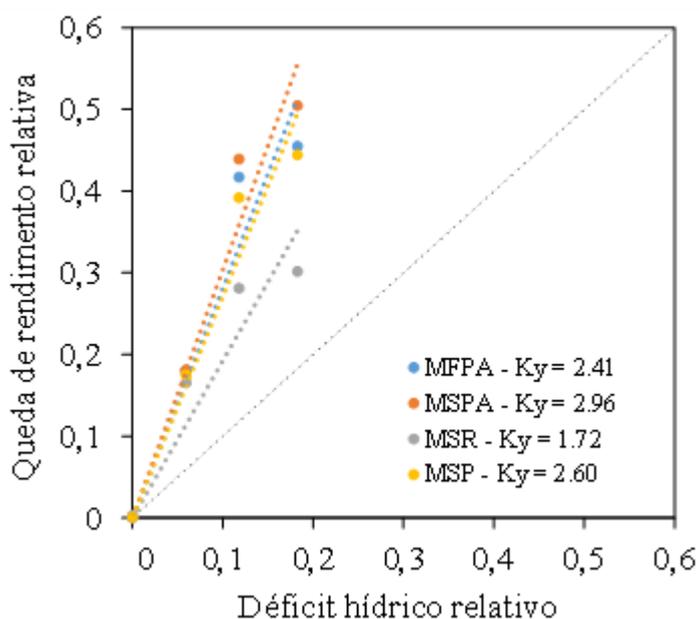
**Figura 24.** Área foliar (AF) de plantas de pimenta-do-reino em função do volume total de água recebido no primeiro ano de cultivo.

Assim, pode-se dizer que a área foliar da pimenta-do-reino em condições de estresse por falta de água foi comprometida provavelmente como estratégia de adaptação para reduzir a perda de água, seja com a perda de folhas pela abscisão foliar ou pela redução do tamanho das mesmas. SIVAKUMAR & SHAW (1978) relatam que em condições de falta de água há redução da expansão das folhas, aceleração da senescência foliar, redução do índice de área foliar e aumento da abscisão foliar.

Os resultados deste estudo indicam que o fornecimento de água via irrigação em resposta à necessidade hídrica da cultura proporciona maior área foliar na cultura da pimenta-do-reino, apresentando folhas maiores e mais numerosas quando comparada com plantas submetidas a menor suprimento hídrico (Figura 24).

### 4.3 Coeficiente de Resposta da Pimenta-do-Reino (Ky)

Para todas as variáveis avaliadas, os coeficientes  $K_y$  evidenciam a queda acentuada de rendimento da pimenteira-do-reino em função do déficit hídrico aplicado (Figura 25). Os coeficientes angulares das equações de ajuste caracterizam fatores resposta ( $K_y$ ) de 2,41(MFPA), 2,96 (MSPA), 1,72 (MSR) e 2,60 (MSP). De acordo com DORENBOOS & KASSAM (1994), pode-se classificar as culturas em categorias quanto à sua sensibilidade ao estresse hídrico: baixa ( $K_y < 0,85$ ); baixa/média ( $0,85 < K_y < 1,00$ ); média/alta ( $1,00 < K_y < 1,15$ ) e alta ( $K_y > 1,15$ ). Portanto, com os valores de  $K_y$  obtidos pode-se concluir que a pimenteira-do-reino é altamente sensível ao déficit hídrico.



**Figura 25.** Coeficiente de resposta da pimenteira cultivar Bragantina ao déficit hídrico ( $K_y$ ), considerando o primeiro ano de cultivo.

Houve grande perda no rendimento em massa fresca e seca, com redução de 82,64% na massa fresca (254 para 139 g) e de 101,5% na massa seca (71,6 para 35,5 g) do tratamento T4 comparado ao T1. Esses valores são resultados da intensificação do déficit hídrico causado pelo menor volume de irrigação e ausência de precipitações em alguns períodos ao longo do experimento, resultando em menor crescimento e ganho de massa pela planta. Segundo STANHILL et al. (1985), a grande variabilidade em condições ambientais e respostas das culturas aos diferentes ambientes de estudo mostram uma ampla variação entre o valor de  $K_y$  tanto entre culturas quanto entre uma mesma cultura.

São escassos os estudos sobre a necessidade de irrigação na cultura da pimenta-do-reino, principalmente sobre sua sensibilidade ao déficit hídrico. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho indicam que o controle da disponibilidade da água é fundamental para evitar os efeitos do déficit hídrico e a queda de rendimento da cultura da pimenta-do-reino que é afetada principalmente no acúmulo de matéria fresca e seca.

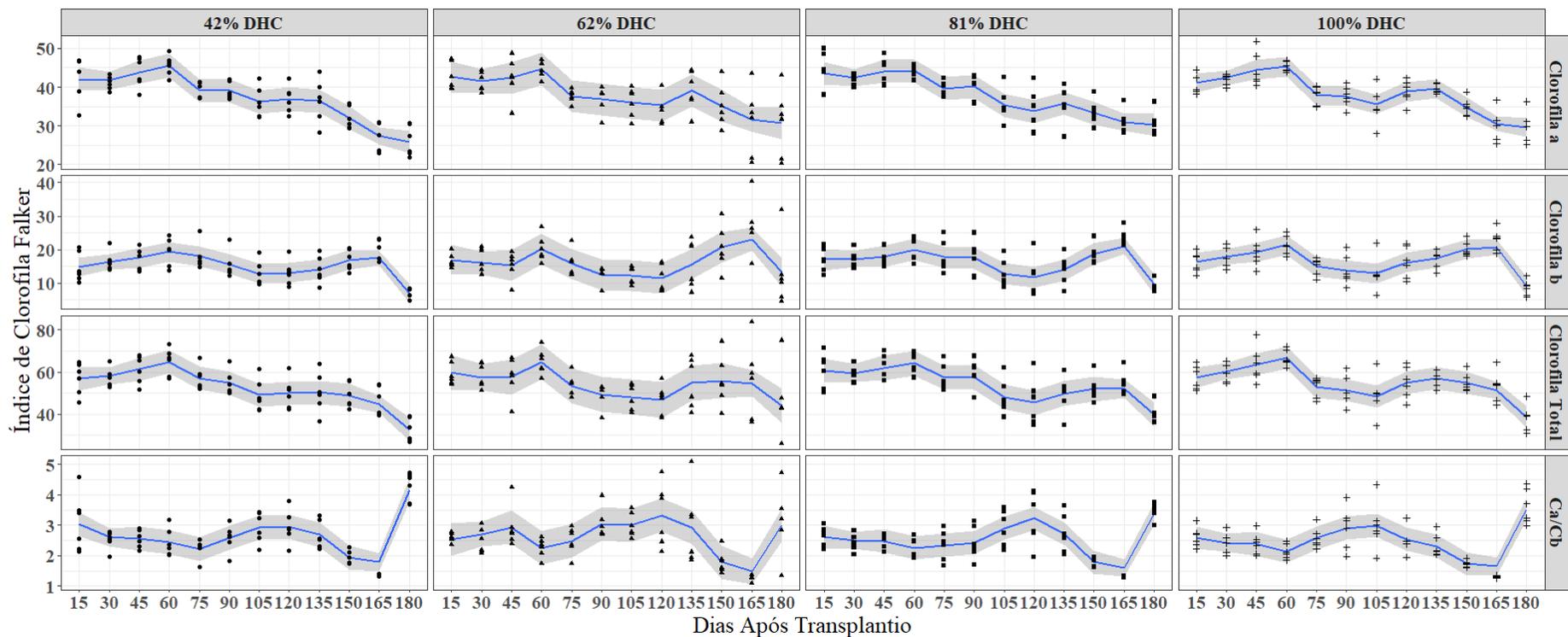
### 4.4 Variáveis fisiológicas

#### 4.4.1 Teor de Clorofila

As concentrações dos pigmentos fotossintéticos mensurados apresentaram alterações ao longo das avaliações do experimento, tanto entre tratamentos quanto ao longo dos dias (Figura 26). Foram também observados efeitos que são possivelmente resultados das mudanças fenológicas da planta ou meteorológicas do ambiente ao longo do ano, resultando aumento da concentração em todos os tratamentos no período de 15 a 60 DAT e redução aos 180 DAT.

Houve dois períodos com baixo nível pluviométrico: o primeiro ocorreu de abril a agosto de 2019 (de 15 a 135 DAT) e o segundo, de março a maio de 2020 (345 a 390 DAT). Nesses períodos, a precipitação foi de 247 e 70 mm, respectivamente, e as irrigações ocorreram com maior frequência. No início do primeiro período com baixas precipitações (de 15 a 60 DAT) (maio a junho de 2019) aconteceu um aumento nos teores de clorofila, principalmente no tratamento de menor volume de irrigação (até 32%), decorrente do estresse ocasionado pelo menor crescimento da planta. A ocorrência de um efeito de concentração da clorofila é esperada em plantas sujeitas a algum período de restrição hídrica branda. Resultados semelhantes foram encontrados por SANTOS et al. (2019), para a cultura do quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e VALENÇA et al. (2018) para a cultura da alface (*Lactuca sativa*), para as quais foi verificada variação na concentração das clorofilas com a ocorrência de déficit hídrico. No presente trabalho, entretanto, não se pode indicar a seca como fator único para explicar a concentração das clorofilas, uma vez que houve aumento no tratamento com irrigação plena no período de abril a junho de 2019 (15 a 60 DAT) e de março a maio de 2020 (345 a 390 DAT). Desta forma, a redução no crescimento também das plantas bem irrigadas poderia estar relacionada a outros fatores, como a redução da temperatura do ar que é observada de forma acentuada nos dois períodos. Como consequência, houve crescimento mais lento e reduzido em altura, diâmetro e número de folhas nas plantas em todos os tratamentos. Resultado semelhante foi encontrado em estudo com plantas de *Melilotus alba* que em temperaturas de 23 °C e mais baixas apresentaram aumento no teor de clorofila (MARKWELL et al., 1986).

Como a irrigação foi insuficiente nos tratamentos de menores níveis de reposição hídrica houve uma restrição hídrica longa no período de abril a outubro de 2019 (15 a 180 DAT), apresentando uma fase branda de déficit (30 a 60 DAT) com teores de clorofila *b* 11% menores comparando ao maior nível de irrigação, seguida de uma fase mais severa (até 180 DAT) com teores de clorofila *b*, até 34% menores, provavelmente por degradação no tratamento de menor irrigação (T1). Outro evento importante ocorre entre 75 e 120 DAT quando houve uma redução nos teores de clorofila em todos os tratamentos. Essa redução nos tratamentos de maior nível de reposição hídrica pode ser atribuída possivelmente à diluição das clorofilas e do nitrogênio nas folhas em decorrência do crescimento.



**Figura 26.** Teores de clorofila a, clorofila b, total e relação entre clorofila a e b, em folhas mais jovens, completamente expandidas, de pimentão-reino, cv. Bragatina dos 15 aos 180 dias após o transplântio, em função de diferentes regimes de irrigação. (—) Análise de regressão local (*Loess*), fórmula  $y \sim x$ , com parâmetro de suavização (*span*) igual a 0,4 (linha azul) e intervalo de confiança de 95% (área sombreada). 42%; 62%; 81 e 100% de Déficit hídrico constante (DHC).

Segundo BEZERRA et al. (2019), a área foliar está associada à organização do pigmento de clorofila nas folhas, influenciando na concentração dessa em relação a uma dada área de leitura. Dessa forma, é possível que este efeito tenha causado aos 180 DAT (outubro/2019) a redução das clorofilas *a* e *b*, independente do tratamento. Apesar disso, as maiores variações da clorofila *a* foram observadas nos tratamentos T1 e T2 (2,2 e 3,3 L h<sup>-1</sup>), reduzindo de 45,56 e 44,63 ICF para 26,09 e 30,78 ICF no período de 60 a 180 dias após o transplântio. Os valores de clorofila *b* e total apresentaram comportamento semelhante, com redução acentuada aos 180 DAT nos tratamentos que receberam menos água o que pode se um indicativo de estresse (Figura 26). Segundo ASHRAF & HARRIS, (2013) os valores de clorofilas diminuem com o estresse hídrico severo. KRISHNAMURTHY et al. (2016) e DIN et al. (2011) relatam que a clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total diminuem o seu conteúdo em resposta ao estresse hídrico.

Os tratamentos apresentaram diferença significativa ( $p < 0,05$ ) para a concentração de clorofila *b* aos 120 DAT (agosto de 2019) e relação clorofila *a/b* aos 180 DAT (outubro de 2019) (Tabela 2). A concentração de clorofila *a* e clorofila total não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos. A redução da clorofila *b* foi mais acentuada nas plantas sujeitas à maior restrição hídrica (até 31%) apontando a ocorrência de estresse por déficit hídrico. Este resultado corrobora com os estudos realizados por MASSACCI et al. (2008) e FERRARI et al. (2015) que relatam diminuição da concentração de clorofila e redução na taxa fotossintética com a falta de água na fase vegetativa. Em condições de seca rigorosa, as plantas podem apresentar redução no teor de clorofila devido sua degradação (VALENÇA et al., 2018).

**Tabela 2** - Índice de clorofila Falker aos 120 e 180 dias após o transplântio em plantas de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) submetidas a diferentes níveis de irrigação.

Tratamento	Índices de clorofila							
	120 DAT				180 DAT			
	<i>a</i>	<i>b</i>	Total	<i>a/b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	Total	<i>a/b</i>
T1	36,89 a	12,87 ab	49,91 a	3,04 a	26,67 a	6,73 a	32,32 a	4,39 a
T2	35,26 a	11,53 b	47,680 a	3,04 a	30,60 a	8,54 a	48,38 a	3,83 ab
T3	33,92 a	13,07 ab	46,45 a	3,45 a	29,90 a	9,01 a	38,92 a	3,43 b
T4	38,80 a	16,17 a	54,98 a	2,67 a	29,70 a	9,00 a	38,71 a	3,44 b
Significância	ns	*	Ns	ns	ns	ns	Ns	*

Valores seguidos pelas mesmas letras da coluna não diferem pelo teste de Tukey. Nível de significância: \* ( $p \leq 0,05$ ), ns (não significativo). T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup> T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

De forma geral, a menor concentração das clorofilas *a*, *b* e total foi observada no tratamento que recebeu menor volume de irrigação. O efeito de redução no teor de clorofila em seca mais severa é esperado, de forma mais pronunciada no tratamento com o menor volume de irrigação. Contudo, o tratamento T1 no período de 75 a 120 DAT (junho a agosto) apresentou maiores valores em comparação a T2 (Tabela 2), e isso se deve possivelmente a um efeito cíclico de recuperação das plantas em T1. Ao receberem uma fração da irrigação do tratamento de referência (T4), as plantas dos demais tratamentos crescem menos e, conseqüentemente, demandam menos água. Contudo, o crescimento das plantas do tratamento T4 (sem restrição hídrica) promove aumento da demanda por água, fazendo com que a fração de água recebida pelas plantas dos demais tratamentos também aumente. Como as plantas em T1 apresentaram crescimento praticamente nulo neste período, elas passam a receber mais água do que a quantidade que demandam, saindo do estado de estresse por algum tempo. Após recuperarem o crescimento, a demanda das plantas por água tende a aumentar e elas podem entrar novamente em condição de estresse. Os resultados obtidos por VALENÇA et al. (2018) demonstram

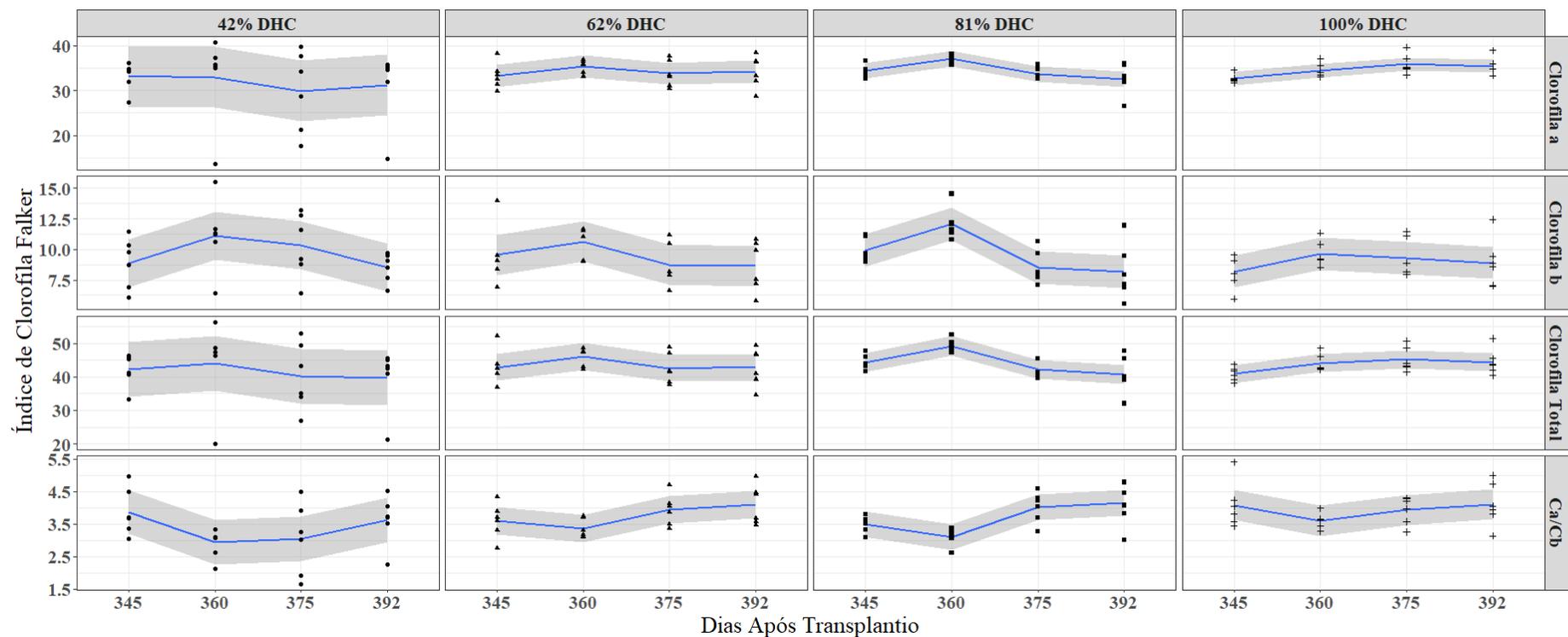
comportamento semelhante de seca cíclica em alface, ao utilizarem manejo de irrigação semelhante ao do presente estudo.

Aos 180 DAT, a razão clorofila *a/b* apresentou um aumento (30%) em decorrência da maior redução da clorofila *b* no período, principalmente no tratamento T1 (34 % menor) (Tabela 2). Sobre condições de seca, a redução de clorofila *b* tende a ser maior que a redução de clorofila *a*, aumentando a relação *a/b* (JALEEL et al., 2009; JAIN et al., 2010). Essa relação foi menor conforme o aumento do volume de água aplicado em função da maior concentração de clorofila *b* no tratamento com maior nível de irrigação. Esse efeito é um indicativo do bom funcionamento do fotossistema II (FSII) que trabalha em conjunto com fotossistema I (FSI), e reflete o maior crescimento da planta. ESTILL et al. (1991) relatam que na condição de déficit hídrico pode ocorrer uma mudança nos fotossistemas em direção à menor proporção de fotossistema PSII para PSI. Como o PSII absorvem a luz em comprimentos de onda de 475 nm e 650 nm, é o que contém a maior parte da clorofila *b* e por isso existe uma associação entre teor de clorofila *b* e quantidade relativa de PSII em relação ao PSI (comprimentos de onda até 700 nm) (BLANKENSHIP, 2014; WIENTJES et al., 2017).

As plantas que receberam menores volumes de água apresentaram menores valores de clorofila *b*, resultando provavelmente em menor aproveitamento da energia luminosa pelos fotossistemas. Uma possível explicação para este fato é que a planta não precisa de tanta energia e reduz a produção de elétrons advindos da água entrando em uma condição de fotofosforilação cíclica. Resultados encontrados por SANTOS et al. (2019) e RIVERO et al. (2014), para as culturas do quiabeiro e do tomateiro, respectivamente, comprovam que os teores de clorofila *a*, *b* e total são muito reduzidos em condições de restrição hídrica, evitando danos ao FSII, por meio da limitação da quantidade de energia absorvida.

De 180 a 330 DAT (outubro de 2019 a março de 2020) (período chuvoso) foram registrados 890 mm de chuvas o que representa o maior índice pluviométrico em todo experimento (Figura 10). A partir de 345 DAT (março de 2020), as plantas passaram novamente por um período de déficit. Diferente do período seco anterior, as alterações de clorofila apresentaram pouca variação em função do estresse hídrico que foi menor e mais brando (Figura 27). Contudo, foi observado aumento na concentração dos teores de clorofila *a*, total e relação *a/b* e redução da clorofila *b* em todas as plantas do experimento, provavelmente em função do estresse causado pelas baixas temperaturas ocorridas ao final do experimento. O tratamento sem déficit possivelmente foi afetado por essa redução da temperatura (março a maio de 2020) que resultou na alteração dos teores de clorofilas e redução de crescimento da planta em altura, diâmetro e número de folhas.

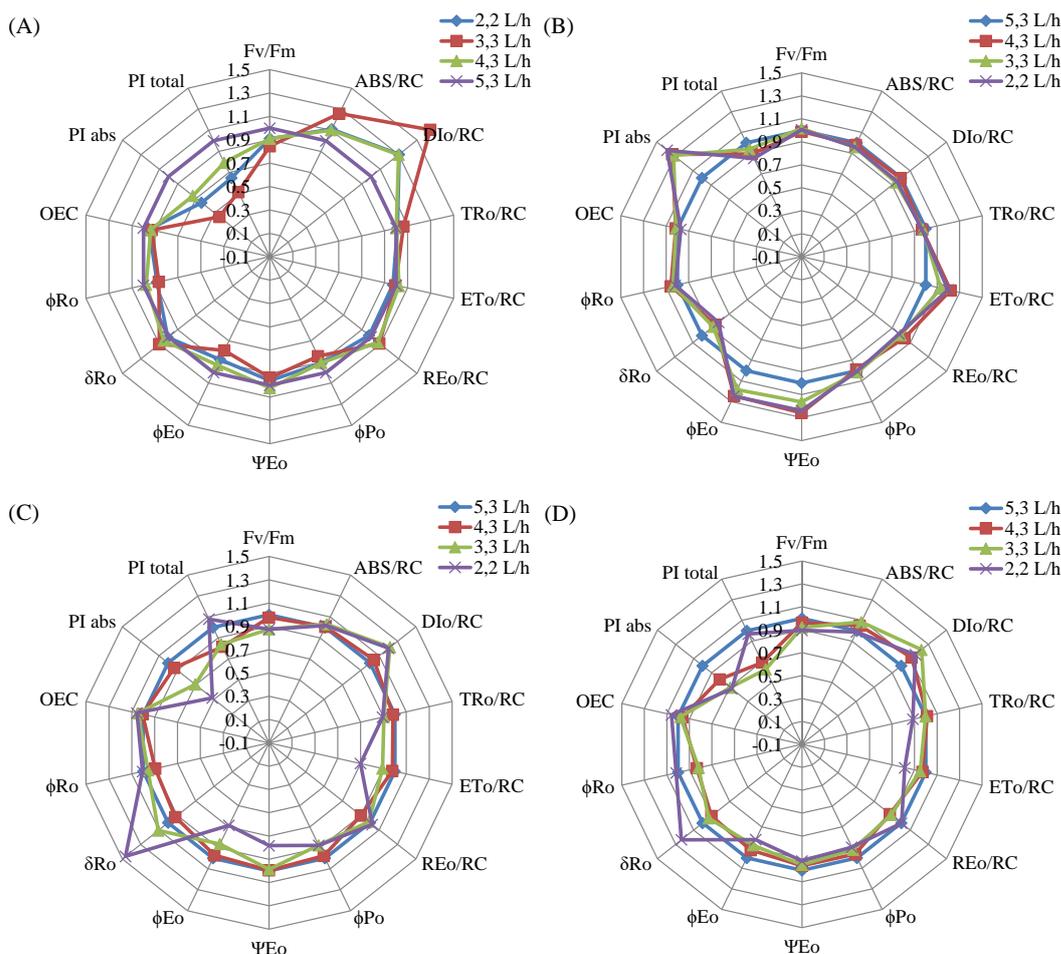
Os resultados encontrados nesse estudo demonstram que a pimenta-do-reino é sensível ao déficit hídrico, afetando as concentrações dos teores de clorofila. A menor disponibilidade hídrica promove modificações na quantidade de clorofila caracterizando o estresse da planta, refletindo no menor crescimento. Poucos são os estudos que avaliam o comportamento de plantas de pimenta-do-reino diante da ocorrência de estresse hídrico. Dessa forma, a variação na concentração das clorofilas reflete a reação da planta diante de condições adversas do ambiente e da falta de água. O presente estudo contribui para o entendimento das reações fisiológicas da planta a esses fatores, objetivando o melhor manejo de irrigação e consequente desenvolvimento e produção da cultura.



**Figura 27.** Teores de clorofila a, clorofila b, total e relação entre clorofila a e b, em folhas mais jovens, completamente expandidas, de pimentão-reino, cv. Bragatina dos 345, 360, 375 e 392 dias após o transplântio, em função de diferentes regimes de irrigação. (—) Análise de regressão local (*Loess*), fórmula  $y \sim x$ , com parâmetro de suavização (*span*) igual a 0,4 (linha azul) e intervalo de confiança de 95% (área sombreada). 42%; 62%; 81 e 100% de Déficit hídrico constante (DHC).

#### 4.4.2 Fluorescência da Clorofila a

Alguns parâmetros funcionais e estruturais do comportamento fotossintético de pimenta-do-reino submetida a diferentes níveis de suprimento hídrico, em quatro tempos de coleta, foram deduzidos pelo teste JIP e são apresentados na Figura 28 (distribuição de energia no aparelho fotossintético). Os parâmetros das plantas tratadas com os menores volumes foram normalizados com plantas que receberam o maior volume T4. A transferência de energia, indicada por centro de reação (RC), apresentou um aumento 10 a 30% maior, aproximadamente, no fluxo de energia de absorção (ABS/RC) nos tratamentos de restrição hídrica aos 120 DAT. Esse parâmetro indica um aumento aparente no tamanho da antena. Enquanto isso, a quantidade de energia dissipada em forma de calor ( $DI_0/RC$ ) foi 30 a 55% maior na mesma situação.



**Figura 28.** Parâmetros básicos derivados do teste JIP de plantas de pimenta-do-reino, cv. Bragantina, aos 120 (A), 238 (B), 386 (C) e 391 (D) DAT, submetidas a diferentes suprimentos de irrigação.

As 120 DAT, a redução de  $F_v/F_m$  em plantas sujeitas aos menores volumes de irrigação sugere um processo fotoinibitório parcial (T1 e T2). Neste caso, o padrão de redução da eficiência do processo fotossintético pode estar relacionado à redução do nível de irrigação. Da mesma forma, o aumento de ABS/RC e  $DI_0/RC$  reflete esse processo por meio do alongamento da antena e aumento da perda de energia em forma de calor. A maior proporção de aumento de  $DI_0/RC$  em relação ao aumento em ABS/RC sugere que uma parte dos RCs possivelmente foi inativada e modificada em centros não redutores de controle de qualidade (VALENÇA et al., 2020).

A redução de  $PI_{abs}$  com a restrição hídrica também reflete a seca apresentando valores bem abaixo das plantas do tratamento controle. A redução desse parâmetro pode indicar que as reações fotoquímicas primárias foram afetadas pelo estresse causada pela escassez de água (BORAWSKA-JARMUŁOWICZ et al., 2020). Assim como na concentração de clorofila *b* aos 120 DAT, os parâmetros de fotossíntese foram mais afetados em plantas que recebiam 62,26% do ASI (T2) (Figura 28a). Isso pode estar relacionado ao fato da planta que recebia o menor volume 41,5% do ASI (T1) ter alcançado uma recuperação parcial, passando a ter sua demanda hídrica atendida, reduzindo temporariamente a condição de estresse. Essa condição temporária acontece graças ao modelo de irrigação utilizada nesse estudo. Com crescimento da planta controle, que recebe 100% da sua demanda hídrica, o volume de irrigação nos demais tratamentos também aumenta. Como as plantas dos tratamentos de menor volume tem seu crescimento reduzido, o volume adicional passa a ser suficiente para atender a sua demanda e pode ajudar na recuperação da planta (VALENCA et al., 2018).

O parâmetro que mede o fluxo de captura de energia por RC, capaz de levar a redução da quinona A ( $Q_A$ ) [ $ET_0/RC$ ], apresentou aumento aos 238 DAT e ligeira queda nos dias subsequentes, principalmente no tratamento de menor volume T1 (41,51% do ASI). O mesmo comportamento, ou seja, aumento aos 238 DAT e queda aos 386 e 391 DAT, foi observado para a eficiência do transporte de elétrons ( $\psi E_0$ ), que foi acompanhada do rendimento quântico para transporte de elétrons ( $\phi E_0$ ). Em um movimento contrário, a eficiência com a qual um elétron dos portadores de elétrons intersistêmicos se move para reduzir os receptores de elétrons finais no lado do aceitador do fotossistema I (PSI) [ $\delta R_0$ ] apresentou ligeira queda aos 238 DAT e aumento aos 386 e 391 DAT. O índice de desempenho (potencial) para conservação de energia do exciton para a redução de aceptadores de elétrons intersistêmicos ( $PI_{abs}$ ) e o índice de desempenho (potencial) para conservação de energia do exciton para redução de aceptadores finais de PSI ( $PI_{total}$ ) apresentou queda em todos os dias avaliados, com exceção do 238 DAT que mostrou aumento de 30% em  $PI_{abs}$  em plantas tratadas com restrição hídrica (Figura 28b). Esses dados indicam uma recuperação dos parâmetros fotossintéticos da planta, que pode estar relacionada à ocorrência de maiores índices pluviométricos ocorridos no período. Após um período de reidratação, as plantas sujeitas às condições de seca tendem a apresentar valores maiores de  $PI_{abs}$  em comparação a plantas que já estavam com a demanda hídrica atendida (BORAWSKA-JARMUŁOWICZ et al., 2020).

Aos 386 DAT as plantas demonstraram novamente os efeitos do estresse (Figura 28c) quando os valores de  $F_v/F_M$  diminuíram para os menores volumes de irrigação. Aos 388 e 389 DAT foram registradas precipitações de 8,8 e 8,0 mm, respectivamente, o que pode ter mantido a necessidade hídrica das plantas atendida. Assim, os parâmetros de fotossíntese das plantas tratadas foram muito próximos aos do controle (100% do ASI) no último dia de avaliação (391 DAT) indicando que esse volume foi suficiente para a recuperação da planta (Figura 28d).

Os resultados encontrados nesse estudo demonstram que a pimenta-do-reino é sensível ao déficit hídrico. A menor disponibilidade hídrica promoveu modificações na quantidade de clorofila e no aproveitamento da energia pela cadeia de transporte de elétrons, caracterizando o estresse da planta. Os menores volumes de irrigação refletiram em menor crescimento das plantas, reduzindo o acúmulo de massa fresca e seca, o que reduz a capacidade de produção de flores e frutos. Para o melhor do nosso conhecimento, poucas são as pesquisas com plantas de pimenta-do-reino sob estresse hídrico. Dessa forma, essa pesquisa contribui para o entendimento das respostas dessa cultura ao déficit hídrico, proporcionando a possibilidade de um manejo mais adequado da produção.

#### 4.5 Variáveis de Produção

De um modo geral as espigas produzidas no tratamento T4 (100% do ASI) foram maiores e mais numerosas que as produzidas nos demais tratamentos. Os valores médios de número de espigas, comprimentos, massa fresca e seca das espigas diminuíram à medida que o fornecimento de água reduziu.

Pesquisas realizadas evidenciam que a seca provoca redução e perdas no processo produtivo da pimenteira. Uma vez iniciada a floração, deve haver água disponível de forma contínua até os frutos amadurecerem, caso ocorra restrição hídrica mesmo que por alguns dias entre a floração e o amadurecimento, pode resultar em baixo rendimento devido ser uma etapa crítica (REMOLD, 1997; RAVINDRAN et al., 2000; KRISHNAMURTHY et al., 2011). Em outras culturas, muitos são os estudos que evidenciam a intervenção do déficit hídrico na fase produtiva. PARVEEN et al. (2019) constataram que o estresse hídrico influencia a fase reprodutiva da cultura do tomate, na redução do número de cachos e flores. Para BHATT et al. (2009), KOSITSUP et al. (2009) e WIEN et al. (1989), a abscisão reprodutiva de órgãos como botões de florais e flores é o principal fator limitante da produção de hortaliças.

Foi realizada uma única coleta, com a retirada de todas as espigas das plantas, de forma manual, aos 390 dias após o transplantio. A maioria das espigas estavam nos estádios f1 e f2 (92 %), enquanto os demais estádios apresentavam 3,0 (f3); 3,0 (f4); 1,2 (f5) e 0,8% (f6). A primeira floração da pimenteira teve início em dezembro de 2019, seguida de mais dois períodos que ocorreram ao final de janeiro e de abril de 2020.

A maior quantidade de espigas presentes nas plantas foi obtida nos tratamentos com maior volume de irrigação (72%) (Tabela 3). Os tratamentos T4 e T3 apresentaram espigas em todos os estádios de maturação, enquanto os tratamentos T2 e T1 apresentaram espigas apenas nos estádios f1, f2 e f3. De um modo geral, os volumes aplicados nos tratamentos T3 e T4 favoreceram a precocidade da cultura em comparação aos demais tratamentos com menor volume de irrigação (T2 e T1). Nos tratamentos de menores volumes houve aborto das flores em dezembro de 2019 indicando que o volume de irrigação não foi suficiente para o desenvolvimento satisfatório na fase reprodutiva. Do surgimento das flores em dezembro de 2019 (estádio f1) até o ponto de colheita em maio de 2020 (estádio f5 e f6) decorreram cinco meses até a maturação completa. As temperaturas elevadas e fortes precipitações ocorridas no período de florescimento podem ter contribuído para redução do número de espigas nos tratamentos de menores volumes de irrigação.

**Tabela 3** - Número médio de espigas por planta de pimenta-do-reino de acordo com o seu estágio fenológico em plantas submetidas a diferentes volumes de irrigação

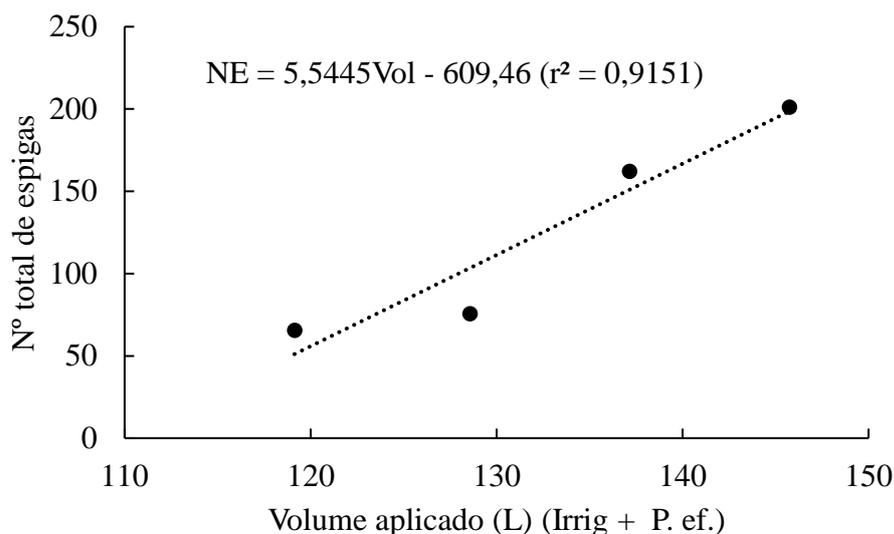
Tratamentos	Estádios fenológicos de maturação						Total
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	
T1	9,33	1,08	0,50	0,00	0,00	0,00	10,92
T2	11,00	1,50	0,08	0,00	0,00	0,00	12,58
T3	18,83	6,75	0,25	0,58	0,25	0,33	27,00
T4	20,92	7,67	1,67	2,08	0,83	0,33	33,50

Estádios fenológicos. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros. T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup>; T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

A irrigação beneficiou precocidade da cultura por meio do maior crescimento em área foliar e alocação de massa pela planta o que contribuiu para o desenvolvimento da cultura que teve sua floração favorecida resultado em maior ganho em produção de espigas

(PRIYADARSHANA et al., 2018). A irrigação na quantidade adequada contribuiu para manutenção das inflorescências da pimenta-do-reino o que é mais lucrativo para o produtor, pois pode apresentar um maior tempo de floração, enchimento de grãos e maturação (VIEIRA et al., 2018).

O número total de espigas (NE) apresentou crescimento linear com aumento do volume de irrigação, com diferença expressiva entre o maior e o menor volume aplicado por irrigação (T4 e T1) (Figura 29). Isso se deve ao maior crescimento em altura, número de folhas e maior número de ramos produtivos decorrentes do maior suprimento de água. Segundo NELSON & CANHÃO-EGER (2011), o rendimento dos grãos de pimenta depende do número de folhas, pois as espigas sempre aparecem juntas às folhas novas. Os resultados encontrados nesse estudo corroboram com ANKEGOWDA et al. (2011), que compararam plantas de pimenta-do-reino nas condições irrigada e sequeiro e verificaram maior número de flores com irrigação. A maior produtividade de pimenta-do-reino está relacionada ao suprimento de água em quantidade adequada às necessidades da cultura na fase de pré-floração até o amadurecimento dos frutos (VIEIRA et al., 2018). A limitação da disponibilidade hídrica nesta fase afeta o desenvolvimento vegetativo reduzindo a biomassa da planta e sua capacidade de produção (SANTOS & CARLESSO 1998). Dessa forma, o uso de irrigação atendendo a demanda hídrica da planta favoreceu o desenvolvimento da cultura e aumento do número de espigas e a produção de bagas.



**Figura 29.** Número de espigas (NE) em plantas de pimenta-do-reino submetidas a diferentes volumes de irrigação.

Em função da maioria das espigas estarem nos estádios iniciais de desenvolvimento, os valores médios para f1 e f2 apresentaram as maiores médias de comprimento de espiga entre os tratamentos. As espigas no tratamento T4 foram 43 e 81% maiores que as espigas em T1, considerando, respectivamente, o estágio f1 e f2 (Tabela 4).

Apenas 8% das espigas foram classificadas nos estádios f3, f4, f5 e f6, em função da planta ter um período de floração de até 6 meses apresentando espigas em vários estádios de maturação. Apesar disso, o comprimento médio total das espigas apresentou tendência de crescimento com aumento do volume de irrigação, ocorrendo espigas mais compridas no tratamento T4 ( $5,3 \text{ L.h}^{-1}$ ). Por apresentar mais espigas no estágio f3, os valores médios de comprimento foram maiores no tratamento T1 em comparação a T2 (Tabela 4). A ocorrência de precipitações durante o segundo período de floração (janeiro a março de 2020) pode ter

contribuído para a polinização e manutenção das espigas mesmo nas plantas com receberam menores suprimentos hídricos pela irrigação (RASANJALI et al., 2019).

**Tabela 4** - Comprimento médio (cm) de espigas de pimenta-do-reino de acordo com o seu estágio fenológico em plantas submetidas a diferentes volumes de irrigação

Tratamentos	Estádios fenológicos de maturação						Total
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	
T1	5,97	5,13	1,77	0,00	0,00	0,00	2,14
T2	5,93	5,67	0,58	0,00	0,00	0,00	2,03
T3	8,61	9,40	2,83	2,88	1,11	1,06	4,32
T4	8,57	9,31	5,92	5,79	5,90	2,28	6,29

Estádios fenológicos. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros. T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup>; T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

De forma geral, apenas os tratamentos com maiores níveis de irrigação apresentaram espigas nos estádios f4, f5 e f6. Nesses estádios, as espigas apresentam maior ganho de peso com o enchimento dos grãos, demandando mais água. Os resultados refletem a necessidade da irrigação adequada na fase total de floração (dezembro de 2019 a maio de 2020) da pimenta-do-reino, uma vez que as plantas sujeitas ao estresse hídrico têm produção de flores e frutos reduzida. SANTOS & CARLESSO (1998) relatam que a fase de formação de grãos é a mais dependente de recursos, indicando a necessidade da irrigação para se ter bons resultados na produção de flores e frutos de pimenta-do-reino.

De maneira geral, a massa das espigas nos diferentes estádios fenológicos de maturação foi maior com aumento dos níveis de irrigação (Tabela 5). Os tratamentos T3 e T4 apresentaram espigas em estádios fenológicos mais avançados e com isso maior massa fresca. As espigas com frutos apresentaram maior massa fresca em relação à quantidade de espigas, comparadas às demais fases fenológicas de maturação (f1 e f2). Contudo, f1 e f2 apresentaram maior média de massa fresca total por planta com redução de 240% entre o maior e o menor tratamentos de irrigação. A massa fresca das espigas dos demais estádios de maturação foi maior no tratamento T4, mas devido à baixa quantidade de espigas os dados são pouco expressivos. A produção em maior percentual é esperada para o segundo ano de cultivo, quando as plantas já estão estabelecidas e tem maior quantidades de ramos plagiotrópicos (ramos produtivos). Além disso, o período entre o florescimento e a maturação total das espigas pode chegar a 7 ou 8 meses (PARTHASARATHY, 2008).

**Tabela 5** – Massa fresca (g) de espigas de pimenta-do-reino de acordo com o seu estágio fenológico em plantas submetidas a diferentes volumes de irrigação

Tratamentos	Estádios fenológicos de maturação						Total
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	
T1	6,43	0,66	1,02	0,00	0,00	0,00	8,11
T2	7,63	0,88	0,14	0,00	0,00	0,00	8,65
T3	12,63	7,06	0,46	2,22	1,38	1,97	25,71
T4	17,37	6,82	4,83	12,04	4,50	2,32	47,87

Estádios fenológicos. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros. T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup>; T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

Os resultados de massa seca de espigas foram semelhantes à massa fresca, com redução de até 246% entre T4 e T1 para as espigas nos estádios iniciais (Tabela 6). Contudo, os valores evidenciam que o acúmulo de massa seca foi maior nos demais estádios de maturação (f3, f4, f5 e f6), que apesar de representarem apenas 8% do número total de espigas, apresentaram 55% da massa seca total. Isso ocorreu pelo fato de o enchimento dos grãos acontecer a partir de f4.

**Tabela 6** – Massa seca (g) de espigas de pimenta-do-reino de acordo com o seu estágio fenológico em plantas submetidas a diferentes volumes de irrigação

Tratamentos	Estádios fenológicos de maturação						Total
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	
T1	0,77	0,10	0,30	0,00	0,00	0,00	8,11
T2	0,67	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	8,65
T3	1,68	0,93	0,05	0,65	0,50	0,61	25,71
T4	1,89	1,14	0,38	3,80	1,96	0,74	47,87

Estádios fenológicos. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros. T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup>; T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

O período de enchimento de bagas é muito importante para obter bons rendimentos na produção de pimenta-do-reino (KRISHNAMURTHY et al., 2016). A área foliar é outro fator importante na fase de enchimento dos grãos, pois a porcentagem definida da baga é reduzida significativamente se há redução na área foliar das folhas subsequentes durante seu desenvolvimento (KRISHNAMURTHY et al., 2000). Dessa forma, a irrigação se torna fundamental para o desenvolvimento satisfatório da cultura, por meio da produção adequada de folhas e ramos de produção e, conseqüentemente, flores e frutos de qualidade.

A produção de grãos foi verificada apenas nas plantas dos tratamentos T3 e T4 em função da ocorrência de déficit hídrico associado a fatores ambientais (Tabela 7). Os grãos no estágio f3 não tem valor comercial por não terem o endosperma formado e apresentarem peso muito reduzido. Os grãos classificados como f4, f5 e f6 apresentam maior massa seca em função da fase de granação. Os valores encontrados foram pouco representativos, em função do reduzido número de espigas com grãos nesses estádios de desenvolvimento (f3 a f6). Apesar disso é possível constatar que o aumento da disponibilidade hídrica proporcionou tendência de maior rendimento na produção de grãos. Em estudo realizado por ANKEGOWDA et al. (2011), foi verificado produção média de bagas por videira de pimenta-do-reino igual a 6,3 kg por planta

no tratamento irrigado e 1,9 kg por planta no tratamento de sequeiro. Os autores relatam que a irrigação no período de floração influenciou na produção das videiras de pimenta.

**Tabela 7** – Massa seca (g) de grãos de pimenta-do-reino de acordo com o seu estágio fenológico em plantas submetidas a diferentes volumes de irrigação

Tratamentos	Estádios fenológicos de maturação						Total
	f1	f2	f3	f4	f5	f6	
T1	---	---	0,26	0,00	0,00	0,00	0,26
T2	---	---	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
T3	---	---	0,04	0,57	0,44	0,54	1,59
T4	---	---	0,33	3,30	1,72	0,66	6,02

Estádios fenológicos. F1 – presença de flores em estágio inicial até fase de polinização; F2 – presença de flores polinizadas e grãos não formados; F3 – presença de grãos cheios, facilmente esmagáveis por pressão manual leve; F4 – grãos completamente cheios, ainda verdes; F5 – espiga com até 50% dos grãos maduros; e F6 – espiga com mais de 50% dos grãos maduros. T1 – 2,2 L h<sup>-1</sup>; T2 – 3,3 L h<sup>-1</sup>; T3 – 4,3 L h<sup>-1</sup>; T4 – 5,3 L h<sup>-1</sup>.

A massa de grãos é indicativa de lucro para os produtores, representando o sucesso e rentabilidade da safra. O uso de irrigação proporciona maior produtividade, pois aumenta o período de enchimento de grãos, a produção de folhas e a área fotossinteticamente ativa, proporcionando uma maior oferta de assimilados aos grãos (MAEHLER et al., 2003).

Como foi realizada uma única coleta não foram apresentados maiores valores de produção. Entretanto, é possível afirmar que a irrigação adequada favorece o maior rendimento e sem o uso correto da irrigação tanto o desenvolvimento vegetativo como reprodutivo das pimenteiras são afetados pela ocorrência de estresse hídrico.

## 5. CONCLUSÕES

O cultivo de pimenta-do-reino, *cv.* Bragantina, é beneficiado pela irrigação com acionador automático por meio da disponibilidade de água na quantidade necessária ao crescimento satisfatório da planta.

A irrigação com déficit hídrico demonstra que para o primeiro ano de cultivo a pimenta-do-reino responde de forma linear ao aumento do volume de água disponível nos parâmetros morfológicos de crescimento; massa fresca e seca de parte área; massa seca de raiz e área foliar. Quanto maior a disponibilidade de água melhor o crescimento da pimenteira.

A pimenta-do-reino *cv.* Bragantina apresentou alta sensibilidade ao déficit hídrico com coeficientes de resposta ( $K_y$ ) elevados.

A concentração de clorofila foi influenciada pelo déficit hídrico, principalmente a clorofila *b* que foi negativamente afetada com redução da concentração desse pigmento.

A eficiência quântica  $F_v/F_M$  apresentou redução conforme a disponibilidade de irrigação indicando processo de fotoinibição parcial nas plantas sujeitas ao maior déficit.

O florescimento, crescimento e fenologia das espigas são afetadas pelo déficit hídrico influenciando no tamanho, peso e qualidade das espigas e grãos de pimenta.

## 6. REFERÊNCIAS

- ABUKAWSAR, M. M., SALEH-e-In, M. M., AHSAN, M. A., RAHIM, M. M., BHUIYAN, M. N. H., ROY, S. K & NAHER, S. Chemical, pharmacological and nutritional quality assessment of black pepper (*Piper nigrum* L.) seed cultivars. **Journal of Food Biochemistry** , v. 42, n. 6, p. e12590, 2018.
- ALLEN R. G, PEREIRA L. S, RAES D, SMITH M. Evapotranspiration-guidelines for calculating the water requirements of crops- FAO role of irrigation and drainage 56, v 300. **FAO**, Roma, p. 6541, 1998.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- AGBOR, G. A., VINSON, J. A., SORTINO, J., & JOHNSON, R . Antioxidant and anti-atherogenic activities of three Piper species on atherogenic diet fed hamsters. **Experimental and toxicologic pathology**, v. 64, n. 4, p. 387-391, 2012.
- ANDRADE, C. G. C.; SILVA, M. L.; SALLES, T. T. Fatores Impactantes no Valor Bruto da Produção de Pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) no Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00145615, 2017, ISSN 2179-8087.
- ANKEGOWDA, SJ, VENUGOPAL, MN, KRISHNAMURTHY, KS E ANANDARAJ, M. Impact of basin irrigation on black pepper production in a coffee-based cultivation system in high-altitude regions of Kodagu, Karnataka.. **Jornal indiano da horticultura** , v. 68, n. 1, p. 71-74, 2011.
- ARAGÃO, V. F., FERNANDES, P. D., GOMES FILHO, R. R., DOS SANTOS NETO, A. M., DE CARVALHO, C. M., & DE OLIVEIRA FEITOSA, H. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio na fase vegetativa do pimentão em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 5, n. 4, 2013.
- ARAÚJO, R. C.; BRUCKNER, C. H. Biologia reprodutiva de fruteiras. **Fundamentos do melhoramento de fruteiras**. Viçosa: Editora UFV, p. 1-38, 2008.
- ASSIS, B. V. R.; MEIRA, F. O.; PINA, V. G. S. S.; ANDRADE, G. F.; COTRIM, B. A. et al. Efeito Inibitório do Extrato de *Piper nigrum* L. sobre a Corrosão do Aço Carbono em Meio Ácido. **Revista Virtual de Química**, n.7, v. 5, p. 1830-1840, 2015. ISSN: 1984-6835.
- ASHRAF, MHPJC e HARRIS, PJ Photosynthesis in stressful environments: an overview. **Photosynthetica** , v. 51, n. 2, p. 163-190, 2013.
- AZEVEDO, B. M.; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F.; AQUINOS, B. F.; BEZERRA, F. M. L.; VIANA, T. V. A. Rendimento da pimenteira em função de lâminas de irrigação. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 3, p. 268-273, 2005.
- BALASUBRAMANIAN, P. S. ROSELIN, K. K. SINGH, JOHN ZACHARIAH & S. N. SAXENA. Postharvest Processing and Benefits of Black Pepper, Coriander, Cinnamon, Fenugreek, and Turmeric Spices, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 56, n. 10, p. 1585-1607, 2016. DOI: [10.1080/10408398.2012.759901](https://doi.org/10.1080/10408398.2012.759901)

BASTOS, T. X.; GOMES, M. R. A.; CORREA, M. Padrão climático e variabilidade das chuvas em Tomé-Açu e suas implicações para as culturas da pimenta-do-reino e cupuaçu. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, Belém, PA: EMBRAPA-CPATU: JICA, p. 5, 1997.

BASTOS, T. X.; PACHÊCO, N. A.; FIGUEIRÊDO, R. de O.; SILVA, G. de F. G. da. Características agroclimáticas do município de Paragominas. Belém, PA: **Embrapa Amazônia Oriental**, Documentos, 228, p. 21, 2005.

BEZERRA, ACM, VALENÇA, DDC, CARVALHO, DFD, PINHO, CFD, REINERT, F., GOMES, DP, ... & MEDICI, LO. Automation of lettuce seedling irrigation with sensors implanted in the substrate or in the atmosphere. **Scientia Agricola**, v. 76, n.2, p. 179-189, 2019.

BERNIER, J., ATLIN, G. N., SERRAJ, R., KUMAR, A., & SPANER, D. Breeding upland rice for drought resistance. **Journal of the Science of food and Agriculture**, v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.

BHATT RM, RAO NKS, UPRETI KK, SHOBHA HS. Floral abscission and changes in sucrose phosphate synthase and invertase activities in water deficit tomato. **Indian J Plant Physiol**, v. 14, p. 370–376, 2009.

BIANCHI, L; GERMINO, G. H; DE ALMEIDA, S. M. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.

BLANKENSHIP, R.E. Molecular mechanisms of photosynthesis. **John Wiley & Sons**, v. 2, p. 11-129, 2014. ISBN: 978-1-405-18976-7.

BORAWSKA-JARMOŁOWICZ, B., MASTALERCZUK, G., DĄBROWSKI, P., KALAJI, H. M., & WYTRĄŻEK, K. Improving tolerance in seedlings of some Polish varieties of *Dactylis glomerata* to water deficit by application of simulated drought during seed germination. **Photosynthetica**, v. 58, n. 2, p. 540-548, 2020.

BONG, C.F.J. Pellitorine, a Potential Anti-Cancer Lead Compound against HL60 and MCT-7 Cell Lines and Microbial Transformation of Piperine from *Piper Nigrum*. **Molecules**, v.15, n.4, p.2398-2404, 2010.

BORTOLO, D. P. G., MARQUES, P. A. A., & PACHECO, A. C. Teor e rendimento de flavonóides em calêndula (*Calendula officinalis* L.) cultivada com diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v. 11, n. 4, p. 435-441, 2009.

BUTT, M. S., PASHA, I., SULTAN, M. T., RANDHAWA, M. A., SAEED, F., & AHMED, W, MASOOD SADIQ. Black pepper and health claims: a comprehensive treatise. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 53, n. 9, p. 875-886, 2013.

CAMBRAIA, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: NOGUEIRA, R.A.; WILLADINO, L.G. (Eds.) **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**, Recife: UFRPE, cap. 2, p. 95-105, 2005.

CARNEVALLI, D. B., & DE ARAÚJO, A. P. S. Atividade Biológica da Pimenta Preta (*Piper nigrum* L.): Revisão de Literatura. **Uniciências**, v. 17, n. 1, 2013.

CARVALHO, D. F., DE OLIVEIRA, A. D., & PEREIRA, J. B. A. Ajuste de modelos para estimativa do índice de área foliar e acúmulo de biomassa do pimentão em função de graus-dias. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 32, n.3, p. 971-981, 2011.

CARVALHO, D. F., DOMINGUEZ, A., OLIVEIRA NETO, D. H., TARJUELO, J. M., MARTINEZ-ROMERO, A. Combination of sowing date with deficit irrigation for improving the profitability of carrot in a tropical environment (Brazil). **Scientia Horticulturae**, 179, p. 112-121, 2014.

CARVALHO, D. F., OLIVEIRA NETO, D. H. D., FELIX, L. F., GUERRA, J. G. M., & SALVADOR, C. A. Yield, water use efficiency, and yield response factor in carrot crop under different irrigation depths. **Ciência Rural**, v. 46, n. 7, p. 1145-1150, 2016.

CEMEK, B., ÜNLÜKARA, A., KURUNÇ, A. E KÜÇÜKTOPCU, E. Modelagem da área foliar de pimentão (*Capsicum annuum* L.) cultivada sob diferentes condições de estresse por abordagens computacionais suaves. **Computers and Electronics in Agriculture**, 174, 105514, 2020.

CHEN, C. Y. S., & TAWAN, C. Botany, diversity, and distribution of black pepper (*Piper nigrum* L.) Cultivars in Malaysia. **Borneo Journal of Resource Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 10-23, 2020.

CONAB, Superintendência Regional do Espírito Santo. **Conjuntura Pimenta-do-reino no Espírito Santo**, agosto, 2015. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/150826160606conjuntura\\_de\\_pimenta-do-reino\\_2015\\_.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/150826160606conjuntura_de_pimenta-do-reino_2015_.pdf)> acesso em 22/08/2020

DA LUZ, SF, YAMAGUCHI, LF, KATO, MJ, DE LEMOS, OF, XAVIER, LP, MAIA, JGS, & DA SILVA, JKDR. Secondary metabolic profiles of two cultivars of *Piper nigrum* (Black Pepper) resulting from infection by *Fusarium solani* f. sp. *piperis*. **International journal of molecular sciences**, v. 18, n. 12, p. 2434, 2017.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1. p. 55-81, 2006.

DIN, J., KHAN, SU, ALI, I., Gurmani, AR: Resposta fisiológica e agrônômica de variedades de canola ao estresse hídrico. **J. Anim. Plant Sci.** V. 21, p 78–82, 2011.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Roma: FAO, , p 212, 1979. (Irrigation & Drainage papers, nº 33).

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, n. 33, p. 257, 1979.

DUARTE, M. de L. R.; ALBUQUERQUE, F. C. de; KATO, A. K. **Sistema de produção da pimenteira-do-reino: produção de mudas**, documento 321, 2008. ISSN 1517-2201. Disponível em:<<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/PimenteiradoReino/paginas/producao.htm>>. Acesso em: jun. 2020.

EMBRAPA- **Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-Reino**, (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Brasília: EMBRAPA/SEDE, Projeto PAS Campo, 1º edição, p 65, 2004. ISSN 1807-0043. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/111893/1/MANUALSEGURANCAQUALIDADEparaaculturadapimentadoreino.pdf>>. Acesso em: maio de 2020.

ESTILL, K., DELANEY, R.H., SMITH, W.K., DITTERLINE, R.L.: Water relations and productivity of alfalfa leaf chlorophyll variants. – **Crop Sci.** v. 31, n. 5, p. 1229-1233, 1991.

FAO – Food and Agriculture of the United Nations. **Etatistical Databases**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/faostat>> Acesso em: 28 dez. 2018.

FERRARI, E.; PAZ, A.; SILVA, A. C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas no mato grosso. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 01, p. 67-77, 2015.

FERRÃO, R. G., MOREIRA, S. O., FERRÃO, M. A. G., RIVA, E. M., ARANTES, L. D. O., COSTA, A., ... & GALVEAS, P. Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo, **Incapem em Revista**, Vitória, v. 6 e 7, n. 4, p. 51-71, 2016. ISSN 2179-53042016.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F. D.; ZOCOLER, J. L.; SOBRINHO, J.E. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. **Engenharia Agrícola**, p. 231-240, 2009.

GONTIJO, I., NICOLE, L. R., PARTELLI, F. L., BONOMO, R., & DE JESUS SANTOS, E. O. Variabilidade e correlação espacial de micronutrientes e matéria orgânica do solo com a produtividade da pimenta-do-reino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1093-1102, 2012.

GORGANI, L., MOHAMMADI, M., NAJAFPOUR, GD, & NIKZAD, M. Piperina - o composto bioativo da pimenta-do-reino: do isolamento às formulações medicinais. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 1, p. 124-140, 2017.

GRAYBILL, FRANKLIN A. Theory and application of the linear model. **North Scituate, MA: Duxbury press**, 1976.

HAMMOUTI, B., DAHMANI, M., YAHYI, A., ETTOUHAMI, A., MESSALI, M., ASEHRAOU, A., ... & TOUZANI, R. Pimenta Preta, o “Rei das Especiarias”: Composição química para aplicações. **Arabian Journal of Chemical and Environmental Research** ,v. 6, n. 1, p. 12-56, 2019.

HONG-BO; S.; CHU, L.Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, p. 215–225, 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento da Produção Agrícola**, versão eletrônica, acesso em 20 de julho de 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento da Produção Agrícola**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 5, p. 1-83, 2019. Acesso em: Novembro de 2019.

INMAN-BAMBER, NG, BONNETT, GD, SPILLMAN, MF, HEWITT, ML, & JACKSON, J. Aumento do acúmulo de sacarose na cana-de-açúcar por meio da manipulação da extensão foliar e da fotossíntese com irrigação. **Australian Journal of Agricultural Research**, v 59, n. 1, p. 13-26, 2008.

INMAN-BAMBER, NG., SMITH SINGELS, DM. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185-202, 2005.

JAIN, M., TIWARY, S., GADRE, R.: Sorbitol-induced changes in various growth and biochemical parameters in maize. – **Plant Soil Environ.** 56: 263-267, 2010.

JALEEL, CA, MANIVANNAN, PARAMASIVAM, WAHID, A., FAROOQ, M., AL-JUBURI, HJ, SOMASUNDARAM, RAMAMURTHY, & PANNEERSELVAM, R. . Estresse hídrico em plantas: uma revisão sobre características morfológicas e composição de pigmentos. **Int. J. Agric. Biol**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009.

JI, X.B.; CHENC, J. M.; ZHAO, W.Z.; KANGA, E.S.; JINA, B.W.; XU, S.Q. Comparison of hourly and daily Penman-Monteith grass and alfalfa reference evapotranspiration equations and crop coefficients for maize under arid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v.192, p.1–11, 2017.

KOCH, G., ROLLAND, G., DAUZAT, M., BÉDIÉE, A., BALDAZZI, V., BERTIN, N., ... & GRANIER, C. Produção e expansão de folhas: uma resposta generalizada ao estresse hídrico das células à biomassa de folhas inteiras - um estudo de caso na folha composta de tomate. **Plantas**, v. 8, n. 10, p. 409, 2019.

KOSITSUP B, MONTPIED P, KASEMSAP P, THALER P, AMEGLIO T, DREYER E (2009) Photosynthetic capacity and temperature responses of photosynthesis of rubber trees (*Hevea brasiliensis* Mu'll. Arg.) acclimate to changes in ambient temperatures. **Tree Physiol**, v. 23, p. 357–365, 2009.

KOOYERS, N.J. The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. **Plant Science**, v. 234, p. 155-62, 2015.

KRISHNAMURTHY K S, KANDIANNAN K AND ANKEGOWDA S J. Is the subtending leaf sole source of nutrients for developing spikes in black pepper? **Recent Advances in Plantation Crops Research**, p. 238–240, 2000.

KRISHNAMURTHY, KS, KANDIANNAN, K., SIBIN, C., CHEMPAKAM, B. e ANKEGOWDA, SJ. Tendências climáticas e produtividade e relação entre variáveis climáticas e produtividade em pimenta preta (*Piper nigrum*), **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 81, n 8, p. 729–33, 2011.

KRISHNAMURTHY, K. S.; ANKEGOWDA, S. J.; UMADEVI, P.; GEORGE, J. K. Black Pepper and water stress. In: RAO, N. K. S.; SHIVASHANKARA, K. S.; LAXMAN, R. H.(ed.). Abiotic stress physiology of horticultural crops. [S. l.]: **Springer**, p. 321 – 332, 2016.

LEMO, R. C. de. e SANTOS, R. D. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Campinas-SP, 3ª Ed., p. 83, 1996.

LEMOS, ORIEL FILGUEIRA; TREMACOLDI, CÉLIA REGINA; POLTRONIERI, MARLI COSTA. Boas práticas agrícolas para aumento da produtividade e qualidade da pimenta-do-reino no estado do Pará. **Embrapa Amazônia Oriental**, 1º edição, p. 52, 2014. ISBN 978-85-7035-305-4.

LICHTENTHALER, H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LIU, X., ZHOU, Y., XIAO, J., & BAO, F. (2018). Efeitos do resfriamento na estrutura, função e desenvolvimento dos cloroplastos. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1715, 2018.

LIMA, EDSON P.; SILVA, ELIO L. da. Temperatura base, coeficientes de cultura e graus-dia para cafeeiro arábica em fase de implantação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266-273, 2008.

MAEHLER, A.R., J.A. COSTA, J.L.F.; PIRES, L. RAMBO. Grain quality of two soybean cultivars as a function of soil water availability and plant arrangement. **Ciência rural**. V. 33, n 2, p. 13-218, 2003.

MAGALHÃES FILHO, J.R.; AMARAL, L.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MEDINA, C.L.; MACHADO, E.C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, v.67, p.75-82, 2008.

MARKWELL, JP, DANKO, SJ, BAUWE, H., OSTERMAN, J., GORZ, HJ e HASKINS, FA Mutante de trevo-doce deficiente em temperatura e clorofila b sensível à temperatura (*Melilotus alba*). **Plant physiology** , 81 (2), 329-334, 1986.

MASSACCI, A., S.M. NABIEV, L. PIETROSANTI, S.K. NEMATOV, T.N. CHERNIKOVA, K. THOR AND J. LEIPNER. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiol. Biochem.**,v. 46, n. 2, p. 189–195 , 2008

MATHEW, P.J.; MATHEW, P.M.; KUMAR, V. Graph clustering of *Piper nigrum* L. (Black pepper). **Euphytica**, v. 118, n 2, p. 257–264, 2001.

MARTINS, M. P., PARREIRA, M. C., DOS SANTOS MARTINS, J., SOARES, J. B. C., & RIBEIRO, R. C. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura da pimenta-do-reino na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 3, 2018.

MAURI, R., COELHO, RD, FRAGA JUNIOR, EF, BARBOSA, FDS, & LEAL, DP. Relações hídricas na fase inicial de crescimento da cana-de-açúcar sob déficit hídrico variável. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 2, p. 268-276, 2017.

MEDICI, L. O., ROCHA, H. S., CARVALHO, D. F., PIMENTEL, C., & AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v. 67,n 6, p. 727-730, 2010.

MEDEIROS, G. A., DANIEL, L. A., & FENGLER, F. H. Growth, development, and water consumption of irrigated bean crop related to growing degree-days on different soil tillage systems in Southeast Brazil. **International Journal of Agronomy**, v. 2016, 2016.

- MEDRANO, H.; ESCALONA, J.M.; BOTA, J.; GULIAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductances as a reference parameter. **Annals of Botany**, v. 89, p. 895–905, 2002.
- MEILAWATI, N. L. W., SUSILOWATI, M., & BERMAWIE, N. Phyllogenetic of nine superior black pepper (*Piper nigrum* L.) varieties based on morphological and molecular markers. In IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, IOP Publishing, v. 418, n. 1, p. 012056, 2020.
- MOLINE, E.F.V.; BARBOZA, E.; STRAZEIO, S.C.; BLIND, A.D.; FARIAS, E.A.P. Diferentes lâminas de irrigação na cultura da rúcula no sul de Rondônia. **Nucleus**, v.12, n.1, p. 371-378, 2015.
- MORAIS, E. R. C. de; MAIA, C. E.; NEGREIROS, M. Z. de; ARAÚJO JÚNIOR, B. B. de. Crescimento e produtividade do meloeiro Torreon influenciado pela cobertura do solo. **Acta Scientiarum**. Agronomy. Maringá, v. 32, n. 2, p. 301-308, 2010.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell and Environment**, v.25, n.1, p. 239-250, 2002.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of plant Biology**, v.59, n.1, p.651-658, 2008.
- NAIR K. P. P. **Agronomy and economy of black pepper and cardamom the "king" and "queen" of spices**. Elsevier. Amsterdam, Netherlands, v. 48, n. 2, p. 330, 2011. ISBN: 978-0-12-391865-9.
- NELSON, SCOT C .; CANHÃO-EGER, KT Pimenta preta. **Produção agrícola e florestal**, v. 45, n. 1, p. 14, 2011.
- OLIVEIRA, A. P., ALVES, E. U., SILVA, J. A., ALVES, A. U., OLIVEIRA, A. N. P., LEONARDO, F. A., ... & CRUZ, I. S. Produtividade da pimenta-do-reino em função de doses de esterco bovino. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 408-410, 2007.
- OLIVEIRA, A.D.; CARVALHO, D.F.; PEREIRA, J.B.A.; PEREIRA, V.C. Crescimento e produtividade do pimentão em dois sistemas de cultivo. **Revista Caatinga**, v.28, n.1, p.78- 89, 2015.
- OLIVEIRA, MG, OLIOSI, G., PARTELLI, FL, & RAMALHO, JC. Respostas fisiológicas da fotossíntese em plantas de pimenta-do-reino sob diferentes níveis de sombra promovidas pelo consórcio com seringueira. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 5, p. 513-526, 2018.
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p. 440, 1981.
- PARTELLI, F. L. Nutrition of black pepper (*Piper nigrum* L.) a Brazilian experience. **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 18, n. 2, p. 73-83, 2009.
- PARTHASARATHY, VA (Ed.). organic spices. **New India Publishing**, capitula 8, p. 239-283, 2008. ISBN 8189422847, 9788189422844.
- PARVEEN, A., RAI, G. K., MUSHTAQ, M., SINGH, M., RAI, P. K., RAI, S. K., & KUNDOO, A. A. Physiological and Biochemical Mechanism Associated with Drought Stress

Tolerance in Tomato Genotypes. **Int. J. Curr. Microbiol. Aplicativo. Sei** , v. 8, n. 5, p. 227-255, 2019.

PASSIOURA, J.B. Drought and drought tolerance. In: BELHASSEN, E. (Ed.). **Drought Tolerance in Higher Plants: Genetical, Physiological and Molecular Biological Analysis**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, v. 20, n.2, p. 1-6, 1996.

PEREIRA LOURINHO, M.; COSTA, C. A. S.; SOUZA, L. C.; SOUZA, L. C.; OLIVEIRA, C. F. Conjuntura da pimenta-do-reino no mercado nacional e na região Norte do Brasil. **Enciclopédia Biosfera, Goiânia**, v. 10, n. 18, p. 1016-1031, 2014.

PÉREZ-GUTIÉRREZ, A., GARRUÑA, R., VÁZQUEZ, P., LATOURNERIE-MORENO, L., ANDRADE, JL, & US-SANTAMARÍA, R. Crescimento, fenologia e fluorescência da clorofila de pimenta habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) Em condições de estresse hídrico. **Acta Agronómica** , v. 66, n. 2, p. 214-220, 2017.

PILLAY VS, SASIKUMARAN S & IBRAHIM KK. Effect of rain pattern on the yield of black pepper. In: **Agrometeorology of plantation crops**, Universidade Agrícola de Kerala, Trichur, p. 152 – 159, 1988.

PIRES, A.; LIMA, C. S. M. Fenologia e exigência térmica de videiras “Niágara Rosada” e “Branca” na região de Laranjeiras do Sul, PR. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 3, p.336-343, 2018.

PRIYADARSHANA, RW, SUBASINGHE, HMPA, HERATH, HMSK E RANAWANA, SRWMCJK. Effect of Different Irrigation Levels on Flower Initiation and Some Yield Attributes of Black Pepper (*Piper nigrum* L.). 2018.

PRADEEP KUMAR, T.; KARIHALOO, J.L.; ARCHAK, S.; BALDEV, A. Analysis of genetic diversity in *Piper nigrum* L. using RAPD markers. **Genetic Research and Crop Evolution**, v. 50, p. 469–75, 2003.

PREZOTTI, LC; GOMES, JA; DADALTO, GG; OLIVEIRA, JA Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo, **INCAPER / CEDAGRO - 5ª aproximação**. Vitória: SEEA, v. 5, p. 305, 2007.

QUARTEZANI, W. Z.; SOARES, J.; LIMA, D. S.; ZUCOLOTO, M.; XAVIER, A. C. Correlação E Mapeamento Da Quantidade De Calagem Por Dois Métodos Distintos Para a Cultura Da Pimenta-Do- Reino. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 90–94, 2013.

RAJ H G. A comparison of the system of cultivation of black pep-per – *Piper nigrum* L. in Malaysia and Indonesia. In; **Silver Jubilee Sollvenir**, Pepper Research 1 Panniyur. Kemla Agri-cultural University TrichuJ', p. 65 – 74, 1878.

RASANJALI, K.G.A., C.S. DE SILVA AND K.D.N. PRIYADARSHANI. Influence of super absorbent polymers (saps) on irrigation interval and growth of black pepper (*Piper nigrum* L.) in nursery management. **OUSL Journal** , v. 14, n. 1, 2019.

RAVINDRAN, PN; KALLUPURACKAL, Johny A. Pimenta preta. In: **Manual de ervas e especiarias**. Woodhead Publishing, p. 86-115, 2012.

RAVINDRAN, P.N. Introduction of Black Pepper. In: RAVINDRAN, P.N. (Ed.) Medicinal and Aromatic Plants: Black Pepper, *Piper nigrum*. India: **Indian Institute of Spices Research**, v. 13, cap. 4, p. 163-224, 2000.

REMOLD M. Pepper prospects in India during 1997–1998 season. **Indian Cocoa Arecanut Spices J**, v. 21, n. 1, p. 1–5, 1997.

RIBEIRO, M. S., DA SILVA, E. L., DE MOURA, D. C. M., & DANTAS, A. A. A. Coeficientes de cultura (kc) e crescimento vegetativo de açaí cerrado associados a graus-dia de desenvolvimento. **Irriga**, v. 14, n. 2, p. 220-232, 2009.

RIVERO, RM, MESTRE, TC, MITTLER, RON, RUBIO, F., GARCIA - SANCHEZ, FRANCISCO e MARTINEZ, V. O efeito combinado de salinidade e calor revela uma resposta fisiológica, bioquímica e molecular específica em tomateiro. **Planta, célula & ambiente**, v. 37 n. 5, p.1059-1073, 2014.

RODRIGUES, S. D. M., Poltronieri, M. C., & de Lemos, O. F. Comportamento de genótipos de pimenteira-do-reino cultivados em dois tipos de tutores. **Embrapa Amazônia Oriental**, enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.14 n.26; p. 197 – 205, 2017. DOI: 10.18677/EnciBio2017B17.

SABU, SS & KURUVILA, A. Instabilidade dos preços da pimenta-do-reino: uma análise comparativa dos períodos pré-liberalização e pós-liberalização. **Journal of Tropical Agriculture**, v. 54, n. 1, p. 41, 2016.

SAGE R, KUBIEN D. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant Cell Environ**, v. 30, n. 9, p. 1086–1106, 2007.

SALAH, H.B.H.; TARDIEU, F. Control of leaf expansion rate of droughted maize plants under fluctuating evaporative demand. **Plant Physiology, Maryland**, v. 114, n. 3, p. 893- 900, 1997.

SALAZAR-GUTIERREZ, M. R., JOHNSON, J., CHAVES-CORDOBA, B., & HOOGENBOOM, G. Relationship of base temperature to development of winter wheat. **International Journal of Plant Production**, v. 7, n. 4, p. 741-762, 2013.

SANTOS FARIAS, DB, DA SILVA, PSO, LUCAS, AAT, DE FREITAS, MI, DE JESUS SANTOS, T., FONTES, PTN e OLIVEIRA JÚNIOR, LFG. Parâmetros fisiológicos e produtivos do quiabo sob níveis de irrigação. **Scientia Horticulturae**, v. 252, p. 1-6, 2019.

SANTOS, R.F., R. CARLESSO. Water deficit and the morphological and physiological processes of plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SERRANO, L. A. L., MARINATO, F. A., MAGIERO, M., & STURM, G. M. Produção de mudas de pimenteira-do-reino em substrato comercial fertilizado com adubo de liberação lenta. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 512-517, 2012.

SILVA REGO, LUARA; FERNANDES, PRISCILA OSÓRIO. Atividade funcional da pimenta vermelha (*Capsicum sp-solanacea*) e pimenta-do-reino (*Piper nigrum-piperaceae*). **Revista da FAESF**, v. 3, n. 3, 2019.

SILVA, T. D., MOURA, M. D., ZOLNIER, S., SOARES, J. M., VIEIRA, V. D. S., & JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SILVA, O.S.; SOUZA, R.B.; TAKAMORI, L.M.; SOUZA, W.S.; SILVA, G.P.P.; SOUSA, J.M.M. Produção de mudas de pimentão em substratos de coco verde fertirrigadas com biofertilizante em sistema orgânico. **Revista Horticultura Brasileira**, v. 28, n.2, p.2714-2720, 2010.

SIVARAMAN, K., et al. "Agronomy of black pepper (*Piper nigrum* L.)-a review." **Journal of Spices and Aromatic Crops**, v. 8, n. 1, p. 01-18, 1999.

SIVAKUMAR, M.V.K.; SHAW, R.H. Relative evaluation of water estress indicators for soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v.70, p.619-623, 1978.

SMITH, M., & STEDUTO, P. Yield response to water: the original FAO water production function. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, n. 66, p. 6-13, 2012.

SMIT, M.A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.

STANHILL, G., LAKE, J.V. & RUDD-JONES, D. The Water Resource for Agriculture. Philosophical Transactions. **Royal Society Biological Series**. London 310, p. 161-173, 1985.

SUASSUNA, J.F.; FERNANDES, P.D.; NASCIMENTO, R.D.; OLIVEIRA, A.D.; BRITO, K.D.; MELO, A.D. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.12, p.1305-1313, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4º ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª edição. São Paulo, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal**. 6º. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 918p.

TCHOUMBOUGNANG, F.; DONGMO, P.M.J.; SAMEZA, M.L.; FOMBOTIOH, N.; WOUATSA, N.A.V.; AMVAM, Z.P.H.; MENUT, C. Comparative essential oils composition and insecticidal effect of different tissues of *Piper capense* L., *Piper guineense* Schum. et THONN., *Piper nigrum* L. and *Piper umbellatum* L. grown in Cameroon. **African Journal of Biotechnology**, v. 8, n. 3, 2009.

TEIXEIRA, P. C., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., & TEIXEIRA, W. G.. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Embrapa, p.573, 2017.

TSIMILLI-MICHAEL, M .; STRASSER, RJ 2008. In vivo assessment of stress impact on plant's vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of mycorrhization on host plants. In: **mycorrhiza**. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 679-703, 2008.

TU, D. SUN, X. ZENG, N. YAO, X. HUANG, D. HUANG, Y. Chen, Piperine potentiates the hypocholesterolemic effect of curcumin in rats fed on a high fat diet, **Experimental and Therapeutic Medicine**, v. 8, n. 1, p. 260-266, 2014.

VALENÇA, D. C.; CARVALHO, D. F.; REINERT, F.; AZEVEDO, R. A.; PINHO, C. F.; MEDICI, O. M. Automatically controlled deficit irrigation of lettuce in “organic potponics”. **Scientia Agricola**, v. 75, n. 1, p. 52-59, 2018.

VALENÇA, D. C, DE MOURA, SM, TRAVASSOS-LINS, J., ALVES-FERREIRA, M., MÉDICI, LO, ORTIZ-SILVA, B., ... & REINERT, F.. Respostas fisiológicas e moleculares de *Setaria viridis* ao estresse osmótico. **Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, v. 155, p. 114 – 125, 2020.

VIEIRA, GHS, DOS SANTOS, GM, KRAUSE, MR, DOS SANTOS, MM e MÔNACO, PAVL. Performance of irrigated black pepper. In: **Presented at 2018 Irrigation Show & Education Conference**, 2018.

VINHA, M. B., LIMA, I. D. M., & SECUNDINO, W. Contaminantes que comprometem a segurança da pimenta-do-reino ao longo de sua cadeia produtiva. **Incaper em Revista**, Vitória, v. 8, p. 55-67, 2017.

WIEN TJES, E., PHILIPPI, J., BORST, JW e VAN AMERONGEN, H. (2017). Imagem da proporção de clorofila do Photosystem I / Photosystem II dentro da folha. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) -Bioenergetics** , v. 1858, n. 3, pág. 259-265, 2017.

YANG, J.; ZHAO, S.; ZHAO, B.; LI, C. Overexpression of *TaLEA3* induces rapid stomatal closure under drought stress in *Phellodendron amurense* Rupr. **Plant Science**. v, 277, p. 100–109, 2018.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought, acclimation and stress tolerance, **Photosynthetica**, v. 38, p. 171–186, 2000.

YUNCKER, T.G. The Piperaceae of Brazil – I. Piper – group I, II, III, IV. **Hoehnea**, São Paulo, v. 2, p. 19-366, 1979.